

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

**WARNING.** Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

*Universitat Politècnica de Catalunya*  
*Departamento de Expresión Gráfica en la Ingeniería*

*Tesis Doctoral*

*DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SIMULADOR INTERACTIVO DE  
ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE MECANISMOS MEDIANTE APLICACIONES  
DE CÁLCULO SIMBÓLICO PARA CAD 3D*

*Presentada por*

*Joan Antoni López Martínez*

*Para optar al título de*

*Doctor por la Universitat Politècnica de Catalunya*

*Director de Tesis:*

*Dr. Francisco Hernández Abad*

*Codirector de Tesis:*

*Dr. Jorge Font Andreu*

*Programa de Doctorado en Ingeniería Multimedia (778)*

*Manresa, Enero de 2012*





*El presente trabajo ha sido realizado en el Departamento de Expresión Gráfica en la Ingeniería de la Universidad Politécnica de Cataluña, y se ha presentado en la convocatoria de Enero de 2012 dentro del programa de doctorado INGENIERÍA MULTIMEDIA, en la Universidad Politécnica de Cataluña, gracias a la colaboración del mis compañeros de departamento.*

*A M<sup>a</sup> Alba y a Guim,  
por su amor, sacrificio y comprensión.*

*A todos los abuelos y abuelas del mundo,  
sin los que seguramente el planeta dejaría de girar.*

*A Manel Ochoa Vives,  
quien en todo momento me animó a trabajar para  
El Departamento.*



*“Daría todo lo que sé  
por la mitad de lo que no sé”*

*René Descartes*



# ***Agradecimientos***

*Agradezco el interés, el tiempo dedicado, la persistencia y el ímpetu con el que me han dirigido mi Director y mi Codirector de Tesis: los Doctores Francisco Hernández Abad y Jorge Font Andreu. Sin ellos no habría podido realizar este trabajo.*

*Igualmente agradezco a todos los profesores y profesoras que me han cedido parte de sus horas de clase para poder presentar nuestra investigación a los estudiantes.*

*Del mismo modo he de dar las gracias a todos los estudiantes por haber hecho de conejillos de indias en las diversas sesiones de presentación de nuestra investigación.*

*A todas las compañeras y compañeros del Departamento de Expresión Gráfica en la Ingeniería, que me han apoyado y ayudado en innumerables ocasiones.*

*Y en definitiva a todo aquel que de algún modo contribuyó a que este trabajo pudiera llegar a buen puerto.*

# Resumen

*La Síntesis de Mecanismos se dedica a hallar una determinada máquina que se comporte de una manera preestablecida de antemano, así, se trata del ejercicio contrario que se realiza cuando nos referimos al Análisis de Mecanismos, que se aplica para conocer el comportamiento y las propiedades que ofrece un mecanismo conocido. Cuando en la industria una diseñadora o un diseñador mecánico buscan una determinada máquina que pase por determinados puntos, o que posea otras restricciones propias de una necesidad concreta, necesariamente han de ser conocedores de las técnicas de Síntesis y de Análisis, pues desafortunadamente en la realidad existen muchas más variables desconocidas que ecuaciones planteables, así el proceso de diseño casi siempre consiste en un planteo de ecuaciones de síntesis que generarán una o diversas soluciones posibles, que a posteriori, el diseñador deberá valorar mediante técnicas de análisis, y de esta manera, -a caballo de las dos ramas-, la ingeniera o el ingeniero podrán ir descartando alternativas y refinando su búsqueda hasta hallar una solución válida para la gran mayoría de restricciones de su problema.*

*Así, se define el objeto del presente trabajo como el análisis de la matemática disponible para la resolución de problemas de Síntesis de Mecanismos para posteriormente generar una herramienta de simulación interactiva que asista al diseñador mecánico, al docente y al estudiante en la resolución de problemas de síntesis dimensional analítico-exacta de guiado de cuerpo rígido con puntos de precisión mediante aplicaciones de cálculo simbólico para CAD3D. De la misma manera presentamos los objetivos de esta tesis bajo diversos ámbitos:*

## ***Ámbito industrial:***

*Aportar una herramienta de síntesis de mecanismos, de uso intuitivo y de utilidad rápida y directa para el diseñador mecánico.*

## ***Ámbito docente:***

*Incorporar al aula una herramienta informática con la que el docente pueda impartir síntesis de mecanismos de manera ágil e intuitiva*

*Dotar al alumno de una aplicación con la que poder auto-aprender síntesis de mecanismos.*

## ***Ámbito institucional***

*Facilitar y fomentar la transformación al Espacio Europeo de Educación Superior de las facultades de ingeniería a través de la incorporación de herramientas informáticas.*

*Tras realizar una búsqueda exhaustiva en las guías docentes, -o documentos equivalentes-, de todas las asignaturas obligatorias de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica de todas las universidades españolas que imparten esta titulación a día de hoy, descubrimos que la Síntesis de Mecanismos es una materia que aparece sólo en 20 de las 54 posibles asignaturas, -el 37% de los casos-. Desconocemos los motivos de este hecho, aunque sospechamos que seguramente estén involucrados la aparición de nuevos campos en el terreno de la ingeniería, -y por tanto en las aulas de nuestras universidades-, junto con la falta de tiempo de que los docentes disponen para poder impartir los temarios de sus asignaturas.*

*Así, sucede que la mayoría de asignaturas que pudieran contener alguna pincelada de Síntesis de Mecanismos, contienen únicamente Análisis de Máquinas, -ya sea análisis cinemático y/o dinámico-, dejando por tanto a sus alumnos sin los conocimientos necesarios*

*para poder hallar un mecanismo que se comporte de una determinada manera. Cabe justificar aquí esta situación, pues carece de sentido tratar la síntesis sin antes dominar el análisis, ya que los fundamentos de la síntesis provienen del análisis de máquinas, así comprendemos perfectamente, y somos totalmente conscientes de que los temarios de las asignaturas obligatorias relacionadas con la cinemática han de abordar múltiples contenidos de obligada impartición de manera previa o prioritaria ante otras materias como la Síntesis de Mecanismos. Además hemos de tener en cuenta que el planteamiento matemático asociado a la resolución de problemas de Síntesis de Mecanismos, involucra a múltiples sistemas de ecuaciones con números complejos que en la mayoría de ocasiones, -a partir de la prescripción de 3 posiciones-, presentan un comportamiento fuertemente no lineal.*

