

Breve y parcial historia de los engranes

Manuel G. Rodríguez R., Moisés Hinojosa R., Ubaldo Ortiz M. *

Abstract

This article briefly discusses both the historical development of gears and the role of materials engineering in the evolution of these machine elements. Historical applications of gears include the inventions of Arquimedes, clock mechanisms and modern high-precision machine elements. This brief and partial review also analyzes some of the oldest documents that register the use of devices that can be considered as gears according to arqueological findings.

Keywords: gears, machine elements, history of technology.

INTRODUCCIÓN

Entre los mecanismos de transmisión de movimiento, uno de los más exitosos es el basado en engranes, ya que se consiguen movimientos de manera continua, semicontinua o alternada y provee una amplia gama de posibilidades de transmisión gracias a los diferentes tipos de diseños posibles.

Como complemento al conocimiento técnico, es deseable conocer un poco de donde provienen estos elementos de máquinas. En este artículo se hace una revisión para estimar en qué punto de la historia se inicia el desarrollo de esta tecnología, el papel que jugó dentro del progreso de los pueblos antiguos y se remarcará el hallazgo arqueológico más antiguo encontrado, que data del 80 A.C., figura 1, que evidencia la existencia de esta tecnología en épocas antiquísimas que al paso de los siglos ha evolucionado y ha encontrado un lugar muy destacado dentro del desarrollo industrial de nuestra era.

LOS ENGRANES EN LA MITOLOGÍA

Nadie sabe a ciencia cierta donde se inventaron los engranajes, sin embargo han estado transmitiendo movimiento de una manera u otra por mucho tiempo.



Fig. 1. Elemento del «Mecanismo de Anticitera», El mecanismo de engranes más antiguo preservado (80 A.C.).

Los registros más antiguos de posibles diseños de engranajes provienen de la literatura de la antigua China, Grecia y Turquía,¹ en específico de la ciudad de Antioquía y de Siria, en especial de Damasco su capital, famosa por sus armas blancas.

De cualquier manera, muchas de estas referencias son vagas y de poco fiar, ya que en los textos de esa época es difícil, si no imposible, identificar donde comienza el relato a ser historia y donde deja de ser mitología.

La mayoría de los relatos son descripciones de batallas libradas contra el enemigo o de guerras de conquista, y por supuesto son relatos en donde los derrotados describen a sus enemigos como guerreros de fuerza extrema, capaces de cargar rocas de cien veces su peso con un solo movimiento de su mano y que podían lanzarlas tan lejos como querían.

En la actualidad, y en base al conocimiento que se tiene, eso hace referencia a que utilizaron algún tipo

* Doctorado en Ingeniería de Materiales FIME-UANL.
E-mail: man76_2000@yahoo.com

de mecanismo, sin embargo los relatos lo describen como algo mágico o sobrenatural.²

Por si fuera poco, los vencedores de la batalla relatan su historia jactándose de la superioridad ante sus enemigos, y de cuan fácil fue vencerlos con el simple movimiento de su mano.

Para complicar aún más este asunto, los mecanismos citados en la literatura antigua solo contienen descripciones textuales de los dispositivos, en los cuales se puede o no utilizar engranes en su funcionamiento, ya que alternativamente pueden haberse empleado poleas o ruedas de fricción, sin embargo no se ha encontrado evidencia física de su existencia.

EVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES PARA LOS ENGRANES

Juzgar mediante la historia escrita en los libros es una cosa, encontrar evidencia palpable de los engranajes es otra. El mayor problema en encontrar evidencia arqueológica de engranajes radica en que los primeros engranes fueron hechos de madera tallada (figura 2), con lo cual es más que evidente que al paso del tiempo se degradan completamente y difícilmente dejan rastros debido al tipo de material empleado. Por otro lado en los registros bíblicos antiquísimos se encuentra que los metales se trabajaban desde el 4000 A.C. y menciona a un Tubal-Caín como el artífice del hierro y del bronce.³

Así que bajo esta evidencia teórica bien pudo haber sido factible que se fabricaran engranajes de bronce o hierro, aunque es necesario recordar que el uso de dichos materiales se encontraba restringido por las limitadas cantidades que se podían obtener y que sólo eran destinadas como obsequio a reyes y faraones.

