

LA TRIBOLOGÍA Y LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO: UNA ALTERNATIVA PARA EL INCREMENTO DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS

TRIBOLOGY AND MAINTENANCE COSTS: AN ALTERNATIVE TO INCREASE ECONOMIC BENEFITS

Autor: Carlos Rafael Esquivel Sardiñas

<https://orcid.org/0000-0001-8588-6311>

Institución: Empresa de Transporte Provincial Ciego de Ávila, Cuba

Correo electrónico: carlosrafaeles2000@gmail.com

RESUMEN

Los sistemas modernos de producción imponen condiciones de operación cada vez más críticas que han obligado a modificar y replantear el concepto de mantenimiento. Disminuir los costos de mantenimiento se ha convertido en un reto para la industria. En este artículo se pretende fundamentar que la introducción de sistemas tribológicos sería la respuesta a esta problemática, teniendo en cuenta que un adecuado uso de la tribología conlleva a mejorar la eficiencia de los equipos y por consiguiente el incremento de los beneficios económicos.

Palabras clave: Beneficios económicos, Costo de mantenimiento, Tribología.

ABSTRACT

Modern production systems impose increasingly critical operating conditions that have made it necessary to modify and rethink the concept of maintenance. Reducing maintenance costs has become a challenge for the industry of. tribological systems would be the answer to this problem, considering that an adequate use of tribology leads to improving the overall efficiency of the equipment and therefore increasing economic benefits.

Keywords: Economic benefits, Maintenance cost, Tribology.

INTRODUCCIÓN

La Tribología abarca los procesos de fricción, desgaste y lubricación de los cuerpos en contacto. En épocas anteriores se analizaban de forma independiente, en la actualidad se ha comprobado que la unión de estas ramas en una sola disciplina científico-técnica contribuye al desarrollo de los sistemas mecánicos, condicionando cambios en los sistemas y políticas en los diferentes países del mundo.

El objetivo del artículo es ofrecer elementos sobre la Tribología y los costos de mantenimiento como una alternativa para el incremento de los beneficios económicos y los

sistemas mecánicos en el sector industrial.

Se utilizó una metodología basada en los presupuestos de la investigación cualitativa, se utilizaron métodos como la revisión bibliográfica y la observación, los cuales generaron resultados científicos para el estudio del tema, comparándolos con otros criterios de autores.

De acuerdo con González, C.Z (1995), una alternativa para el incremento de los beneficios económicos de la industria es mantener las maquinarias y los equipos en buen estado de operación, realizando un conjunto de actividades de mantenimiento que permitan su conservación para lograr la producción esperada a una calidad de servicio exigida con el menor costo. Teniendo en cuenta estas concepciones, se infiere que mantenimiento es preservar las funciones del equipo de una planta para los requerimientos de su actual contexto operacional, o sea, que el mantenimiento no puede verse como una actividad separada de las operaciones Sinatora, (1997), expresa además que lejos de ser una actividad periférica, un mal necesario, o un presupuesto de gasto, el mantenimiento debe constituirse en actividad primordial de maximización de la producción y sobre todo en un pilar de beneficios. Su actuación debe dar valor agregado a su función, ser competitiva, y estar alineada con las metas de la empresa, (Mesa, D. (2007). Se amplía este concepto, explicando que el costo de mantenimiento representa todos los gastos que son el resultado de sus esfuerzos para mantener los activos físicos en óptimas condiciones de trabajo. No importa qué activo es, si necesita un mantenimiento regular, incurrirá en costos de mantenimiento. La fabricación, la aviación y la construcción, entre muchas otras industrias de activos pesados, tienen un incentivo muy fuerte para mantener bajo control su presupuesto de mantenimiento. El seguimiento de los costos de mantenimiento es una de las formas que utilizan para evaluar la eficacia de sus respectivos departamentos de mantenimiento.

DESARROLLO

Tribología: distinciones conceptuales

Mesa D y Sinatora A. (2003) denominan a la Tribología como la ciencia y las tecnologías de las superficies que interactúan entre sí.

Según Martínez Pérez, (2011) la Tribología como ciencia que indica la fricción, desgaste, lubricación, muestra el uso de la rueda desde el año 3500, ilustrando el interés de los antepasados por reducir la fricción en movimientos de traslación. Expresa además este mismo autor, que científicos como Charles Agustín de Coulomb, Robert Hooke, Isaac

Newton, aportaron conocimientos para el desarrollo de la misma. En los últimos años, la energía consumida por maquinarias y equipos, en masa, y la producción seriada, ha aumentado significativamente, surgiendo nuevos procesos de producción que incluyen condiciones severas de trabajo; de forma tal que se hace necesario dedicar una atención especial al diseño de partes de maquinaria de gran duración.

