

## 2. Presentación de los SISTEMAS MECANICOS.

El diseño de mecanismos constituye una parte fundamental de la ingeniería mecánica. En nuestra universidad cualquier estudiante de ingeniería mecánica debería realizar a lo largo de su periodo de formación en esta disciplina, un proyecto que incluyese el diseño cinemático y dinámico de una pequeña máquina, así como la fabricación de las piezas necesarias para finalmente montarla y poder comprobar su funcionamiento.

Así como en ingeniería mecánica hay ciertos campos que se comparten con otras disciplinas de la ingeniería, este no es el caso del diseño de mecanismos. Únicamente la ingeniería mecánica lo trata en toda su extensión.

A pesar de ser un tema que posee una larga historia, de hecho los primeros estudios se remontan a los tiempos de los romanos, el diseño de mecanismos sigue siendo un componente vital del diseño práctico de la maquinaria moderna. Por ello no nos ha de extrañar que forme parte del currículo de ciertos estudios de Grado en nuestra universidad incluidos en los planes de estudio de la E.T.S.I.I.V. Precisamente por el hecho que sigue siendo un componente vital en el diseño de la maquinaria moderna, al igual que sucede en otros campos de la ingeniería, la aplicación práctica de los contenidos incluidos en ella está continuamente cambiando con el desarrollo de nuevas tecnologías. Nuevas tecnologías que han cambiado dramáticamente la forma de realizar el diseño mecánico, han realizado cambios fundamentales en la naturaleza de las máquinas que hoy en día se diseñan, y lo más importante desde nuestro punto de vista, han realizado cambios substanciales en la forma en que los estudiantes deben aprender los contenidos de esta disciplina. Esta es una de las razones que justifican la forma en que se impartirán por parte del autor estos contenidos en los estudios mencionados, y la ausencia de un libro de texto adecuado por completo en cada asignatura de las que forman parte de los estudios de Grado mencionados.