*Por tanto detectamos que en las futuras vidas profesionales de la mayoría de nuestros estudiantes, estos no van a disponer de las herramientas necesarias para poder enfrentarse a la búsqueda de máquinas que cumplan con un determinado comportamiento preestablecido de antemano, y que por tanto van a verse obligados a realizar diseños defectuosos, fruto de un mal planteamiento o de un tanteo a ciegas, así muy probablemente van a optar por un descarte de soluciones de diseño que incorporen mecanismos articulados o de una cierta complejidad, inclinándose en la mayoría de los casos por diseños con movimientos rectilíneos, con guías lineales, cilindros neumáticos, etc. Comentamos aquí que descartar soluciones con mecanismos articulados de antemano puede dejar en el tintero mecanismos con propiedades muy interesantes que el diseñador, ante un problema concreto, y a causa de su desconocimiento de la materia, simplemente va a ignorar.*

*Con la intención de paliar esta situación indicamos las siguientes acciones:*

- Implantar diversas herramientas informáticas de soporte, -como las que aportamos en la presente investigación-, para facilitar a los docentes la introducción de contenidos de considerable densidad, sin las que algunas materias como la Síntesis de Mecanismos, sería prácticamente imposible tratar a fondo en las aulas.*
- Crear asignaturas optativas específicas, estudios de postgrado o másteres en los que dar cabida a la materia de Síntesis de Mecanismos, brindando así el tiempo necesario para impartir y aprender materias que de otro modo, -debido entre otros a su dificultad y a la falta de tiempo material-, costaría mucho incluir en los temarios de las asignaturas obligatorias de los estudios de grado.*
- Usar herramientas informáticas de uso interactivo, rápido e intuitivo, -como las presentadas en nuestra tesis-, que el alumno pueda usar de manera cuasi-autónoma a modo de herramientas de autoaprendizaje. Haciendo esto se conseguiría disminuir la cantidad de tiempo que los docentes debieran dedicar a la impartición de materias como la Síntesis de Mecanismos en sus clases magistrales.*

*Por otro lado, después investigar las herramientas informáticas más representativas que existen a día de hoy en el mundo de la Síntesis de Mecanismos, detectamos una serie de necesidades no cubiertas. Y por este motivo nos disponemos a programar una aplicación informática que llene dichos huecos, y que además sirva al mundo industrial como herramienta de diseño, y al mundo docente como herramienta de soporte para poder introducir, reforzar o agilizar la presencia en las aulas de una materia considerablemente densa como la Síntesis de Mecanismos.*

*De entre las principales y novedosas ventajas de nuestra herramienta destacamos que:*

- Es totalmente editable por parte del usuario, por tanto puede ser modificada, personalizada o ampliada sin límite alguno.*

- *Está integrada en el programa CAD3D CATIAv5, hecho que permite que el diseñador de mecanismos prácticamente no abandone en ningún momento su entorno habitual de trabajo.*
- *Evita la introducción de valores numéricos por parte del usuario. Esto es muy práctico y ágil a la vez que evita errores indeseados.*
- *Como resultado genera un archivo en formato wrl, directamente insertable en la mayoría de programas CAD3D del mercado.*
- *Resuelve problemas de diversa dificultad, cosa que facilita su implantación en el aula a las diversas alturas del curso académico, a la vez que se perfila de utilidad como herramienta apta para resolver situaciones de dificultad industrial.*

*En el tramo final de la presente investigación, y con la intención de captar la opinión de los futuros usuarios de nuestra herramienta, se realizaron diversas sesiones de presentación que finalizaron en una encuesta de opinión. Dicha encuesta nos fue de mucha utilidad para valorar nuestro trabajo así como para tomar nota de futuras mejoras a realizar en nuestra aplicación.*

# Índice

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>4</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>11</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.1 <i>Objetivos de la tesis</i> .....	13
1.1.1 <i>El objeto de estudio</i> .....	13
1.1.2 <i>La importancia del objeto de estudio</i> .....	15
1.1.3 <i>Tema y objetivos de la tesis</i> .....	15
1.2 <i>Estructura de la tesis</i> .....	16
<b>2 ESTADO DE LA CUESTIÓN</b> .....	<b>19</b>
2.1 <i>El contexto educativo actual</i> .....	19
2.2 <i>Síntesis de Mecanismos en las aulas españolas</i> .....	22
2.2.1 <i>¿Por qué el Grado en Ingeniería Mecánica?</i> .....	22
2.2.2 <i>Metodología</i> .....	23
2.2.2.1 <i>Buscando los contenidos de las asignaturas</i> .....	25
2.2.3 <i>El Grado en Ingeniería Mecánica</i> .....	27
2.2.4 <i>Datos obtenidos</i> .....	27
2.2.4.1 <i>AutoCAD</i> .....	42
2.2.4.2 <i>Matlab</i> .....	43
2.2.4.3 <i>Matlab-Simulink</i> .....	43
2.2.4.4 <i>Working Model 2D</i> .....	44
2.2.4.5 <i>SAM (Síntesis y análisis de mecanismos)</i> .....	44
2.2.4.6 <i>WinMecc</i> .....	45
2.3 <i>Conclusiones</i> .....	46
<b>3 ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE MECANISMOS</b> .....	<b>49</b>
3.1 <i>Análisis de mecanismos. Metodologías y herramientas</i> .....	51
3.1.1 <i>Análisis de mecanismos con herramientas CAx</i> .....	54
3.1.1.1 <i>Presentación de los mecanismos</i> .....	55
3.1.1.2 <i>Simulación cinemática</i> .....	57
3.1.1.3 <i>Resultados obtenidos en la simulación cinemática</i> .....	57
3.1.1.4 <i>Simulación dinámica</i> .....	59

3.1.1.5	Resultados obtenidos en la simulación dinámica.....	60
3.1.1.6	Conclusiones del ejercicio .....	60
3.2	Síntesis de mecanismos. Tipologías.....	62
3.2.1	Síntesis Dimensional Analítico Exacta de Múltiples Posiciones con puntos de precisión para el mecanismo de cuatro barras articulado .....	63
3.2.2	Síntesis Dimensional Analítico Exacta de Guiado de Cuerpo Rígido con puntos de precisión.....	64
3.2.3	Síntesis Dimensional Analítico Exacta de Generación de funciones de coordinación para el mecanismo de cuatro barras articulado .....	64
3.3	De la síntesis al análisis y viceversa .....	65
<b>4</b>	<b>SÍNTESIS DIMENSIONAL ANALÍTICO-EXACTA DE GUIADO DE CUERPO RÍGIDO CON PUNTOS DE PRECISIÓN.....</b>	<b>67</b>
4.1	El tratamiento matemático.....	68
4.1.1	Cantidad de puntos de precisión especificados .....	71
<b>5</b>	<b>PRIMEROS PASOS. ANÁLISIS DE MECANISMOS CON ATiCA<sub>4B</sub>.....</b>	<b>77</b>
5.1	El simulador ATiCA <sub>4b</sub> .....	77
5.2	El proceso interno de cálculo .....	79
5.3	La interacción con ATiCA <sub>4b</sub> .....	81
5.4	Resultados.....	82
5.5	Conclusiones.....	85
<b>6</b>	<b>ALGUNAS HERRAMIENTAS DE SÍNTESIS DE MECANISMOS.....</b>	<b>87</b>
6.1	LINCAGES.....	87
6.1.1	Ventajas e inconvenientes .....	88
6.2	WATT Mechanism Suite 2004.....	89
6.2.1	Ventajas e inconvenientes .....	90
6.3	SAM.....	91
6.3.1	Ventajas e inconvenientes .....	92
6.4	SyMech.....	92
6.4.1	Ventajas e inconvenientes .....	93
6.5	Synthetica.....	94
6.5.1	Ventajas e inconvenientes .....	96
6.6	RR Constraint Synthesis + Mechanism Generator(RRCS+MG).....	97
6.6.1	Ventajas e inconvenientes .....	99
6.7	LINKAGES.....	100
6.7.1	Ventajas e inconvenientes .....	102
6.8	CIMEC.....	102
6.8.1	Ventajas e inconvenientes .....	103