Tal es el caso de una cuña de metal forjado que data del 3000 A.C., encontrada en la gran pirámide de Keops, rey de Egipto de la IV dinastía. Actualmente esta pieza arqueológica se encuentra en el museo Británico⁵ y es una prueba palpable de que el hierro ya se

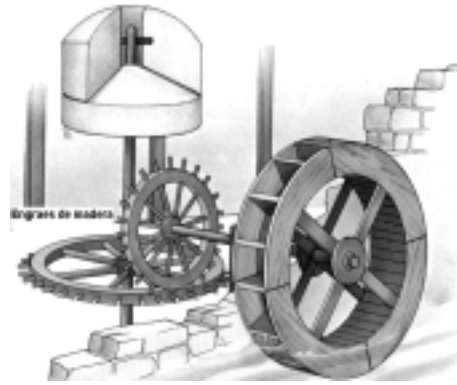


Fig. 2. Prototipo de engrane de madera utilizado en la antigüedad para transmitir movimiento.⁴

trabajaba en esas épocas.

Sin embargo dicho hallazgo también fortalece la hipótesis de que verdaderamente sólo se utilizaban para artículos religiosos u obsequios para reyes y difícilmente se utilizarían para fabricar engranes, si es que ya existían en esa época.

Ya para el año 2000 A.C. cuando la civilización asiria empezaba a formarse, aún bajo la opresión de Caldea y Egipto,⁶ la metalurgia del hierro comenzaba a desarrollarse con mayor fuerza.

Los asirios fueron quienes primero consiguieron producir a gran escala hierro y bronce,⁵ perfeccionando los métodos y logrando, con ayuda de esta ventaja técnica, su libertad como pueblo para el 1300 A.C. bajo el reinado de Teglathalasar.⁶

Ya como pueblo en libertad hacia el 800 A.C. bajo el reinado de Salmanasar habían formado un verdadero imperio y hacia el año 730 A.C. al mando de Salmanasar V habían invadido Caldea, que para ese entonces ya se conocía como Babilonia, además del territorio Egipcio, extendiendo así su imperio desde el Mediterráneo hasta el mar Caspio, y del sur del mar Negro al Golfo Pérsico. Su grandeza: su rey Salmanasar V, su fama: el dominio del hierro y el bronce, su orgullo: el imperio formado (figura 3).

Los mejores artesanos del hierro se formaron durante el imperio Asirio y su acentuación se dió en Damasco. Al paso de los siglos lograrían un dominio sobre el arte de la metalurgia a tal grado que las armas blancas que fabricaban extendieran su fama hasta los primeros siglos de la era cristiana.⁷

Hasta este punto de la historia no se ha encontrado evidencia textual y mucho menos física de la existencia de engranajes, sin embargo ya existía la materia prima necesaria para fabricarlos en bronce o en hierro.

ARISTÓTELES Y LA EVIDENCIA TEXTUAL DEL ENGRANE

Hacia el año 700 A.C. el imperio Asirio colindaba hacia el mar Caspio con el imperio Medo, y hacia el mediterráneo superior con el imperio Persa, en el año 612 A.C. se formó la coalición entre medos y babilonios, tomando Nínive, la ciudad capital de Asiria, mientras

los Persas bajo el mando de Ciro tomaron Macedonia, y avanzaron hasta conquistar todo el imperio asirio y medo extendiéndose hasta la India, ya bajo el mando de Darío I en el año 500 A.C.

Por más de cien años, los Persas se mantuvieron firmes en su intento de conquista de Grecia, sin lograrlo. Sin embargo, hacia el 595 A.C. perdieron el territorio de Macedonia a manos de Filipo quien gobernó del 400 al 356 A.C. fecha en que tomó posesión del reinado su hijo Alejandro Magno, discípulo de Aristóteles quien conocía y dominaba la tecnología y filosofía helénica.