### The Working Model® Product Family

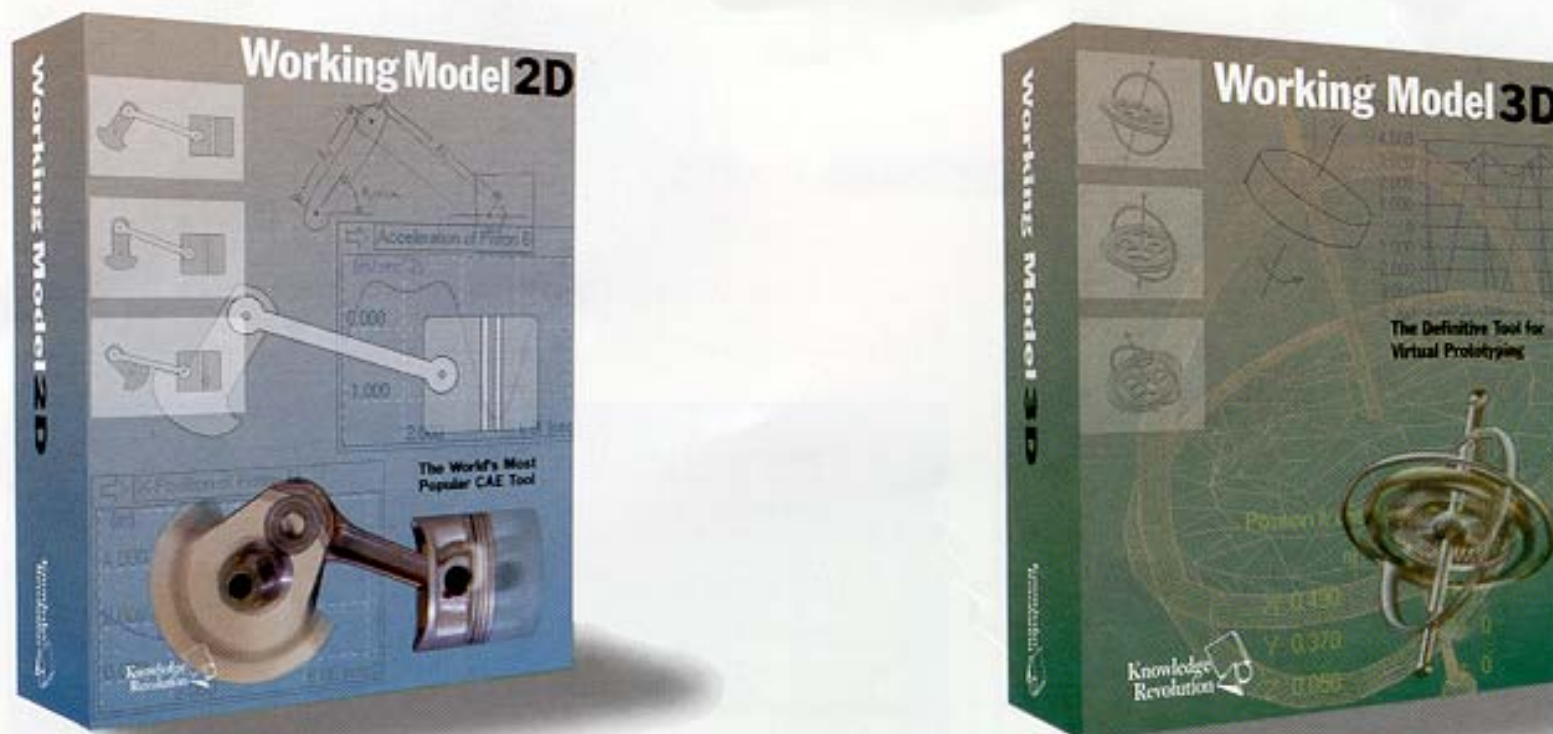


Imagen 2.7. Programas clásicos “Working Model 2D” y “Working Model 3D”.

Hasta hace relativamente pocos años, los mecanismos se diseñaban utilizando técnicas manuales de tipo gráfico. La llegada de las computadoras digitales ha revolucionado la metodología. Las herramientas de software de diseño ayudado por ordenador permiten la automatización directa de algunos métodos gráficos tradicionales. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones es más productivo utilizar la geometría cinemática fundamental con el fin de desarrollar formulaciones analíticas sobre las que es posible programar algoritmos que permiten obtener la solución más adecuada. Esto constituye la base de



algunos paquetes de software de propósito especial que se han desarrollado para llevar a cabo las operaciones de diseño de mecanismos más usuales.