6.9 Comparativa .....	105
6.10 Conclusiones .....	110
<b>7 CAMS<sub>4</sub>.....</b>	<b>113</b>
7.1 El núcleo de cálculo .....	113
7.2 La herramienta CAD.....	114
7.3 Metodología .....	115
7.4 Uso habitual de la herramienta .....	116
7.4.1 Configurando CatiaV5 .....	116
7.4.2 Iniciando el núcleo de cálculo .....	117
7.5 Flujo de trabajo .....	118
7.6 La estructura requerida del archivo CAD .....	119
7.7 Tras ejecutar CAMS <sub>4</sub> .....	121
7.8 Modificaciones de código por parte del usuario .....	123
7.9 Ejemplo de uso: Tren de Aterrizaje .....	123
7.10 Conclusiones.....	127
<b>8 EXPERIENCIAS EN EL AULA.....</b>	<b>129</b>
8.1 El contenido de la sesión .....	130
8.2 La encuesta presentada a los estudiantes .....	131
8.3 Resultados de la encuesta .....	134
8.4 Conclusiones .....	141
<b>9 CONCLUSIONES .....</b>	<b>143</b>
9.1 Aportaciones .....	146
9.2 Futuras investigaciones .....	148
<b>10 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>157</b>
A. Código de ATiCA <sub>4b</sub> .....	159
B. Código de CAMS <sub>4</sub> catia .....	165
C. Código de CAMS <sub>4</sub> .....	169
D. Fichas de guías docentes .....	175

# Lista de figuras

- Figura 2.1.- Diagrama de flujo del proceso seguido para realizar la búsqueda exhaustiva de datos en todos los sitios web de todas las universidades españolas donde actualmente se imparte el Grado en Ingeniería Mecánica.....26
- Figura 2.2.- Gráfico en el que sólo constan las 20 asignaturas obligatorias del G.I.M. que se imparten en las universidades españolas y que sí incluyen Síntesis de Mecanismos (en el eje horizontal aparecen sus identificadores). Vemos como de media, dicho grupo de asignaturas incorporan en su contenido un 12% de la materia conocida como Síntesis de Mecanismos.....39
- Figura 2.3.- Temporización: observamos que lo más habitual es que esta materia aparezca en la zona inicial y central de estas asignaturas ..... 40
- Figura 3.1.- Un posible diagrama vectorial asociado a un mecanismo concreto. Como vemos, los vectores azules forman un circuito cerrado que representa al mecanismo en cuestión, con ellos modelamos la posición de las articulaciones móviles del cuatro barras. El vector verde,  $r_s$ , representa la posición del punto de acoplador a estudiar respecto a un punto de referencia del mecanismo de cuatro barras. ....52
- Figura 3.2.- El pedal clásico. Sobre estas palabras se observa el esquema cinemático con el que podemos representar al mecanismo de pedal clásico. A la derecha podemos ver una imagen renderizada con CatiaV5 de este mecanismo. ....55
- Figura 3.3.- Arriba mostramos el esquema cinemático del pedal mejorado para contrarreloj, en el que la barra 2 representa a la biela sobre la que trabaja el pie derecho. A la derecha una imagen generada mediante el módulo Photo Studio de la herramienta CatiaV5 en la que se observa el aspecto exterior de dicho mecanismo. En ella podemos apreciar que la biela derecha no está unida rígidamente al plato. ....56
- Figura 3.4.- Gráfica obtenida en el módulo DMU kinematics. En ella observamos el comportamiento de  $\phi_2'$  cuando  $\phi_1'$  se mantiene constante a lo largo del tiempo en el caso de mecanismo mejorado.....57
- Figura 3.5.- Ventana del DMU kinematics en la que introducimos el tiempo y la relación entre este y el ángulo motriz, en este entorno hemos realizado la simulación cinemática de ambos mecanismos. ....58
- Figura 3.6.- Gráfica obtenido con hoja de cálculo, en ella observamos que las bielas en uno y otro caso giran de maneras distintas para una misma velocidad angular en los respectivos platos. ....58
- Figura 3.7.- Entorno de trabajo del simulador dinámico asociado a SolidWorks. Vemos las juntas del mecanismo. ....60
- Figura 3.8.- Resultados de la simulación dinámica ..... 61
- Figura 4.1.- Dos posiciones diferentes de un mecanismo de cuatro barras. Podemos ver que el punto P se mueve desde P1 hasta Pj, así  $\delta_j$  se define como el vector desplazamiento de un punto perteneciente a la barra acopladora del mecanismo cuando la barra A rota un ángulo  $\beta_j$ . El lector puede ver también como dividimos el mecanismo en dos diádas: A y B .....68
- Figura 4.2.- Algoritmo computacional para resolver el problema de dos posiciones prescritas con orientación en el que alimentamos el sistema de ecuaciones con todos los valores posibles de  $\beta_2$ ..... 71



