

Capítulo 2

Introducción

En el presente capítulo se relatan los antecedentes del estudio del desgaste, el estado del arte y el objeto y alcance del Trabajo Fin de Máster.

2.1. Antecedentes

La historia del desgaste, tal y como se indica en el primer capítulo del presente Documento es parte de la historia misma de la fricción, pues ambas van de la mano. Para entender la historia del desgaste, se ha de empezar primero por la historia de la fricción pues, como se verá, están estrechamente unidas.

La fricción es parte de la vida. De los fenómenos cotidianos, uno de los más importantes, junto con la aceleración de la gravedad, es la fricción. Toda la naturaleza gira en torno a estos aspectos fundamentales, pues animales y plantas se sirven o sufren de ambas. La fricción está presente en casi todos los aspectos de la vida. Sin fricción sería difícil estar de pie, agarrar cómodamente un lápiz, o atarse los cordones de los zapatos. También gracias a la fricción se genera calor, al frotar las manos. El vivir diario del Universo Real está lleno de ejemplos de fricción que son muy necesarios para entender la naturaleza tal y como es. En el Universo Posible también se encuentra la fricción como parte imprescindible del conjunto: el desplazamiento de un tren en sus vías o la capacidad de frenada de un coche lo atestiguan. Claro que la fricción tiene un aspecto menos agradable, pues, tal y como la 2^a Ecuación de la Termodinámica lo indica, impide conseguir todo el rendimiento de un ciclo. Esto es, las máquinas que proporcionan la energía necesaria para el desplazamiento de un tren o un coche no son capaces de entregar todo lo que podrían, debido a que los efectos de la fricción lo impiden, transformando parte de la energía generada del movimiento en calor sin que se pueda aprovechar adecuadamente. La fricción es, por lo tanto, básica para la vida tal y como la conocemos, y un auténtico problema para la eficiencia en la ingeniería.

Se puede decir que los inicios de la comprensión por parte del ser humano de los fenó-

menos asociados a la fricción son muy antiguos, ya que se cree que es a finales de la edad Ioniense, hacia el 126000 AC, cuando el homo erectus descubre la creación del fuego gracias a la fricción como reacción al calentamiento producido por frotación entre maderas. Es el primer paso hacia el estudio de la fricción.

El desarrollo de la alfarería, en el Paleolítico superior, y la creación de herramientas asociadas a la misma, como el torno de alfarero, se cree que durante el Renacimiento Sumerio en Mesopotamia, hacen vislumbrar los inicios del concepto de desgaste como consecuencia de la fricción. El desgaste producido en dicho torno se aliviaba mediante lubricación con agua, petróleo crudo o grasa[10]. El hombre comprende ya que el contacto relativo entre superficies implica desgaste, e inventa maneras de disminuir su efecto.

Los primeros estudios acerca de las relaciones entre dos superficies rugosas en contacto y movimiento relativo se suponen alrededor del 2700 A.C., siendo los egipcios con la edificación de pirámides los primeros en utilizar sistemas que permitieran mover grandes bloques de piedra sin hacer uso de poleas, ruedas ni útiles de hierro[11]. El conocimiento necesario para el traslado de grandes piezas de piedra para alcanzar la altura necesaria y el manejo adecuado para una colocación precisa de las mismas, indica un conocimiento básico acerca de las relaciones de fricción entre superficies en contacto.

Mil años más tarde, los conocimientos mejoran y son capaces de mover estatuas de mayor tamaño y peso que los bloques de las pirámides[1]. La comprensión del fenómeno de la fricción es cada vez mayor, y su desarrollo permite logros en edificaciones cada vez más grandiosas.

No se observa mayor profundización en el conocimiento de la fricción hasta que en el Renacimiento Leonardo Da Vinci establece dos variables fundamentales: la fricción es función del área real de contacto y del peso del cuerpo en movimiento. Como Leonardo no publicó nada acerca de la fricción, es Guillaume Amontons quien redescubre, en 1699, las leyes básicas de la fricción[12]. Estas leyes acerca de la fricción no tienen un recibimiento entusiasta por los científicos de la época, y no es hasta varios años más tarde cuando de la Hire (1732) y Euler (1750) comprueban la veracidad de las mismas. Un poco antes Newton también habla de la fricción, aunque más orientado hacia las leyes del movimiento que el estudio de leyes que sistematizaran el contacto entre cuerpos[13]. Se puede empezar a hablar de estudios reglados, y de discusión científica de los mismos.

Uno de los trabajos más sistemáticos sobre las leyes de Amontons lo hace en 1785 Coulomb cuando las verifica y amplía[14]. Coulomb explica que la fricción es independiente de la velocidad, para valores diferentes a cero. Arthur Morin en 1835, completa la fricción de Coulomb incluyendo una fricción diferente para cuando la velocidad es cero, esto es, antes de que se produzca desplazamiento relativo.