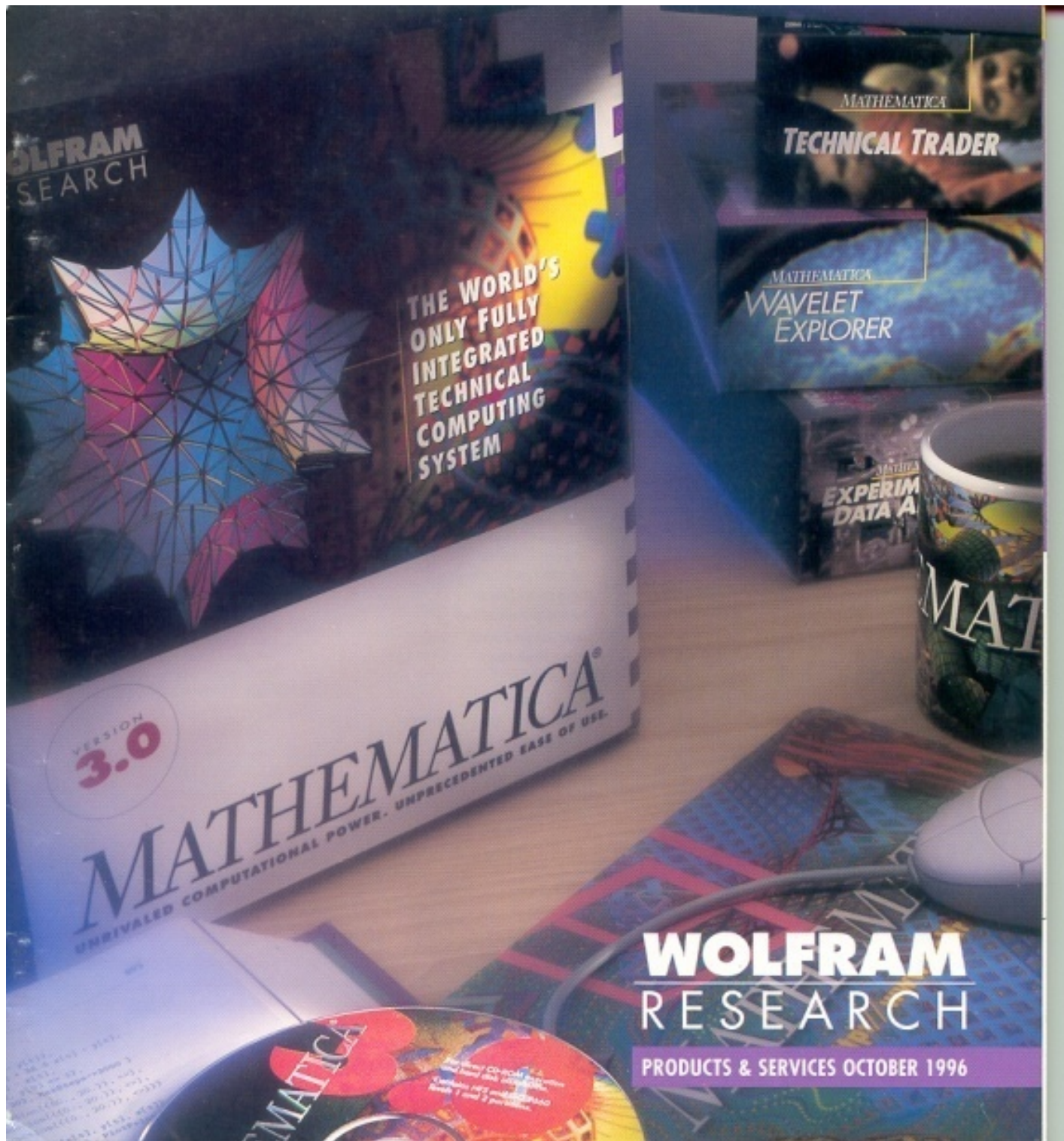


Imagen 2.8. Programa “Mathematica”.

Recientemente, se han conseguido avances notables en la manera en que los ingenieros llevan a cabo los cálculos rutinarios en este campo de la ingeniería. Actualmente, los lenguajes de programación orientados a procedimientos, han sido sustituidos por paquetes de computación numérica especializados, y por paquetes de matemática simbólica. Por ello, no nos ha de extrañar que el desarrollo de los contenidos de esta materia por parte del autor se haya base tanto en programas comerciales especializados en el diseño y análisis de mecanismos, como pueden ser los denominados “Working Model 2D” y “Working Model 3D”, o los mas actuales denominados Cosmos Motion o Solidworks Motion, así como en el programa de matemática simbólica denominado “Mathematica”, y uno de sus aplicaciones, denominada “Mechanical System Pack”.

La influencia de los ordenadores también ha resultado vital en otros dos aspectos de este campo de la ingeniería. En primer lugar, actualmente resulta mucho más práctico el diseño de mecanismos tridimensionales, ya que los paquetes de modelado sólido y los simuladores tridimensionales permiten salvar la dificultad de visualizar un sistema tridimensional a partir de los planos tradicionales realizados a tinta. En segundo lugar, los avances en la tecnología de los actuadores (generadores del movimiento) y en el control digital y en las técnicas de comunicación han permitido liberar al diseñador de la máquina tradicional en la que todos sus componentes estaban mecánicamente coordinados a partir de un único actuador o generador de movimiento, que en la mayoría de las ocasiones era un motor. Actualmente, es posible utilizar una máquina mecánicamente simple que posee múltiples actuadores que están electrónicamente coordinados. Aunque esta forma de entender la máquina ofrece una flexibilidad funcional muy grande, no es siempre apropiada. Por ello no





experiencia docente en este campo, habiéndose podido comprobar sus resultados parciales a lo largo de los últimos años de docencia.

### 2.1. Perspectiva Histórica. Un Resumen.

Un mecanismo es una maquina formada por cuerpos rígidos que están unidos entre ellos. Cada uno de los cuerpos interacciona con uno de los demás en virtud de la unión existente entre ellos. Las uniones están formadas por porciones de las superficies de los cuerpos unidos que están en contacto entre ellas. La forma geométrica de los segmentos de superficie que están en contacto es la que determina las propiedades de cada unión.