Esto le dio a su discípulo hacia el 335 A.C. la conquista de Grecia, nombrándose Generalísimo del ejército Helénico, con quienes combatió y derrotó al imperio persa, apoderándose de Egipto, en donde en su honor fundó la ciudad de Alejandría hacia el 330 A.C.,⁶ su imperio se extendió hasta el Mar Caspio y Pérsico.

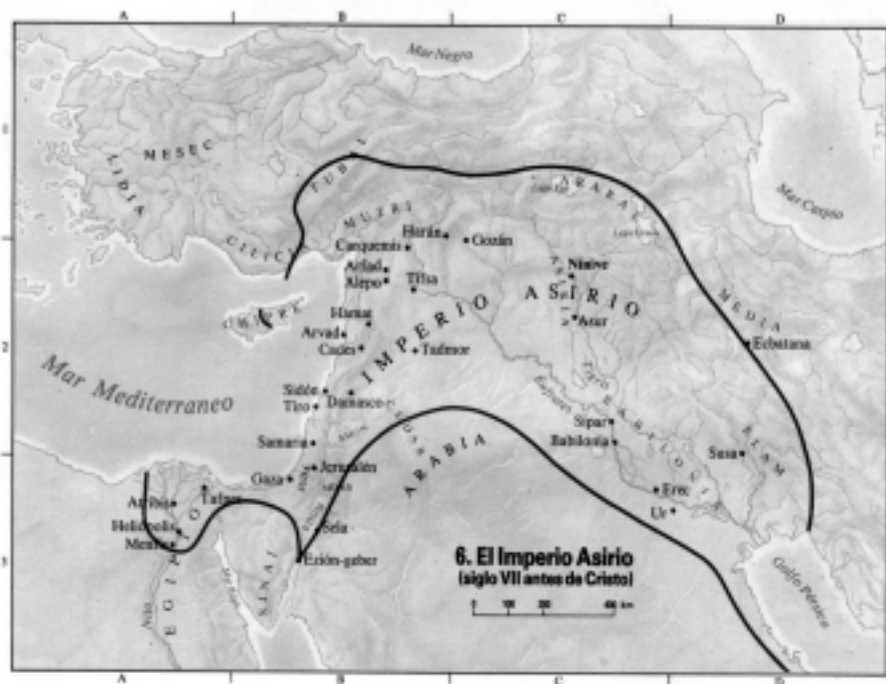


Fig. 3.- El Imperio Asirio hacia el 700 A.C.

En este contexto, cabe destacar que el registro más antiguo de la posible descripción de un mecanismo de engranaje proviene de la escuela de Aristóteles de un trabajo titulado “ Problemas de Mecánica”, alrededor del 300 A.C.¹

En él se describe un mecanismo de ruedas entrelazadas, nuevamente no haciendo referencia específica a ruedas dentadas, por lo que pudieron ser ruedas de fricción con ondulación grande en su periferia.

De ser así se estaría hablando del prototipo de rueda dentada, ya que se entrelazan las dos ruedas por bordes en alto y bajo relieve (figura 4) a los que nombraremos dientes del engrane, que aunque aún no poseían una dimensión determinada cumplen con el objetivo de transmitir movimiento entrelazando dos ruedas.

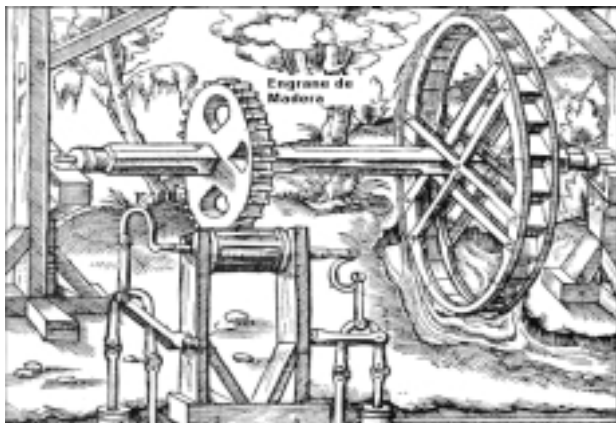


Fig. 4. Prototipo de engrane de madera con bordes en alto y bajo relieve.⁸

EL DISEÑO MÁS ANTIGUO

Paralelamente, con la muerte de Aristóteles su escuela entró en decadencia hacia el 322 A.C.⁶ y el imperio macedonio se dividió entre los generales de Alejandro.⁶ Nuevamente centraremos la atención en el Mediterráneo, haciendo notar que la evidencia más clara y palpable del diseño más antiguo de un engrane