## Lista de figuras

- Figura 4.3.- Puntos *M*. Todos estos puntos son el lugar geométrico donde podemos colocar articulaciones fijas de un mecanismo articulado de cuatro barras. Esta gráfica fue calculada durante el proceso de diseño de un manipulador industrial, en el que se prescribieron 3 puntos con orientación. Podemos observar que existen infinitas soluciones..... 73
- Figura 4.4.- Curvas resultantes al abordar el proceso de diseño de una pequeña excavadora especificando 4 posiciones con orientación. Estas curvas se conocen como curvas de Burmester. En el ejemplo mostrado los curvas naranjas representan los puntos *M*, articulaciones fijas, mientras que los puntos azules se conocen como puntos *K* y representan posibles ubicaciones para articulaciones móviles. .... 75
- Figura 5.1.- Simulación con ATiCA<sub>4b</sub>: diversas posiciones de un mismo mecanismo de cuatro barras con unas determinadas medidas elegidas por el usuario. Se observan también las diversas posiciones, los puntos gruesos, que va ocupando el punto de acoplador a lo largo del tiempo. .... 78
- Figura 5.2.- Resultados de una simulación con ATiCA<sub>4b</sub>. Dos puntos de vista de un mismo mecanismo con diferente valor de  $\theta_1$ , o sea con la barra motriz en posiciones diferentes. Se puede observar que en ambos casos el punto de acoplador se mueve sobre la curva de acoplador, y además se percibe que sea cual sea el punto de vista o la posición del motor, la curva de acoplador es igual para los dos casos, pues de hecho estamos hablando de la misma máquina, mismas medidas. .... 79
- Figura 5.3.- Funcionamiento interno de ATiCA<sub>4b</sub>, en cualquier momento el usuario puede variar medidas y punto de vista del problema. La simulación se actualizará inmediatamente. El motor gráfico del simulador está continuamente animando el movimiento y a la vez cambiando el punto de vista del observador..... 80
- Figura 5.4.- Interfaz de usuario del simulador ATiCA<sub>4b</sub>, permite modificar los parámetros de control simplemente arrastrando controles de corredera. .... 81
- Figura 5.5.- Controles de corredera del simulador ATiCA<sub>4b</sub> ampliados. Entre otras utilidades, los controles en esta posición, permiten la introducción directa de valores numéricos..... 82
- Figura 5.6.- Aspecto de ATiCA<sub>4b</sub>: en la parte superior las correderas con las que el usuario puede controlar al simulador, como ya hemos visto, esta parte es ampliable. En la parte inferior la ventana de resultados, donde se puede observar el mecanismo e interactuar con él. En esta zona, mediante el botón principal del ratón, el usuario puede cambiar el punto de vista con el que observar el movimiento y la curva acopladora resultante. Esto puede hacerse también en la zona de control de la parte superior de la interfaz..... 83
- Figura 5.7.- Resultados obtenidos al modificar los parámetros del simulador. Con la intención de mejorar la comprensión, las figuras *b* y *c*, representan al mismo mecanismo pero observado bajo puntos de vista diferentes, hemos utilizado el mismo recurso con las figuras *d* y *e*. En el caso 5.7a, podemos percibir muy claramente la velocidad del punto de acoplador representado: a mayor separación entre puntos negros más velocidad. Es algo más abstracto, pero totalmente posible observar las aceleraciones, pues se trata de percibir las variaciones en la velocidad. En el caso de las figuras *b* y *c* nos hallamos ante una curva de acoplador un tanto especial, pues esta presenta una cúspide. Las figuras *d* y *e*, muestran una misma máquina que en este caso presenta una crúnoda, o sea una curva de acoplador que pasa dos veces por el mismo lugar pero con características cinemáticas diferentes, dicho sea de paso, efecto habitualmente molesto en la industria. .... 84
- Figura 6.1.- Dos ventanas de LINCAGES: a la izquierda un problema ya calculado con el plano mapeado según colores y criterios, a la derecha: resultado final de la solución escogida por el usuario en forma de longitudes y coordenadas. .... 88
- Figura 6.2.- Ventana del programa Watt en la que se han especificado cuatro puntos de paso. .... 89
- Figura 6.3.- Ventana del asistente de SAM para realizar síntesis de guiado de sólido rígido. .... 91

## Lista de figuras

Figura 6.4.- Imagen con una ventana de Pro/Engineer tras haber seleccionado un mecanismo solución con el programa SYMECH.....	93
Figura 6.5.- Algunas ventanas de Synthetica. A la izquierda: Entorno donde se indican las propiedades de una cadena cinemática. A la derecha: Aspecto de la matriz usada para especificar prescripciones de diseño. ....	95
Figura 6.6.- Resultado final de un mecanismo espacial diseñado íntegramente con Synthetica. ....	96
Figura 6.7.- Aspecto de la hoja de Mathematica escrita por McCarthy en el que se pueden leer las instrucciones para su uso. ....	98
Figura 6.8.- Aspecto de un mecanismo generado con la herramienta Mechanism Generator.....	98
Figura 6.9.- Una de las pantallas de trabajo del software Linkages.....	100
Figura 6.10.- La ventana de la herramienta Linkages que resuelve síntesis de mecanismos articulados de 4 barras para 2 y 3 posiciones con orientación.....	101
Figura 6.11.- Izquierda: Aspecto de la interfaz de usuario de la herramienta del CIMEC. Derecha: Coordenadas y articulaciones fijas debidamente codificadas para importar información desde un archivo de texto a esta herramienta. ....	103
Figura 7.1.-Concepto de desarrollo para nuestra aplicación: Se trata de dos rutinas independientes, una en un programa CAD 3D paramétrico comercial y otra en una herramienta de cálculo matemático. Ambas herramientas pueden comunicarse entre sí. ....	115
Figura 7.2 Aspecto de una zona de la pantalla de CatiaV5 en la que se observa el icono de la aplicación CAMS <sub>4</sub> . ....	116
Figura 7.3 Pantalla de CatiaV5 en que se reproduce el proceso de instalación de una macro. ....	117
Figura 7.4 Arriba: Aspecto inicial de la pantalla de CAMS <sub>4</sub> en el entorno Mathematica. Abajo: Parte del contenido de la sección de inicialización de variables y funciones del núcleo de cálculo .....	118
Figura 7.5 Estructura de la información codificada que el CAD3D exporta al núcleo de cálculo. Se trata de una matriz con n filas correspondientes a n posiciones prescritas con orientación.....	118
Figura 7.6 Estructura general del archivo de CatiaV5 ya preparado para exportar información al núcleo de cálculo.....	119
Figura 7.7 Dos posiciones de la barra acopladora dibujadas en un boceto de CatiaV5 .....	121
Figura 7.8 Proceso de diseño con CAMS <sub>4</sub> de un problema con 4 posiciones con orientación prescrita. Arriba a la izquierda: Restricciones de paso impuestas por el usuario. Arriba a la derecha: insertando los archivos *.wrl contenedores del conjunto de soluciones. Abajo: entorno de diseño final en que el usuario tiene a su disposición todas las posibles barras articuladas al bastidor del mecanismo de cuatro barras buscado, representadas aquí mediante trazos finos de color naranja. Recomendamos al lector que para una correcta interpretación de estos resultados, lea más adelante el apartado 7.9 del presente documento, donde hallará un ejemplo mucho más concreto del uso e interpretación de nuestra herramienta. ....	122
Figura 7.9.- Fases de diseño del tren de aterrizaje. Podemos ver en (a) las cuatro posiciones con orientación especificadas: El usuario ha trazado cuatro líneas, y las ha usado como soporte para insertar en su pre-diseño la rueda y parte del tren. En (b) tenemos la misma información que anteriormente vista bajo un punto vista 3D. En (c) vemos ya la solución propuesta por CAMS <sub>4</sub> insertada en el entorno de diseño CAD del usuario. En (d) el entorno de diseño con la curva de puntos M, -archivo Mlines.wrl-, ya insertada.....	126