El diseño de mecanismos es un área técnica que es única en ingeniería mecánica. Su historia se remonta a tiempos prehistóricos. Artesanos como los cerrajeros y los carpinteros, actuaban de hecho como diseñadores de mecanismos. Una de las funciones originales de los ingenieros fue el diseño de mecanismos tanto para tiempos de guerra como para usos pacíficos. En los tiempos del Renacimiento, encontramos a Leonardo da Vinci, inventor de una variedad de sofisticados mecanismos, la mayoría de los cuales tenían un propósito militar. Es poco después cuando aparece la distinción entre ingeniería civil e ingeniería militar. En cualquier caso, la era moderna en el diseño de mecanismos, junto con la historia de la ingeniería mecánica como disciplina independiente, podemos afirmar que comienza con James Watt.

Esto no quiere decir que este campo haya permanecido anclado en el pasado. De hecho, han ocurrido cambios dramáticos en la práctica del diseño de mecanismos en tiempos relativamente cercanos. Tradicionalmente las máquinas se diseñaban para ser movidas por un simple actuador, de tal forma que todas sus funciones estuviesen mecánicamente coordinadas. Esta tradición ciertamente proviene de Watt. Sin embargo, los desarrollos recientes en la tecnología de los ordenadores, junto con las mejoras en los motores eléctricos y en otros tipos de actuadores, han hecho posible que se pueda diseñar la maquinaria de una forma distinta, de tal manera que la máquina pueda ponerse en movimiento a partir de un conjunto de múltiples actuadores coordinados electrónicamente. Con lo que las máquinas actuales son más simples, más baratas, de un mantenimiento más sencillo, y más fiables. Otro de los cambios importantes está en las técnicas utilizadas en el diseño de mecanismos. El uso de los gráficos interactivos por ordenador ha provocado un impacto dramático en la práctica del diseño. Una de las motivaciones en el planteamiento de este modulo ha sido el de proporcionar un tratamiento que refleje estos cambios en la práctica.

### 2.2. Perspectiva Histórica. Algún dato más.

Algunos dispositivos se han utilizado desde tiempos inmemoriales para aumentar la potencia muscular de los humanos. En la actualidad encontramos dispositivos de uso común que incluso aumentan nuestra capacidad intelectual y de control. El término genérico con que se denomina a todos esos dispositivos es MAQUINA. Por lo tanto, una máquina puede incluir un amplio rango de dispositivos, que van desde una simple polea hasta un robot o un ordenador. En este modulo, sin embargo, únicamente consideraremos los DISPOSITIVOS MECANICOS. La Teoría de Mecanismos y Máquinas (TMM) es una disciplina científica que se encarga del estudio de todo lo relacionado con los sistemas mecánicos, es decir con lo que definiremos como MECANISMOS Y MAQUINAS.

La aportación de autores anónimos, tales como inventores, artesanos, profesionales, etc., hace casi imposible conocer con exactitud la historia de la TMM.

La necesidad de una mínima introducción histórica es incuestionable cuando se trata de comprender el entorno científico en el que nos desenvolvemos.

Se distinguen tres periodos en la cronología histórica de la TMM: (1) *PRIMER PERÍODO* (Desde la antigüedad hasta finales del S. XIX).- Se dispone de muchos resultados procedentes de observaciones y realizaciones desde las épocas más antiguas. La *escuela francesa* de TMM, iniciada por *Monge*, se desarrolla en el sentido de la cinemática pura. *Reuleaux* y *Chebyshev* inician la creación de dos escuelas, *alemana* y *rusa*, que son las que prevalecen en el segundo período; (2) *SEGUNDO PERÍODO* (Hasta mediados del S. XX).- Desarrollo de estas dos escuelas. Aportaciones esporádicas, aisladas, de científicos de otros países; (3) *TERCER PERÍODO* (Hasta nuestros días).- Creación de la *escuela*

*norteamericana*. Gestación de otras escuelas. Desarrollo de una conciencia de colaboración mundial en este terreno.