El desarrollo de la Tribología tiene sus inicios en el Mesozoico, hecho que se puede considerar histórico. Álvarez F, J. (2010.) expresa que, en el Neolítico en Mesopotamia, Egipto, y Asiria se han encontrado encajes en piedra para ejes de puertas, ruedas de alfareros en madera y piedra, así como cojinetes de ruedas y rodillos lubricados. En la Edad de Bronce aparece el uso de betunes y aceites minerales filtrados, como también en la Edad de Hierro surgen los primeros cojinetes de bolas. En Grecia, Roma, la utilización de piedras anti desgaste insertadas en elementos de madera, de aceites vegetales y grasas de origen animal. En el Renacimiento se realizan los primeros estudios sobre fricción, desgaste y cojinetes.

También se ha comprobado a través de investigaciones de Castillo, (2019.) que el artista-científico renacentista Leonardo Da Vinci fue el primero que postuló un acercamiento a la fricción. Expone este autor que Da Vinci dedujo la ley que gobiernan el movimiento de un bloque rectangular deslizándose sobre una superficie plana, también, fue el primero en introducir el concepto del coeficiente de fricción, sus escritos no fueron publicados hasta cientos de años después de sus descubrimientos. Fue en 1699 que el físico francés Guillaume Amontons redescubrió las leyes de la fricción al estudiar el deslizamiento entre dos superficies planas. Muchos otros descubrimientos ocurrieron a lo largo de la historia referentes al tema, científicos como Charles Agustín de Coulomb, Robert Hooke, Isaac Newton, entre otros, aportaron conocimientos importantes para el desarrollo de esta ciencia.

Castillo (2019.) expresa además que con la Revolución Industrial se formulan las leyes sobre la fricción de Amontons, Coulomb y Leslie, aparece el Babbit y se reportan los estudios realizados por Petrov, Tower, Reynolds y Kingsbury. Con la primera Guerra Mundial aparece lo que se conoce como la lubricación de Hardy. Durante la segunda Guerra Mundial se desarrollan las teorías de la lubricación y se constituye la Sociedad Americana de Ingenieros de Lubricación (ASLE) (1944). En 1955 se crea la división de lubricación de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) y el grupo de desgaste dentro del IMEL. En el 1966 el reporte JOST sobre tribología, considerándose

esta fecha como el nacimiento de la Tribología como ciencia.

Los diccionarios también definen a la Tribología como la ciencia y la tecnología que estudia la interacción de las superficies en movimiento relativo, así como los temas y prácticas relacionadas con ella. Denominan a la Tribología como el arte de aplicar un análisis operacional a problemas de gran importancia económica, llámese, confiabilidad, mantenimiento, y desgaste del equipo técnico, abarcando desde la tecnología aeroespacial hasta aplicaciones domésticas. El entendimiento de las interacciones superficiales en una interfase requiere tener conocimiento de varias disciplinas incluyendo la física, química, matemáticas aplicadas, mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, ciencia de materiales, entre otras.

En el estudio realizado se valoró, además, cómo en el contexto internacional existen políticas que ordenan las disposiciones de la Ciencia y Tecnología. A veces, los gobiernos locales, promulgan normas adicionales que adaptan la normativa nacional a las particularidades de su entorno, manteniendo siempre el objetivo inicial. La Tribología está presente en prácticamente todos los aspectos de la maquinaria, motores y componentes de la industria en general.

El autor del artículo considera que las investigaciones desarrolladas sobre esta ciencia juegan un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad actual, ya que están presentes en todas las actividades que realiza el hombre, en cuanto a deslizamiento y los costos de mantenimiento para el incremento de los beneficios económicos. La Tribología como ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación, tiene en cuenta la interacción de las superficies en movimientos relativos, en sistemas naturales y artificiales, incluyendo el diseño de cojines y su lubricación. Se ocupa de encontrar soluciones para mitigar sus efectos negativos, evitar el desgaste y reducir o aumentar la fricción.