## Lista de figuras

---

*Figura 7.10.- Diseño final del tren de aterrizaje: Aquí hemos concretado el boceto de la Figura 7.9c. Así tras el uso de CAMS<sub>4</sub>, el diseñador puede situar las articulaciones fijas y móviles donde nuestra herramienta le indica, y puede usar el mecanismo obtenido como diseño inicial, o simplemente puede explorar su viabilidad, para observar su comportamiento y decidir así si la solución cumple adecuadamente con todas las necesidades que el diseño requiera..... 127*

# Lista de tablas

<i>Tabla 2.1.- Titulación Oficial de Grado, año de inicio de los estudios en la mayoría de universidades de España, y cuatrimestre que está cursando la primera generación de estudiantes de dicha titulación. ....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 2.2.- Campos de la base de datos creada para poder organizar adecuadamente toda la información necesaria para realizar la presente parte de la investigación. ....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2.3.- Universidades españolas que imparten la titulación de G.I.M. ....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2.4.- Todas las asignaturas de carácter obligatorio de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica que se imparten en España y que son susceptibles de contener algún concepto de la materia Síntesis de Mecanismos. ....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2.5.- Asignaturas de carácter obligatorio de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica que se imparten en las universidades españolas y que contienen algún crédito de Síntesis de Mecanismos. Puede ser interesante fijarse en que sólo en 16 universidades de las 38 que actualmente imparten el G.I.M. se da algún crédito de Síntesis de Mecanismos. ....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 2.6.- Herramientas informáticas utilizadas en las asignaturas obligatorias de la titulación de G.I.M. con algún crédito dedicado a la Síntesis de Mecanismos en España.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 2.7.- Aplicaciones informáticas que se usan en las 54 asignaturas de carácter obligatorio del G.I.M. en España, susceptibles de tratar la materia de síntesis de mecanismos.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4.1.- Número de soluciones obtenidas en función de la cantidad de posiciones con orientación prescritas. Cuando hablamos de síntesis exacta, no es posible indicar más de 5 posiciones con orientación. ....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 6.1.- Resumen de características de los programas informáticos más representativos y relacionados con la síntesis de mecanismos.....</i>	<i>109</i>



# 1

---

## **Introducción**

*La motivación para llevar a cabo este trabajo surge como resultado de la actividad académica que llevo realizando primero en el departamento de Ingeniería Mecánica desde 1999 hasta 2007, y segundo desde 2007 hasta la fecha en el departamento de Expresión Gráfica en la Ingeniería en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa (UPC).*

*Esta doble vertiente me posiciona como un modesto conocedor de los conceptos y contenidos tratados en ambos departamentos, a la vez que me motiva para la elaboración del presente trabajo, con el que estudio la resolución de problemas de análisis y síntesis de mecanismos mezclando las posibilidades que ofrecen las aplicaciones informáticas del mundo del cálculo simbólico con las de las herramientas de CAD comercial.*

### **1.1 Objetivos de la tesis**

*En el presente apartado tratamos sobre el objeto de estudio y su relevancia bajo diversos puntos de vista, para finalmente poder abordar y concretar el tema y los objetivos de la presente investigación.*

#### **1.1.1 El objeto de estudio**

*Primeramente sospechamos<sup>1</sup> que la síntesis de mecanismos no se trata, o se trata muy sucintamente, en la gran mayoría de los temarios de las facultades de ingeniería españolas. Esto, en caso de confirmarse, creemos se podría atribuir principalmente a la falta de tiempo de que los docentes disponen para impartir sus asignaturas, y en segundo lugar al hecho de que la síntesis de mecanismos es una materia densa, y que de impartirse, ha de hacerse a posteriori del análisis de mecanismos, materia que, esta sí, llena el tiempo de asignaturas que tratan la teoría de máquinas y mecanismos.*

*Por otro lado, vemos que en la Industria apenas existen herramientas informáticas que asistan al diseñador mecánico en tareas de síntesis, las existentes son muy potentes pero a la vez específicas de esta rama, poco intuitivas y por ende, en la mayoría de los casos, inconexas con programas de CAD comercial. Remarcamos esta última característica, que dicho sea de paso nosotros consideramos una deficiencia, pues el diseñador mecánico habitualmente necesita concretar un mecanismo en una pantalla de un programa CAD,*

---

<sup>1</sup> El lector encontrará más adelante, en el apartado 2.2 del presente documento, una discusión completa sobre el acierto o la falsedad de dicha hipótesis.

## Introducción

---

*donde puede observar interferencias, obstáculos, etc., y en cambio, la mayoría de aplicaciones de síntesis requieren de la introducción de valores numéricos, vectores, etc., que el usuario debe de calcular independientemente de cualquier interfaz gráfica. De esta manera el diseñador ha de interpretar, tarea no siempre fácil, cuáles son las entradas que las herramientas de síntesis necesitan y cuáles son los resultados proporcionados por estas, para posteriormente incorporarlos a su diseño CAD, y ahí si, finalmente ver si el resultado le es útil o ha de volver a comenzar.*

*Tenemos además una paradoja en las aulas: para aprender análisis o síntesis de mecanismos podemos utilizar simuladores u otras aplicaciones, pero para poder utilizar estas herramientas hay que ser medianamente conocedor de la materia, o sea, los simuladores existentes hoy en día, no se pueden usar para comenzar a aprender estas materias. Esto genera un problema pues, los alumnos y alumnas gustan de estas herramientas y cuando ven que no las pueden o saben utilizar tienden al abandono o a la desmotivación. Queremos remarcar que la teoría de máquinas y mecanismos, va normalmente asociada a la resolución de problemas matemáticos más o menos densos, así, el poder utilizar simuladores en el aula posibilita situar al alumno en materia sin que tenga que saber resolver, al menos desde el primer día, la trama matemática asociada a un determinado problema. Aclaramos también que en ningún caso se pretende evitar o apartar a los estudiantes de los problemas matemáticos, que efectivamente han de ser capaces de resolver con soltura, sino que más bien creemos que este tipo de herramientas motivan al alumno, pues le muestran el resultado que debería obtener con sus cálculos manuales, y le incentivan para comprobar un determinado problema. Normalmente el uso de estas aplicaciones en el aula motiva en gran manera al estudiante, pues entre otros aspectos, y gracias a estos programas, los alumnos ven que las ecuaciones de la pizarra sirven para mover las máquinas de la vida real.*