La primera constancia escrita de la palabra *Mecánica de Máquinas* se remonta a una obra de HERODOTO (S. V. a.C.).



Imagen 2.10. HERODOTO (S. V. a.C.).

Los principios de la estática y la dinámica fueron discutidos en los *Problemas de Máquinas* por ARISTOTELES (384-322 a.C.). En él define máquina o mecanismo como un medio para alterar el curso normal de la naturaleza. Este tratado contiene detalladas discusiones acerca de los mecanismos de elevación, del rozamiento incluyendo la diferencia entre rozamiento estático y dinámico, etc...

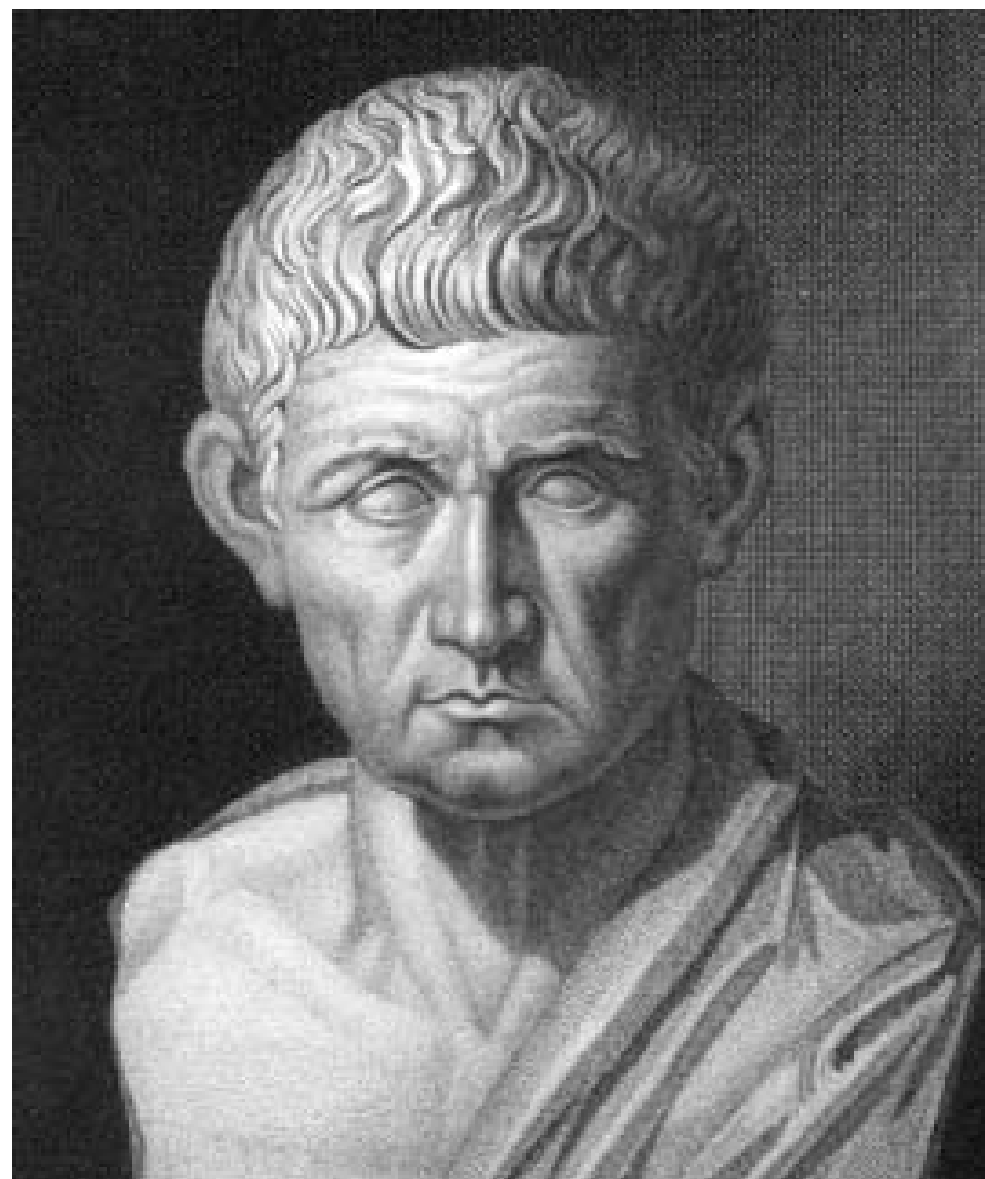




Imagen 2.11. ARISTOTELES (384-322 A.C.).