viene del mediterráneo oriental. Remarcando que en ese tiempo Sicilia, en donde vivía Arquímedes (300 al 212 A.C), pertenecía a la Macedonia Griega.⁶

Para estos tiempos se sabe que ya existían los engranes, de hecho a Arquímedes se le atribuye el mecanismo de tornillo, el cual es el principio del mecanismo de corona sinfín (figura 5) y es de quien se tiene la evidencia del uso práctico de los engranes.¹ También se sabe que la metalurgia de hierro y de otros metales ya era bien conocida y dominada por los distintos pueblos, desde lo que actualmente conocemos como Turquía y medio oriente hasta Europa.

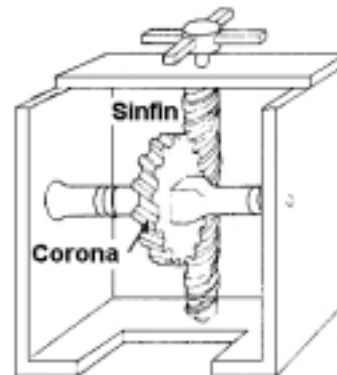


Fig. 5. Diseño de engrane corona y tornillo sinfín atribuido a Arquímedes.

A partir de esta fecha (300 A.C) ya se encuentran escritos con evidencia clara y concisa de que los engranes ya existían y su uso era bien entendido y empleado por los habitantes de la época.¹

Vitruvio reporta hacia el 25 A.C¹ que en la época de Arquímedes se fabricaban relojes de agua en los que se incluían engranes y cremalleras en su maquinaria, figura 6, convirtiéndolos en instrumentos de gran precisión.

Tal es el caso de un gran inventor de esa época, Ctesbios de Alejandría, quien era peluquero de oficio y cuyos inventos incluían engranajes (figura 7).¹

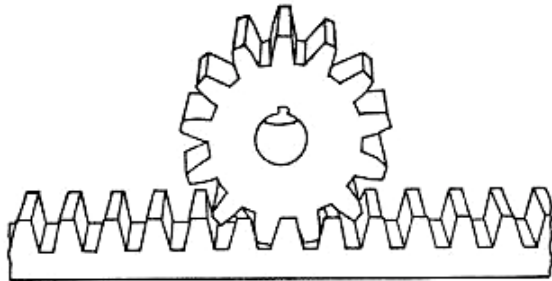


Fig. 6 . Dispositivo de engrane y cremallera.



Fig. 7. Reloj de agua diseñado por Ctesbios de Alejandría en el que se utilizan engranes.⁸

RASTROS ARQUEOLÓGICOS DE LOS ENGRANES

El mecanismo más antiguo del que se tiene conocimiento, y que aún sobrevive en nuestra era, es el mecanismo de Anticitera, figura 8, denominado así por la zona donde fue encontrado. Es un dispositivo de precisión probablemente fabricado hacia el 80 A.C.¹

Este instrumento permaneció intacto desde hace siglos en las orillas de Anticitera, una diminuta isla del mediterráneo, en un navío naufragado cargado de mármol, estatuas de bronce y otros tesoros.

Durante mucho tiempo permaneció en duda su uso,



Fig. 8. Reconstrucción del Mecanismo de Anticitera. ("The Antikythera Mechanism"). Carta celeste para calcular la posición solar y lunar.

actualmente se sabe que éste era un instrumento astronómico o carta celeste. Por su complejidad no fue sino hasta 1974 que se escribió el reporte definitivo de su uso y su diseño total.¹

Este dispositivo contiene más de 30 engranajes arreglados en un complejo tren diferencial y fue utilizado para calcular la posición solar y lunar.