*Esta situación nos lleva a la consideración de nuestro objeto de estudio, que es analizar la matemática disponible para la resolución de este tipo de problemas para posteriormente generar una herramienta informática que asista al diseñador mecánico, al docente y al estudiante en la resolución de algunos problemas de síntesis de mecanismos.*

*Concretamente en la tesis doctoral nos vamos a centrar exclusivamente en el análisis y la síntesis de mecanismos articulados de cuatro barras y sus variantes. Y más exactamente en el terreno de la síntesis vamos a estudiar la síntesis dimensional analítico-exacta de guiado de cuerpo rígido con puntos de precisión.*

*Puede parecerle al lector que este es un campo demasiado restringido, pues efectivamente este es el mecanismo más simple que existe: el mecanismo articulado de tres barras es una estructura, pues no presenta movimiento relativo entre sus miembros.*

*Hay que tener en cuenta, ver [22][7][46], que con este mecanismo como simiente se pueden ir hallando mecanismos “equivalentes”<sup>2</sup> de más barras, esto es de cinco barras con engranajes, de 6, 7, 8 o más. Además aprovechamos para recordar que según la teoría de cognados<sup>3</sup>, existen siempre tres mecanismos articulados de cuatro barras que poseen cada uno de ellos un punto que describe igual trayectoria, así, el hecho de sintetizar uno de estos*

---

<sup>2</sup> Cuando hablamos de equivalencia nos referimos a que cumplen de igual manera que un mecanismo de cuatro barras las restricciones del diseñador.

<sup>3</sup> Roberts y Chevyshev descubrieron independientemente en 1875 y 1878 el que hoy se conoce como teorema de Roberts-Chevyshev, y que enuncia entre otras afirmaciones, que siempre se podrán hallar tres mecanismos articulados de cuatro barras que describan idénticas curvas de acoplador, o sea que posean cada uno de ellos un punto que describa idéntica trayectoria. Posteriormente, Hartenberg y Denavit, ya en 1959, utilizaron el término cognate (cognado) para referirse a estos mecanismos. Puede interesarle al lector saber que según este teorema, y la ampliación de este realizada por Hartenberg y Denavit, además de los tres mecanismos de cuatro barras ya conocidos, también podemos hallar un mecanismo de seis barras que satisfaga idéntica curva de acoplador.

*mecanismos, siempre nos brinda la posibilidad de buscar dos mecanismos más de esta familia que posean un punto de igual trayectoria y comparar su comportamiento. Por otra parte entre otras características, el mecanismo de cuatro barras presenta un solo grado de libertad: requiere sólo un elemento motriz. Cosa que suele ser más difícil de conseguir a medida que se van añadiendo elementos al mecanismo. Decir además que minimizar la cantidad de barras de la solución puede ser ventajoso bajo el punto de vista inercial, o para posibilitar un posterior mantenimiento de la máquina.*

### **1.1.2 La importancia del objeto de estudio**

*En primer lugar, desde el punto de vista industrial, intentamos ayudar a llenar un vacío existente de herramientas informáticas amigables e intuitivas en el ámbito del análisis y la síntesis de mecanismos.*

*Bajo el punto de vista del docente, aportamos una herramienta con la que preparar clases de teoría pero sobretodo prácticas alrededor de estas disciplinas. La intención es poder impartirlas “en poco tiempo”, esquivando, al menos a buenas y a primeras, la densa matemática implicada en la resolución de estos problemas.*

*En el caso del estudiante, se quiere conseguir una herramienta intuitiva con la que simular, practicar y auto aprender conceptos de mecanismos.*

*Si pensamos en las instituciones universitarias, y en la reciente o inminente incorporación al EEES, vemos que este tipo de herramientas ayudan a dicha transformación, pues fomentan el trabajo personal del estudiante y su proceso de formación con herramientas de auto aprendizaje.*

*Así, bajo estas perspectivas, apreciamos la relevancia de la presente investigación, que pretende ser útil a los diferentes actores sociales: a la universidad, a la industria, al docente y al el estudiante.*

### **1.1.3 Tema y objetivos de la tesis**

*Establecido el objeto de estudio en el apartado 1.1.1, estamos en disposición de enunciar el tema de nuestra investigación: Diseño y aplicación de un simulador interactivo de síntesis de mecanismos mediante aplicaciones de cálculo simbólico para CAD 3D.*

*Se trata de diseñar una aplicación informática que resuelva dichas problemáticas y que se nutra de los algoritmos de cálculo simbólico referentes a la resolución de sistemas de ecuaciones no lineales con matemática compleja, y que a su vez se relacione con un sistema CAD comercial paramétrico tridimensional mediante el que introducir y mostrar resultados.*

*En cuanto a los objetivos de nuestra investigación, presentamos diversos ámbitos:*

#### **Ámbito industrial:**

- *Aportar una herramienta de la síntesis de mecanismos, de uso intuitivo y de utilidad rápida y directa para el diseñador mecánico.*

#### **Ámbito docente:**

- *Incorporar al aula una herramienta informática con la que el docente pueda impartir síntesis de mecanismos de manera ágil e intuitiva.*
- *Dotar al alumno de una aplicación con la que poder auto-aprender síntesis de mecanismos.*

#### **Ámbito institucional:**



## Introducción

---

- *Facilitar y fomentar la transformación al Espacio Europeo de Educación Superior de las facultades de ingeniería a través de la incorporación de herramientas informáticas.*

*Así, nuestra intención con este trabajo, no es otra más que la de añadir una herramienta que asista al diseñador de mecanismos en la industria, directa e intuitivamente en el entorno de un programa CAD comercial, y que además ayude a los docentes de nuestras universidades a poder preparar material para sus estudiantes, así mismo como a nuestros estudiantes a la hora de tomar decisiones de diseño.*

*A la vez que perseguimos servir a este variado rango de usuarios, queremos además diseñar una herramienta que no requiera conocimientos previos de cinemática o informática para poder ser usada, queremos pues elaborar una aplicación que sirva para comenzar a aprender esta materia y que a su vez sea útil al diseñador experto.*

*Haciendo esto, fomentamos la transformación al EEES.<sup>4</sup> de nuestras facultades de ingeniería y ponemos sobre la mesa una herramienta pionera en el mundo docente, pues no nos consta que exista otra aplicación en este campo que no requiera conocimientos previos de cinemática para su uso.*