HERON DE ALEJANDRIA (284-221 a.C.) escribió un completo tratado mecánico denominado Problemas de Máquinas, que se conserva gracias a una traducción al árabe. Expone la idea de que toda máquina está formada por un reducido número de elementos simples. Pero el aspecto más destacado de su obra radica en que constituye un estudio sobre la metodología del diseño. Su análisis cinemático y dinámico se basaba en el Principio de Conservación de la Energía. Desarrolló un procedimiento de síntesis para determinar el número de poleas necesario para elevar un peso dada una fuerza.



Imagen 2.12. HERON DE ALEJANDRIA (284-221 a.C.).

ARQUIMEDES DE SIRACUSA (287-212 a.C.) fue un gran ingeniero e inventor, destacando sus escritos por su rigor matemático. Probablemente fue el inventor de la *polea compuesta* y desarrolló una teoría rigurosa de la palanca y de la cinemática del tornillo.



Imagen 2.13. ARQUIMEDES DE SIRACUSA (287-212 a.C.)

Los romanos aplicaron los conocimientos teóricos desarrollados por los griegos. Destaca MARCO VITRUBIO POLIO.

La desaparición del Imperio Romano supuso también el fin del desarrollo sistemático de las máquinas y mecanismos en Europa hasta bien entrado el segundo milenio. Durante este largo periodo de tiempo destaca el papel jugado por los árabes, no solo conservando

conocimientos anteriores, sino desarrollando sus propias y substanciales contribuciones. Sus realizaciones mecánicas destacaban por sus altos niveles de automatización y control.

Durante el S. XV destaca la figura de LEONARDO DA VINCI. Sus trabajos, muy importantes, no tuvieron repercusión en su época, y se han perdido muchos de ellos.

Se puede afirmar que la ciencia en Occidente comienza con GALILEO GALILEI (1564-1642). Galileo recibió una completa educación en griego, Latín y lógica, estudió las obras de Euclides y Arquímedes y estaba familiarizado con los trabajos de Leonardo. Realizó diversos experimentos sobre la caída de los cuerpos, y sus trabajos sobre el isocronismo del *péndulo* reavivaron el interés por la cinemática y los mecanismos.



Imagen 2.14. GALILEO GALILEI (1564-1642)

En el S. XVIII destacan las figuras de WATT (1736-1819) y de EULER (1707-1783). WATT, en una carta dirigida a su hijo en Noviembre de 1808, describe la metodología a emplear en el diseño de mecanismos de barras capaz de trazar líneas aproximadamente rectas.



Imagen 2.15. WATT

EULER dio las ideas fundamentales del análisis cinemático, dividiendo la dinámica en cinemática y cinética basándose en la suposición de que deben tratar con *cuerpos rígidos*. Concretamente formuló el problema general del movimiento de un cuerpo rígido girando alrededor de un punto fijo. Estableció por primera vez, la relación entre el par actuante sobre el sólido rígido y los cambios experimentados en su movimiento angular.



Imagen 2.16. EULER

JEAN LOUIS LAGRANGE (1736-1813) formuló el mismo problema de un modo diferente, sentando las bases de lo que luego se denominaría *dinámica de LaGrange*.