Conclusiones parciales:

Se considera a la Tribología como la ciencia y las tecnologías de las superficies que interactúan entre sí, Significa que dichas superficies pertenecen a un sistema mecánico y dinámico.

El estudio de esta ciencia tiene un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad, se encuentra presente en todas las actividades que se realizan en cuanto a deslizamiento y los costos de mantenimiento para el incremento de los beneficios económicos

Objetivos técnico–económicos de la tribología

Como afirma Pérez, Marcela, (2018) dentro de los objetivos técnico–económicos de la Tribología se establecen tres que se consideran principales: ahorro de energía, ahorro de materias primas y materiales y explotación óptima de los sistemas tribológicos. Expresa además que desde el punto de vista tribológico el ahorro de energía se logra de dos formas fundamentales. La primera, conocida como la vía directa, se basa fundamentalmente en la disminución del coeficiente de fricción. La eficiencia de la maquinaria en la industria textil está condicionada a las pérdidas por fricción, las cuales según consideraciones generales representan el 80 % de la energía consumida, demostrando que gracias al mejoramiento tribológico de los cojinetes de deslizamiento de turbogeneradores de 500 MW de potencia se logró una disminución de las pérdidas por fricción de alrededor de 1MW.

La segunda vía para el ahorro, expresa este mismo autor, que la energía está determinada por el incremento de la durabilidad de los pares tribológicos debido a que con ello se disminuye el consumo energético en la fabricación y/o reparación de los elementos de máquinas. Cada año en reparaciones capitales se invierten alrededor de 10 millones de dólares. Se considera que en los Estados Unidos se gasta anualmente en reparaciones, fabricación y recuperación de piezas de repuesto para automóviles alrededor del 2,6 % de la energía total consumida.

La tercera vía se refiere a que el ahorro de materias primas y materiales se puede lograr con la disminución del desgaste de los elementos de máquinas, lo cual se hace más evidente si se conoce que entre el 80 % y el 90 % de los elementos de máquinas que se sustituyen son como consecuencia del desgaste. El cambio del material de las chumaceras de los molinos de los centrales azucareros originó una disminución del coeficiente de fricción de 0.08 a 0.068 lo que representa un ahorro de 52 MW–h/Molino–zafra. Asimismo, Martínez Pérez, F. (2011). manifiesta que, para los materiales originales, un cambio del lubricante trajo consigo una disminución del coeficiente de fricción de 0,08 a 0,66 y un correspondiente ahorro de energía de 77 MW–h/Molino–zafra.

Botero, (2019) afirma que actualmente en diferentes países como el Reino Unido, seguido por Alemania, Rusia, Francia, Holanda, Estados Unidos, Japón, etc., se han creado centros de investigación en tribología e introduciendo esta especialidad en las carreras técnicas o en cursos de postgrado. En Ecuador la tribología se incluye en los

planes de estudio de la carrera de Ingeniería Mecánica a partir del año 1985, de igual modo se imparte en los cursos de postgrado.

En Cuba los costos de mantenimiento son tratados en el artículo 16 de la resolución 116 (2017) donde se establece un sistema de registro y control que, entre otros documentos, contiene: solicitud y orden de trabajo, la que se emite para todos los trabajos de mantenimiento sin excepción, y recoge toda la información que identifique al solicitante, al equipo, al área y al ejecutor, así como los datos correspondientes a los gastos presupuestados y reales en que se incurre; además, deben identificarse a los efectos de contabilizar los costos de mantenimiento y obtener otros indicadores de gestión, si el trabajo es de mantenimiento planificado, imprevisto, inversión, capitalizable y con terceros. Los costos de mantenimiento se llevan por la orden de trabajo.

Se realizan otros estudios de la aplicación de la tribología en las artroplastias de las articulaciones humanas, autores como (Navarro Ojeda, Navarro y Chacón, 2010) expusieron sus experiencias sobre la aplicación de la Tribología en el campo de la Biomecánica en las articulaciones humanas, teniendo en cuenta que todas las articulaciones humanas constituyen sistemas tribológicos. Son sistemas formados por dos cuerpos sólidos separados por un contaminante lubricante para evitar la fricción y el desgaste, pero tal y como ocurre en los diversos sistemas mecánicos, esas articulaciones se dañan producto de la fricción y el desgaste.