Se considera que el primer estudio científico fiable acerca del desgaste es de comienzos del siglo XIX, cuando Charles Hatchett realiza experimentos con el desgaste en monedas de oro[15]. Es la primera aproximación al estudio del desgaste de manera más o menos reglada. En torno a mediados del mismo siglo, Reye estipula que en fricción seca el volumen de material retirado por desgaste es proporcional al trabajo de las fuerzas de fricción[16]. Es la primera hipótesis sobre el desgaste que se conoce.

Como se observa por las fechas, es en plena Revolución Industrial cuando el interés por la fricción y el desgaste empieza a ser importante. La tecnología permite automatizar mediante grandes máquinas lo que antes se hacía artesanalmente, y empiezan a ser críticas las cuestiones como el mantenimiento o la lubricación, para poder ser competitivas. Si las Guerras Mundiales supusieron un impulso en la aviación, se puede decir que la Revolución Industrial hizo lo mismo con la fricción y el desgaste. Es en este ambiente donde empiezan a ser palpable la necesidad de reglar y comprender el funcionamiento de la fricción y la lubricación.

La categorización de las propiedades de la fricción entre dos superficies lubricadas fue estudiada ampliamente a finales del siglo XIX por Thurston primero[17] y Martens después[18], pero las conclusiones obtenidas al respecto fueron publicadas en medios con poca difusión y no causaron gran impacto. Un poco más tarde, en 1901, son Stribeck[2, 3] y Hersey[19] quienes, mediante una serie de experimentos, obtienen unas gráficas que muestran la fricción entre superficies lubricadas.

El interés por la fricción no ha dejado de aumentar desde entonces, y a mediados del siglo XX se muestra un inquietante aumento en la cantidad de fallos de plantas y maquinaria industrial asociado al desgaste, dando lugar a importantes pérdidas. Es en 1964 cuando, en el Reino Unido en una conferencia sobre lubricación en trabajos de hierro y acero, se propone atajar el estudio de los fenómenos de desgaste. El porqué no se ha hecho antes se debe a varias razones, entre ellas que el desgaste es un fenómeno interdisciplinar y difícil de estudiar[20]. Es entonces cuando se acuña la palabra que aúna los estudios de todo lo relacionado con el contacto entre superficies: Tribología, del griego tribos-, frotación y -logos, estudio. El hecho simbólico de disponer de una palabra para designar estos estudios es, en si, una revolución en la época que dará un empujón definitivo a la comprensión de la fricción y el desgaste.

Con los avances en el estudio de la fricción, aumenta el interés por determinar el desgaste. Se empiezan a proponer algunos modelos que intentan mejorar el de Reye, entre ellos el modelo de Holm[21] o el de Archard[4]. No es hasta un poco más tarde cuando otros modelos, como el de Usui[5] o el de Huang[6], mediante otras hipótesis, intentan explicar más el desgaste desde otros puntos de partida. Es ahora, que se dispone de ordenadores que tienen una gran potencia de cálculo, cuando se pueden aplicar programas que utilicen el Método de los Elementos Finitos que pueden permitir la predicción de los efectos del desgaste.

2.2. Estado del Arte

Hoy en día el estudio del desgaste se ataca desde varios frentes, pues hay diferentes maneras de aproximarse al problema. Se ha de considerar que tanto el desgaste como la fricción son fenómenos multicausales y polifactoriales, por lo que, atendiendo a dichas características, es difícil encontrar un camino adecuado que se pueda considerar canónico en el proceso de su investigación. Según Meng y Ludema hay más de 300 formas de acercarse al fenómeno de la fricción y el desgaste[22].

Asumiendo que hay una enorme cantidad de aproximaciones, así como una gran variedad de tipologías de problemas de desgaste, se pueden considerar dos maneras diferentes de proceder, por un lado la experimentación, y por otro la simulación. El proceso de experimentación en estudios del desgaste puede suponer un elevado gasto de recursos, tanto humanos como económicos, pues dado que es un proceso localizado casi exclusivamente en la interfase de dos superficies en contacto, la medición correcta y precisa de todas las variables implicadas tiende a ser compleja y costosa.

Por otro lado, la simulación del desgaste mediante métodos numéricos permite indagar acerca de los pormenores de dicho fenómeno con un coste material sustancialmente inferior. Ahora bien, los resultados pueden ser menos representativos que los obtenidos mediante experimentación, y además se requiere una gran preparación formativa para poder llevar a cabo simulaciones que sean fieles a la realidad.

Sin embargo, muchas de las estrategias que permiten entender mejor el desgaste son una combinación de simulación y experimentación, en los casos en los que se puede llevar a cabo esta última. Actualmente, la forma de aproximarse al estudio de este fenómeno comporta primero un estudio numérico y luego una validación experimental de los resultados obtenidos. Esta forma de proceder permite un gran ahorro económico a costa de tiempo de computación, pero no siempre es posible.