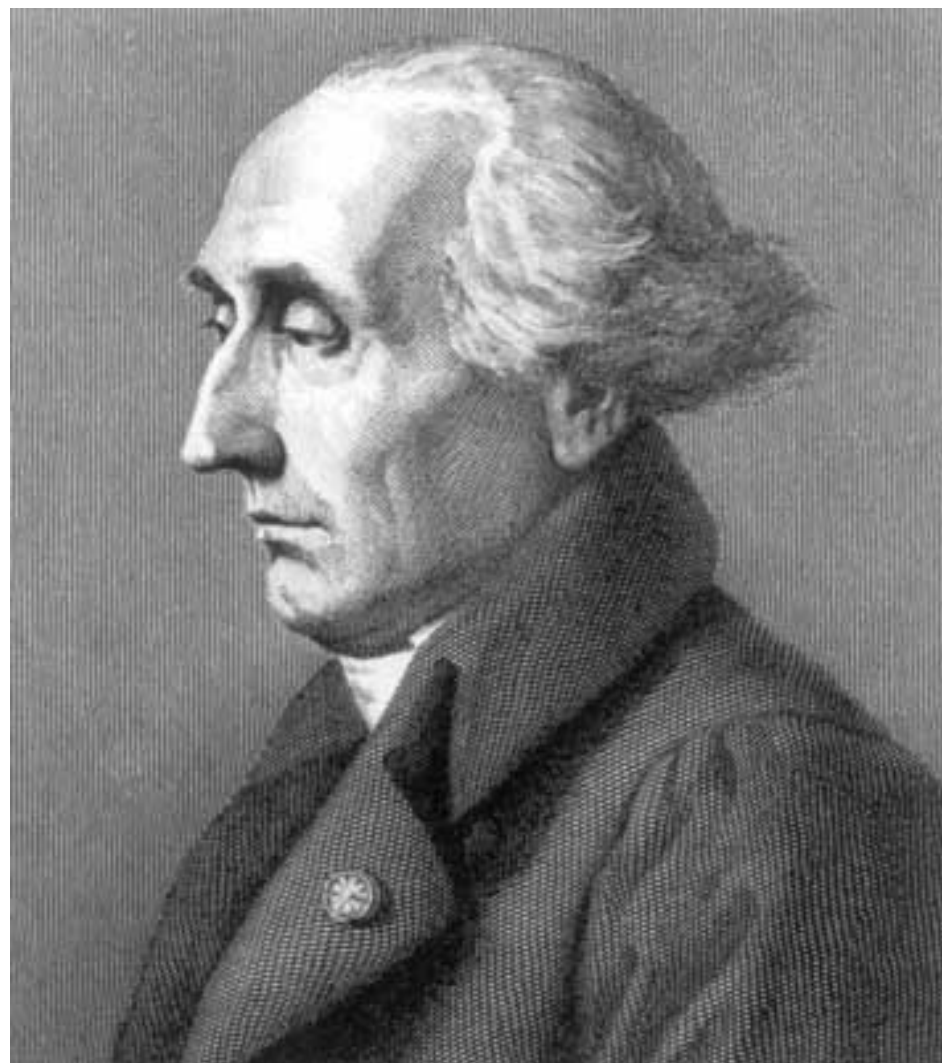




Imagen 2.17. LAGRANGE

JEAN BERNOUILLI (1742) introdujo el concepto de *centro instantáneo de velocidad*.

El ingeniero sueco, CRISTOPHER POHLEM (1661-1751) introdujo lo que denominó *alfabeto mecánico*, que consistía en una colección de diferentes componentes, designados mediante letras del alfabeto. Mediante el alfabeto se facilitaba la síntesis de cualquier mecanismo.



Imagen 2.18. REULEAUX (1829-1905)

A finales del siglo XIX, FRANZ REULEAUX, profesor de mecánica aplicada en Berlín, recopiló un alfabeto mecánico de 800 modelos.

En París, se funda la *escuela francesa* con MONGE (1746-1818) y CARNOT (1753-1823), separándose por primera vez el estudio de la cinemática del estudio de la maquinaria. Monge es el fundador de la geometría descriptiva.