También, Díaz del Castillo, Felipe (2017) asegura que el desarrollo de la Tribología en cualquier país deberá centrarse en cinco aspectos fundamentales:

- En el desarrollo de mejores materiales antifricción y de elevada resistencia al desgaste para poder lograr una utilización más racional de la energía. A pesar de que el mejoramiento de los indicadores de los sistemas tribológicos se puede lograr con las tecnologías existentes, para una significativa disminución de las pérdidas energéticas se necesitan nuevos y mejorados materiales, así como sistemas más perfeccionados (ejemplo: motores de combustión interna perfeccionados).
- En el análisis y estudio de los mecanismos tribológicos que acortan el periodo de vida útil de las máquinas e instalaciones industriales y que los mismos posean un extremadamente sencillo proceso de reparación. Algunos estudios iniciales muestran que las pérdidas energéticas por desgaste son generalmente superiores a las por fricción. La disminución de estas pérdidas incrementa la productividad de las máquinas.

- En el desarrollo de investigaciones tribológicas que toquen a todos los sectores industriales y no concentrarse en los más importantes, puesto que la mayoría de los sistemas tribológicos son análogos. En este sentido los resultados de las investigaciones deben tener un carácter generalizado encaminado a satisfacer las necesidades de los diferentes sectores industriales.
- Desarrollar ensayos mucho más racionales y normas que garanticen una alta fiabilidad de los resultados y la evaluación de los nuevos sistemas e instalaciones. En este sentido se deben realizar ensayos de laboratorio bajo condiciones que se aproximen lo más posible a las reales.
- Establecer vías de comunicación que garanticen un sostenido contacto entre la industria y los centros de investigación y desarrollo en tribología y que los resultados que de ello se deriven tengan una amplia divulgación.

Conclusiones parciales:

En Tribología se establecen tres objetivos que se consideran fundamentales:

El primero, referido al ahorro de energía, conocida como la vía directa, basado en la disminución del coeficiente de fricción.

El segundo objetivo tiene que ver con el ahorro de materias primas, cuando la energía está determinada por el incremento de la durabilidad de los pares tribológicos debido a que con ello se disminuye el consumo energético en la fabricación y/o reparación de los elementos de máquinas.

Un tercer objetivo donde se exponen los materiales y la explotación óptima de los sistemas tribológicos.

Estos sistemas tribológicos suelen ser inherentemente complejos ya que su estructura puede cambiar, no solo durante largos períodos de tiempos, sino incluso en cortos intervalos. En este sistema hay varias uniones de rozamiento y que tiene la función de transmitir energía y/o movimiento. El sistema tribológico es un sistema natural o artificial de elementos materiales; por lo menos dos donde se presenta la fricción y en casos extremos el desgaste.

Importancia de la tribología en la disminución de los costos de mantenimiento

Santa Marín, Felipe (2015) define al mantenimiento como sinónimo de confiabilidad, esa es la esencia de esta actividad, la confiabilidad en que la planta funcionará continuamente sin paradas indeseadas con las consecuentes pérdidas económicas. Si comparamos este concepto teniendo en cuenta que mantenimiento es una combinación

de acciones técnicas y administrativas, destinadas a retener o restaurar un activo en un estado en que pueda desempeñar su función dentro de unos parámetros permitidos de eficiencia, costo, seguridad y el cuidado ambiental, entonces se llega a la conclusión que el mantenimiento se necesita hacer para preservar los requerimientos funcionales, prevenir fallas prematuras y mitigar las consecuencias de falla, solamente si es técnicamente apropiado, factible de realizar y justificable económicamente

Refiere también este autor que un equipo que opera en forma segura, funcional y mantiene una buena apariencia da beneficios económicos, permite mantener una productividad real a la empresa. Toda empresa busca tener un departamento de mantenimiento cuya función sea cumplir con la optimización de los recursos humanos, económicos, físicos, administrativos y técnicos. Desde el mismo diseño de los equipos se debe contemplar el mantenimiento.

Según (Botero, Camilo, 1991 buscar) el costo inicial de un equipo no debe ser el determinante para su adquisición, pero un estudio formal y detallado sobre los costos de compra y de mantenimiento durante su ciclo de vida, darán una excelente información para poder escoger la mejor alternativa, ahorrándose gastos inesperados a lo largo de su vida útil. No siempre la opción de compra más barata será la más económica a lo largo del tiempo de uso de una máquina.