En el devenir actual de los estudios de la fricción y el desgaste predominan los estudios muy específicos sobre alguna variable concreta en un problema preciso, de forma que las aportaciones actuales tienen un impacto profundo en sus áreas, pero liviano en cuanto a la generalidad. Muchos de los trabajos y artículos consultados durante la realización del presente Trabajo Fin de Máster no son de índole experimental, o al menos no en su totalidad. La aproximación es, en general, más orientada hacia el estudio teórico y su implementación numérica que a la experimentación, que suele utilizarse en estadios más avanzados, principalmente para validar los resultados simulados.

Los estudios sobre el desgaste que utilizan métodos numéricos para las simulaciones utilizan, en su gran mayoría, el Método de los Elementos Finitos, debido en gran parte a su precisión[23] y a la capacidad de estudiar geometrías complejas[24]. Sin embargo hay algu-

nos estudios que utilizan aproximaciones a los problemas más directas mediante métodos numéricos basados en las condiciones y las propiedades de los materiales, generalmente en mecanismos, como el estudio sobre el desgaste de la rótula de un mecanismo de cuatro barras de Flores[25].

Sin embargo el uso del Método de los Elementos Finitos aplicados a la simulación del desgaste tienen varias ventajas, según Zhang y Bagchi[26]:

- Las propiedades de los materiales pueden ser manejados mediante funciones de Deformación, Velocidad de Deformación y Temperatura.
- La viruta puede representarse adecuadamente, especialmente su superficie.
- Se pueden obtener variables globales, como fuerza de corte y geometría de la viruta, y también otras locales, como la tensión o la distribución de la temperatura.

Los primeros usos de códigos MEF para cálculo de mecanizado los hacen Klamecki[27] y Okushima[28] a inicios de los años 70, pero es con el desarrollo de las herramientas informáticas cuando empiezan a surgir tanto programas que suavizan y aceleran el proceso de cálculo, lo que hace crecer exponencialmente la aplicación de dicho método para simular procesos de formación de viruta a finales de los 90. Algunos de los códigos comerciales más utilizados son: Abaqus[29, 30], Ls Dyna[31], Forge-2D[32, 33] y Deform-2D[34, 35].

Los temas tratados son muy variados, y abarcan varios aspectos del mecanizado, principalmente el torneado, el fresado y el taladrado, siendo la base de la mayoría de estos estudios el corte ortogonal[36]. En los artículos consultados se encuentran diversas opciones en el estudio de cómo afecta a la forma de la viruta la geometría de la punta de la herramienta de corte, ya sea achaflanada[37, 38], redondeada[39] y con rompevirutas[40]. También se han modelado diferentes materiales en la herramienta, con y sin recubrimiento[41], y diferentes materiales de la pieza, acero al carbono[42], aceros aleados[43], etc.

Un poco más específicos son los trabajos acerca del corte secuencial[44] o la microestructura del material en la pieza y su impacto en la formación de la viruta[45], o los artículos referentes a variables específicas, como tensiones residuales[46], o desgaste de la herramienta[47, 48, 49].

Por último se debe hacer mención a los estudios de modelos de desgaste que se usan actualmente, pues han resultados básicos en el desarrollo del estudio del desgaste. Son diferentes aproximaciones al problema del estudio del desgaste, en muchos casos teniendo en cuenta mecanismos de desgaste diferentes. Archard en 1953[4] define en su ecuación un modelo basado en el mismo concepto de Reye y de gran aplicación en procesos discretos, como la forja, en los que el mecanismo de desgaste dominante es el abrasivo. Takeyama y Murata proponen otro modelo, en el se incluyen también los efectos del desgaste difusivo[50]. Luego vendrá el modelo de Usui[5] que describe el desgaste basándose principalmente en el desgaste

adhesivo y difusivo. Otro modelo destacable puede ser el de Huang[6], que modela el desgaste teniendo en cuenta los mecanismos abrasivo, adhesivo y difusivo mediante la aplicación de diferentes coeficientes. Según Wassdahl[9], para describir el corte ortogonal en procesos de torneado, el modelo que menos error arroja en las simulaciones es el de Usui.

2.3. Objeto y alcance del Trabajo

El presente Trabajo Fin de Máster tiene por objeto realizar el estudio del caso de la sensibilidad a la fricción del desgaste en herramientas mediante la utilización del código FEM Deform-2D, en materiales de Acero AISI. Para ello primero se simularán varios casos de corte ortogonal y se ordenarán los resultados de forma tal que se muestre la relación existente entre la fricción y el desgaste.

Los cálculos realizados se justificarán debidamente explicando las decisiones adoptadas relativas al proceso de realización del Documento.

Se mostrarán los resultados obtenidos y por último se obtendrán conclusiones que arrojarán luz sobre el fenómeno de estudio, detallando la relación que se dé entre fricción y desgaste según los datos finales.