## 1.2 Estructura de la tesis

*Esta tesis está formada por 10 capítulos y 4 apéndices.*

*El primer capítulo trata sobre el objeto de estudio de la presente investigación y sobre la importancia de éste, para acabar definiendo el tema y los objetivos de la presente investigación.*

*El capítulo segundo estudia el contexto educativo actual bajo diversos enfoques, entre ellos destacamos:*

- *El proceso de adaptación de las universidades al Espacio Europeo de Educación Superior.*
- *Las nuevas características de unos estudiantes, cada vez más acostumbrados a las nuevas tecnologías, y las reacciones que están teniendo ante tal situación nuestras universidades.*

*Finalizamos este segundo capítulo con un análisis sobre la realidad de la docencia de la Síntesis de Mecanismos en las aulas españolas a día de hoy: cantidad de universidades y/o centros que imparten esta materia, cantidad de horas dedicadas a ella, zonas de las asignaturas donde se imparte, herramientas informáticas que se utilizan, etc.*

*Iniciamos el tercer capítulo distinguiendo entre el análisis y la síntesis de mecanismos, para a continuación, tratar más a fondo sobre la metodología matemática usada habitualmente para abordar los problemas de análisis de mecanismos. Visto lo anterior, se muestra al lector una alternativa o complemento a las ecuaciones matemáticas que resuelven estos problemas, mediante un ejemplo del uso de herramientas CAx, aquí usadas como elementos de cálculo y/o de simulación, tanto desde el punto de vista cinemático como dinámico. Acabamos esta parte con una definición de la Síntesis de Mecanismos, seguida de una enumeración de sus diversas tipologías y culminada con una breve descripción del proceso de diseño de mecanismos.*

---

<sup>4</sup> Siglas de Espacio Europeo de Educación Superior.

Continuamos en el cuarto capítulo donde tratamos sobre el problema matemático asociado al planteamiento mediante diadas del problema de Síntesis Dimensional Analítico-Exacta de Guiado de Cuerpo Rígido con Puntos de Precisión. Describimos aquí las ecuaciones que gobiernan a este problema y sobre las características de los sistemas de ecuaciones que estas conforman al plantear problemas multiposición.

En el capítulo quinto presentamos el que ha sido el primer fruto remarcable de la presente investigación: *Atica<sub>4b</sub>*, un simulador interactivo de mecanismos articulados de cuatro barras que además traza las curvas de acoplador de estas máquinas. Aquí explicamos cómo funciona, cómo se interactúa con él y qué uso se puede hacer de éste en las aulas.

El capítulo sexto es un compendio donde se recogen a la mayoría de herramientas informáticas relacionadas con la Síntesis de Mecanismos existentes a día de hoy, se explican aquí sus características principales. Se finaliza esta parte con una tabla resumen de las características más destacables de cada una de dichas herramientas, y se sugiere un tipo de usuario, -industrial, docente, investigador-, más adecuado para cada una de ellas.

En el capítulo séptimo presentamos uno de los principales resultados de nuestra investigación: se trata de una aplicación informática que hemos bautizado con el nombre de *CAMS<sub>4</sub>*, que asiste al usuario en el proceso de Síntesis Dimensional Analítico-Exacta de Guiado de Cuerpo Rígido con Puntos de Precisión. Entre otros explicamos aquí sus características, el procedimiento de uso habitual, su flujo de trabajo y los resultados que esta herramienta genera. Finalizamos esta parte ejemplificando el uso de *CAMS<sub>4</sub>* mediante un problema de diseño concreto con el que el lector puede acabar de comprender el funcionamiento, uso e interpretación de resultados de nuestra aplicación de síntesis de mecanismos, y que los docentes pueden usar para inspirarse a la hora de diseñar actividades teórico-prácticas.

Con la intención de captar las críticas y opiniones de los futuros usuarios de *CAMS<sub>4</sub>*, decidimos llevar nuestro programa informático a las aulas, así en el capítulo octavo, explicamos el procedimiento seguido para presentar nuestra herramienta a los estudiantes, así como para recabar sus opiniones sobre nuestra aplicación. Finalizamos dicho capítulo mostrando y comentando los resultados de la encuesta de opinión que se proporcionó a los asistentes de las diversas sesiones de presentación de *CAMS<sub>4</sub>*.

El noveno capítulo recoge a manera de conclusiones las aportaciones fundamentales de la presente investigación, así como las principales líneas de investigación que basadas en este trabajo sugiere el autor.

Aportamos la bibliografía, las direcciones de sitios web consultados, los artículos y las diversas obras referenciadas en nuestra investigación en el capítulo décimo.

Para finalizar anexamos diversa información que consideramos de interés para el lector de éste texto:

- El anexo A recoge el código del programa informático de análisis de mecanismos *Atica<sub>4b</sub>*.
- Los anexos B y C contienen los algoritmos que conforman nuestra aplicación de síntesis de mecanismos *CAMS<sub>4</sub>*, ya sea en la parte integrada en *CatiaV5* o en la zona que se dedica a abordar el problema de cálculo matemático.
- El anexo D incorpora el texto íntegro de las fichas de todas las asignaturas con un temario susceptible de tratar la materia de Síntesis de Mecanismos que conforman nuestra base de datos, creada y diseñada especialmente con esta finalidad. Este archivo se hubo de crear para poder manejar toda la información que se tuvo que tratar para poder diagnosticar el actual grado de impartición de dicha materia en

## Introducción

---

*las aulas españolas, -toda esta información ha sido analizada en profundidad y resumida en el capítulo segundo del presente documento.*

# 2

---

## ***Estado de la cuestión***

*En este capítulo introducimos al lector en el contexto que motiva la presente investigación, a la vez que comentamos las diversas herramientas informáticas hoy utilizadas en las aulas españolas con fines o usos cercanos a nuestra investigación.*

### ***2.1 El contexto educativo actual***

*La declaración de Bolonia persigue la creación de un espacio educativo europeo común, para ello, plantea seis actuaciones principales, ver Marc General per a la integració Europea [10]:*

- 1. Promoción de la movilidad de estudiantes, profesores, investigadores y personal técnico-administrativo.*
- 2. Promoción de la cooperación entre países de la UE para desarrollar criterios, modelos y métodos comparables*
- 3. Adopción de un sistema comparable de titulaciones*
- 4. Adopción de un sistema de dos niveles principales de estudio: grado y postgrado*
- 5. Establecimiento de una unidad común de contabilización: el crédito ECTS*
- 6. Dotar a la educación superior de una dimensión europea*

*Este mismo documento, aclara que para que la creación de este espacio europeo sea realmente exitosa, la educación superior ha de realizar una profunda transformación, pues de otra manera, estaríamos hablando de una mera homogenización. Así, de entre otras, aclara que los currículums han de garantizar, no sólo el dominio cognoscitivo de las disciplinas si no que además han de potenciar las competencias básicas específicas de cada disciplina, así como las de carácter transversal, comunes a cualquier carrera, véase, capacidad para aprender, para resolver problemas, aptitudes para trabajar en equipo, autonomía, etc.*

*De la misma manera, se modifica la función del docente, que entre otras, abandona la posición estructuradora y transmisora para transformarse en un guía, que tutela el proceso de aprendizaje de los estudiantes.*

## Estado de la cuestión

---

Así, el aprendizaje autónomo se presenta en los nuevos planes docentes como una competencia genérica que el alumno ha de desarrollar y aprender [4][20].