También, Botero, Camilo (1991) confirma que la vida útil representa el periodo de tiempo que trabajará en forma eficiente una máquina. Hay un punto determinante, mantenerla en operación representa un gasto superior a los beneficios que se obtienen. Administrar un buen mantenimiento en toda empresa donde el responsable debe gerenciar los recursos, optimizar su utilización, planear cada actividad, crear los mecanismos de supervisión y control, crear los medios de retroalimentar el proceso y sobre todo crear una clara conciencia sobre la importancia de su actividad a todos los niveles de la organización.

Asimismo, Bolívar, Alejandro E. (2010) se refiere a que la prolongación de la vida útil de los componentes mecánicos por medio del control del desgaste se ha convertido durante la última década, en una importantísima herramienta para la reducción de los costos de producción en las industrias pesadas y medianas. El monitoreo del control del desgaste constituye ahora uno de los principales objetivos, tanto en el diseño mecánico como en las operaciones de mantenimiento. Expresa además que el mantenimiento y reparación de los sistemas mecánicos se realiza desde el punto de vista del ahorro de

recursos humanos, materiales e incremento de la durabilidad de las máquinas.

Otro de los autores consultados como Castillo (2019) afirma que un fabricante puede construir un equipo de acuerdo con un diseño óptimo y con materiales que garanticen un desgaste mínimo, pero siempre debe optimizar al máximo la calidad del mantenimiento, garantizando así, una operación normal del equipo utilizando repuestos originales, para lo cual necesita implementar un control de calidad a todos los repuestos y partes que se adquieran y debe convertir la lubricación en el programa bandera de la fábrica. Expresa que la experiencia en el mantenimiento de helicópteros de mediano porte muestra que el 30 % del tiempo se emplean en servicios no planificados. Tomando en consideración que el costo de una hora de vuelo de un helicóptero es de 1000 dólares, no resulta difícil calcular las pérdidas por estos servicios. Una comparación similar se puede hacer para los aviones y equipos de la industria pesada. También opina que, de acuerdo con Investigaciones desarrolladas en Canadá, en la industria papelera las pérdidas energéticas producto de la fricción alcanzan los 105 millones de USD y era posible ahorrar 21,3 millones de USD, mientras que los gastos en reparación producto del desgaste ascienden a 381.5 millones de USD y era posible ahorrar 100,30 millones de USD.

Martínez Pérez (2011) refiere que Alemania es otro de los países que ha prestado gran atención a la Tribología con proyectos de investigación y desarrollo de métodos de tratamientos superficiales, desarrollo de materiales tribotécnicos, estudios del desgaste erosivo, de métodos de ensayos y mediciones tribotécnicas, en el fortalecimiento de las teorías elastohidrodinámicas, el diseño y cojinetes de deslizamiento, recuperación de piezas de repuesto, lubricantes industriales y para motores de combustión interna e incremento de la fiabilidad de los equipos industriales. Enuncia además que se aprobó un programa gubernamental encaminado a la conservación de los recursos materiales como resultado de la solución de los problemas tribológicos. En una primera variante se plantearon 80 problemas relacionados con la fricción seca, mixta y elastohidrodinámica, materiales lubricantes, métodos de medición e investigación de la fricción y desgaste. El financiamiento por parte del gobierno para la solución de estos problemas fue 84 millones de marcos. Culmina el autor expresando que el resultado debe ser la solución de los problemas relacionados con el incremento de la durabilidad de las máquinas y el tiempo entre reparaciones, conservación de la energía y metales escasos, disminución de las vibraciones y ruidos de las máquinas y que el mantenimiento y reparación de los

sistemas mecánicos se realiza desde el punto de vista del ahorro de recursos humanos, materiales e incremento de la durabilidad de las máquinas.

En toda la literatura consultada se puso de manifiesto que la Tribología establece tres aspectos fundamentales: ahorro de energía, ahorro de materias primas y explotación óptima de los sistemas tribológicos. Además, los trabajos de mantenimiento recogen toda la información que se solicite, tanto al equipo, al área y al ejecutor, obteniendo así indicadores de gestión necesarios.

La Tribología ha contribuido considerablemente en la realidad mundial contemporánea al desarrollo de los sistemas mecánicos, condicionando cambios en los sistemas y políticas en los diferentes países. Es de mucha importancia, en estos tiempos tener conocimientos de la Tribología como ciencia para utilizarla como una sola disciplina científico-técnica que contribuya considerablemente al desarrollo de los sistemas mecánicos.