ULTIMOS COMENTARIOS

Aunque los arqueólogos fechen el mecanismo de anticitera hacia el 80 A.C.¹ este dispositivo astronómico es más complejo que cualquier otro descrito antes en la literatura de ese periodo. Probablemente el inicio de este desarrollo date desde la época de Arquímedes, a quien también se le atribuye haber sido uno de los primeros diseñadores del reloj astronómico, o bien, pudo tener sus inicios en la escuela Aristotélica. De ser así es muy probable que el desarrollo de los engranajes para estas culturas se haya

mantenido en secreto, ya que les brindaban ventaja militar sobre otras culturas, de la misma manera como lo hizo el dominio de la metalurgia del hierro en épocas anteriores.

Según cuentan los relatos griegos, se sabe que en el 250 A.C. era Arquímedes quien diseñaba y construía la maquinaria de guerra que hacía la diferencia entre ganar o perder.⁶ Esto lo conseguían gracias a los mecanismos dispuestos en las maquinas diseñadas, o en la facilidad de mover o cargar objetos pesados en un tiempo bastante corto.²

Ya para el 60 D.C. está bien clara la existencia de los engranes, así como también se sabe que habían sido ampliamente aceptados como un medio para transmitir movimiento. Éste es el tiempo de Herón de Alejandría (Matemático y físico Egipcio).⁶

Él describe el uso de un tren de engranes de ejes paralelos para levantar una carga pesada aplicando una fuerza pequeña. También incorporó el mecanismo de tornillo sinfín de Arquímedes a su odómetro (dispositivo para medir distancias reales recorridas en un mapa).

A partir de esta fecha hasta la actualidad la ingeniería de los engranes, así como la de los materiales, ha estado en gran desarrollo. La nueva maquinaria y las necesidades de transmitir movimiento con mayor diversidad, eficiencia, durabilidad, precisión y exactitud ha dado lugar al desarrollo de una gran diversidad de engranes que para lograr su construcción se ha empleado el ingenio de muchos.

Por más que avance el desarrollo de nuevos engranes, siempre se tendrá en mente que en sus inicios esta tecnología fue desarrollada con la finalidad de transmitir movimiento de manera continua, siendo éste el mismo principio en el que se basa el diseño actual.

Sin embargo, no se debe olvidar que fue para uso científico su primera aplicación, en un afán por correlacionar y coordinar movimientos y que poste-

riormente se hizo uso de la cualidad de transmisión de potencia.

Es por todo esto que el engrane no deja de ser una joya de la ingeniería antigua y moderna.¹⁰

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer los valiosos comentarios del Ing. Fernando J. Elizondo Garza.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Price, Derek de Solla. Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism, a Calendar Computer From ca. 80 B.C. Science History Publications, a div. of Neale Watson Academic Publications, Inc., New York, NY, 1974.
- 2.- Lionel Casson, Great Ages of Man, Ed. Time Incorporated Inc., 1965.
- 3.- La Biblia, Sociedad bíblicas unidas, Génesis 4.22, 1960.
- 4.- James Burke, Connections, Ed. Little, Brown and Co., 1978.
- 5.- L. W. Spring, Non-Technical Chats on Iron and Steel and their applications to modern Industry, Cap 1 (1917).
- 6.- J. E. Safra, J. E. Goulka, Enciclopedia Británica, 1997.
- 7.- L. M. Gómez, Acero, La ciencia para todos, Fondo de Cultura Económica, 1997.
- 8.- Siguard Strandh, A History of Machine, Ed. A&W Publishers, Inc. N.Y., 1979.
- 9.- John Baines & Jaromir Nálek, Egipto, Dioses, Templos y Faraones., Atlas Culturales del Mundo, Ed. Folio S.A., 1989.
- 10.- Simulation of the Antikythera Mechanism. <http://etl.uom.gr/mr/Antikythera/>