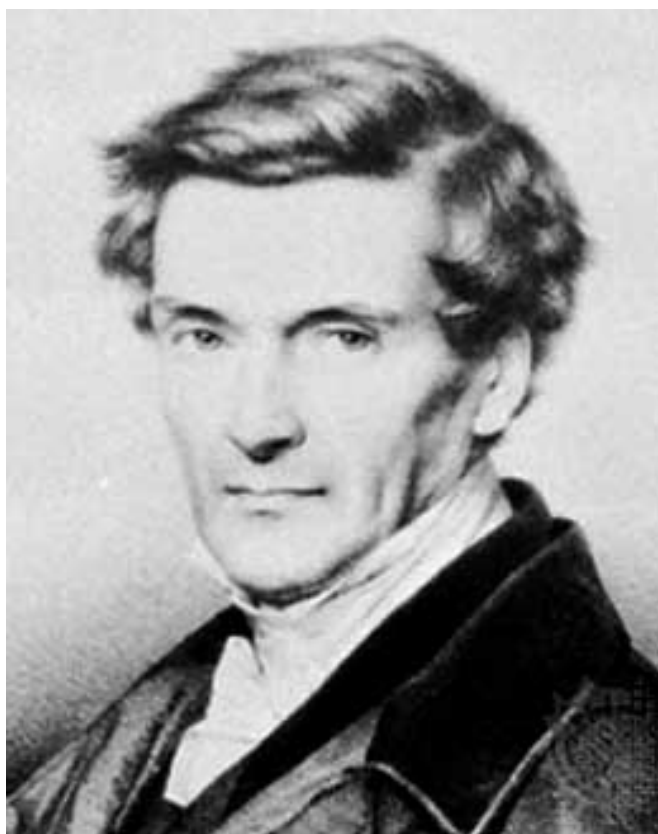


Imagen 2.19. CORIOLIS (1830)

CORIOLIS (1830) investigó los *movimientos relativos* y estableció el problema fundamental del análisis cinemático: determinar el movimiento de una máquina en la cual ciertos

elementos de la misma se están moviendo de un modo determinado. Introdujo el concepto de *velocidad y aceleración relativas*.

ROBERT WILLIS, profesor en la Universidad de Cambridge, publicó sus notas de clase en el libro *Principios de Los Mecanismos*, publicado en 1841. Clasificó los mecanismos y aplicó métodos matemáticos y trigonométricos a su análisis.



Imagen 2.20. CHEBYSHEV (1821-1894).

Durante el segundo periodo se produce un desarrollo espectacular de la TMM en las escuelas alemana y rusa. La primera fundada por BURMESTER (1840-1927), y la segunda por CHEBYSHEV (1821-1894).

BURMESTER aborda mediante procedimientos geométricos la *síntesis dimensional*.



Imagen 2.21. ROBERTS (1827-1913)



ROBERTS (1827-1913) trabaja sobre la obtención de leyes para la formación de las cadenas cinemáticas y la obtención de mecanismos generadores de *trayectorias rectilíneas*.

En Rusia, los discípulos de Chebyshev aplican nuevas herramientas matemáticas a las *síntesis*. BLOCH introduce los números complejos en la *síntesis* cinemática.

ARTOBOLEVSKY publica su famoso atlas de mecanismos.



Imagen 2.22. ARTOBOLEVSKY



Imagen 2.23. FREUDENSTEIN

FERDINAND FREUDENSTEIN (1926- ) es probablemente la figura más relevante del S. XX en el campo de la cinemática. Su obra destaca sobre todo por la introducción del ordenador a la hora de abordar los problemas de análisis y síntesis cinemática.

En los años 50, la dinámica de máquinas y mecanismos estaba sumida en un cierto estancamiento. Las realizaciones prácticas en el campo de la dinámica se limitaban a un apartado muy concreto de la misma como era la determinación de las fuerzas actuantes sobre un sistema mecánico cuando el movimiento del mismo es conocido (problema dinámico inverso o cinetostático). En cambio, las realizaciones prácticas en el campo de la simulación del movimiento (determinación de las características del movimiento cuando son conocidas las fuerzas externas actuantes sobre el sistema mecánico) se limitaban a la aplicación de teoremas energéticos a mecanismos con un solo grado de libertad. Ello aparece reflejado en los libros de texto de la época, entre los cuales se encuentra el debido a MABIE Y OCVIK (1957).

Una notable excepción la constituye los trabajos de EKSERGIAN (1930-1). El cual publicó un sofisticado tratado sobre maquinaria empleando los principios de la mecánica analítica. Sin embargo, la ausencia de ordenadores obligó a Eksergian a recurrir a métodos grafo-analíticos que convertían en poco atractivo su planteamiento. A este respecto, indicar que BURTON PAUL se inspira en los planteamientos de Eksergian en su conocida obra de 1979.

En la década de los 60 el panorama cambia totalmente con la llegada del ORDENADOR, pero esto es otra historia.