Se comprueba que el concepto de mantenimiento está relacionado con la confiabilidad, esa es la esencia de esta actividad, la confiabilidad en que la planta funcionará continuamente sin paradas indeseadas con las consecuentes pérdidas económicas.

Conclusiones parciales:

El concepto de mantenimiento está relacionado con la confiabilidad, como esencia de esta actividad, se confía en que la planta funcionará continuamente sin paradas indeseadas con las consecuentes pérdidas económicas.

El mantenimiento se necesita hacer para preservar los requerimientos funcionales, prevenir fallas prematuras y mitigar las consecuencias de falla, solamente si es técnicamente apropiado, factible de realizar y justificable económicamente.

La Tribología contribuye considerablemente en la realidad mundial contemporánea al desarrollo de los sistemas mecánicos, condicionando cambios en los sistemas y políticas en los diferentes países.

CONCLUSIONES

La Tribología es reconocida en el sector industrial como un área de oportunidades para optimizar recursos financieros, materias primas y energía, así como para reducir los costos de mantenimiento, la contaminación y proteger el medio ambiente.

La correcta consideración de los procesos tribológicos permite, en límites amplios, dirigir la producción y la productividad de los procesos industriales de elaboración mecánica de materiales, a partir de la obtención de superficies de alta calidad y aumento de la vida útil de las herramientas e instrumentos de fabricación, todo lo cual repercute en

beneficios económicos desde el punto de vista de costos de mantenimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ F, J. (2010). Motores alternativos de combustión interna (1 ed.). España: UPC. Área tecnológica. (1 de febrero de 2010). Tecnología., de partes del motor: Disponible en: <http://www.areatecnologia.com/TUTORIALES/MOTOR%20DE%20COMBUSTION.htm>. Visitado: 23 de abril de 2022.
- BOLÍVAR, Alejandro E. 2010), Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de lubricación del motor de los remolcadores modelo. Disponible en: https://www.academia.edu/7720115/DESARROLLO_DE_UN_PLAN_DE_MANTENIMIENTO_PREVENTIVO_PARA_EL_SISTEMA_DE_LUBRICACION_DEL_MOTOR_DE_LOS_REMOLCADORES_MODELO_FLTT_DODGE. Visitado: 26 de agosto de 2022.
- BOTERO, Camilo, (2019). Manual de Mantenimiento. Santa fe de Bogotá: SENA Dige-neral. Colombia.
- CASTILLO HERRERA, Willian, (2019). Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación. [en línea]. Disponible en: <https://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>. Visitado: el: 9 de abril de 2021.
- DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ, Felipe (2007). Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación. [en línea] Disponible en: <https://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>. Visitado: 25 de marzo de 2022.
- GONZÁLEZ, C. Z. (1995). Metrología. México: Ed. Mc GrawHill.
- MARTÍNEZ PÉREZ, Francisco y GARCÍA, A. (2011). Algunas recomendaciones en la enseñanza de la Tribología. *Revista cubana de ingeniería*. Vol. 2, No. 2, pp. 11-15. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistacubanadeingenieria/2011/vol2/no2/2.pdf>. Visitado: 25 de junio de 2022.
- MESA, D. (2007). Introducción al estudio de la Tribología con énfasis en desgaste. 1ra Ed. Colombia: Editorial UTP.
- MESA GRAJALES, D. y SINATORA A. (2003). El desgaste de materiales, enfrentarlo o dejarlo de lado y asumir los riesgos. *Revista Scientia et Technica*. UTP, Colombia, Vol. 2. No. 22, pp. 87-91. Disponible en: <https://doi.org/10.22517/23447214.7427> <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4846352>. Visitado: 25 de junio de 2022.
- NAVARRO OJEDA, Marcelo N.; NAVARRO SANTANA, Marcell; CHACÓN SERRANO,

- Ángel A. (2010). Estudio introductorio de la aplicación de la tribología en las artoplastias de las articulaciones humanas. *Ciencias Holguín*, Vol. XVI, No. 1, pp. 1-10. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181517919019.pdf>. Visitado: 13 de septiembre de 2022.
- PÉREZ, Marcela, (2018). Grupo de Tribología y Superficies. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- SANTA MARÍN, Felipe, (2015). Tribología: pasado, presente y futuro. Colombia: Instituto tecnológico Metropolitano.
- SINATORA, A. (1997). Costos e soluciones para problemas de desgaste. *Revista Metalurgia e Materiais*, Vol. 53, No. 469, pp. 548-550.