Por otro lado, el proyecto del CERI-OCDE *The new millenium learners*<sup>5</sup>, sintetiza en su informe inaugural de 2006 [27], dedicado a estudiar la realidad de estudiantes en edades pre-universitarias, que la mayoría de los nuevos estudiantes prefieren la imagen al texto, además, este estudio revela que valoran mejor las presentaciones multimedia que las presentaciones estáticas: el nuevo estudiante ha de cambiar la actividad con frecuencia, presenta dificultades para concentrarse durante un período largo de tiempo, necesita dominar el proceso de aprendizaje y afrontarlo en modo multitarea, no lineal o discontinuamente, de tal manera que se le permita saltar adelante y atrás en las materias o contenidos. Además, el proyecto afirma que todavía no se ha investigado lo suficiente para concluir empíricamente que la dependencia tecnológica haya cambiado el desarrollo cognitivo de los alumnos respecto al estudiante clásico, pero confirma que los alumnos y alumnas están más acostumbrados a la cultura de la imagen que sus antecesores. Siguiendo con el mismo proyecto, pero poniendo atención en su último informe de 2009 [28], documento centrado en el análisis del mundo universitario de los países OCDE, revela muchos aspectos interesantes, de entre otros comentamos el actual grado de implantación de las TIC por parte de las universidades de los países de la OCDE, que se refleja en cuatro campos principales:

- *Implantación de la web institucional: para mejorar la comunicación y atraer el interés de futuros estudiantes.*
- *Gestión, administración y finanzas: es el área donde claramente más se ha invertido en TICs, pues esto implica un claro beneficio organizativo y económico.*
- *Investigación: facilitando por ejemplo el acceso a literatura relevante. Las bibliotecas universitarias han incorporado catálogos digitales.*
- *Enseñanza y aprendizaje: De momento, estas parecen ser las áreas menos exploradas, donde la recuperación de las inversiones está menos clara. Pero actualmente casi todas las universidades de la OCDE han implantado una plataforma de gestión de aprendizaje, ya sea comercial o de software libre.*
- *Así, de entre las conclusiones de este informe, destacamos:*
- *Los estudiantes universitarios son grandes usuarios de los medios digitales, así se puede decir que son new millenium learners, aunque se comenta que esta afirmación es el resultado de aplicar la media matemática sobre los datos, pues en el informe se muestra que los alumnos se pueden dividir en tres tipos principales, en el que sólo uno de ellos, el 30% de los alumnos y alumnas, son realmente usuarios muy habituales de internet y productores de contenidos, mientras que en el otro extremo, el 22% de los estudiantes son clasificados como “neo-analógicos”: se conectan a Internet por debajo de la media y producen pocos contenidos.*

---

<sup>5</sup> El proyecto *The new millenium learners* que arrancó en 2006 con su informe inaugural *Challenging our Views on ICT and Learning*[27], de mano del CERI (Centre for Educational Research and Innovation) de la OCDE (Organisation for Economic Co-operation and Development). Tiene como intención investigar los efectos de las tecnologías digitales en los estudiantes, aportando recomendaciones sobre las políticas institucionales más adecuadas para el sector educativo. El proyecto tiene dos fases: la primera de la mano de los estudiantes, viendo si hay algún cambio, y la segunda, revisando respuestas educacionales, actuales y emergentes. Se puede leer más en: [http://www.oecd.org/department/0,3355,en\\_2649\\_35845581\\_1\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/department/0,3355,en_2649_35845581_1_1_1_1_1,00.html), visitada a 1 de septiembre de 2010.

- *Los estudiantes quieren la tecnología para mejorar la enseñanza y el aprendizaje, no para cambiarlos radicalmente. Creen que estas herramientas aumentan la productividad académica de las materias.*
- *Los profesores universitarios no son inmigrantes digitales<sup>6</sup>. Son buenos conocedores de la tecnología. Están acostumbrados a su uso para investigación, trabajos en industria, etc. La diferencia entre alumnos y profesores, en lo referente al dominio de las TIC, es mucho menor en la universidad que en otros niveles educativos.*
- *Los profesores normalmente suponen, de manera equivocada, que la familiaridad de los estudiantes con la tecnología, automáticamente convierte a sus alumnos en conocedores de las aptitudes en información y comunicación. Se pone como ejemplo el plagio como probablemente el valor ausente más llamativo.*

*Finalmente, para acabar de contextualizar al lector, recordamos la conferencia que R. L. Norton<sup>7</sup> impartió en la ASME Design Division en 2002: The Decline of Kinematics Education in the U.S [24].*

*El autor denuncia que se está abandonando la docencia de cinemática en las escuelas de Ingeniería de Estados Unidos, en algunos casos se ha llegado incluso a eliminar, y en otros, se ha reducido. Norton comenta que existe la tendencia a incluir esta materia en la de Diseño de Elementos de Maquinaria, cosa que imposibilita tratar a fondo la cinemática. Denuncia además que sólo en 170 de los 250 programas de ingeniería de los USA se ofrece un curso de cinemática. La causa, comenta Norton, es la presión de entrada que ejercen las nuevas materias para intentar que el estudiante esté al día: “Añadir algo requiere que se quite otra cosa”. Denuncia que es un lástima, pues este conocimiento es la base del diseño de maquinaria: “En mi experiencia como consultor en la industria, he visto múltiples ejemplos de diseños mecánicos con muchos problemas causados por lagunas de comprensión de cinemática básica por parte del diseñador....La mayoría de diseñadores mecánicos en la industria de los USA no tienen buenos conocimientos de técnicas de síntesis de mecanismos, ni nociones prácticas del diseño de mecanismos de leva-palpador o temas relacionados....No es su culpa, es nuestra. Con algunas notables excepciones, las escuelas de ingeniería, en mi opinión, han dejado a los alumnos sin conocimientos de mecanismos ni de diseño de levas....”.*

*Utilizamos la comunicación de Norton para coincidir con él y para nacionalizar esta problemática: creemos que nuestros alumnos y alumnas han de conocer los nuevos campos*

---

<sup>6</sup> Marc Prensky es entre otros, consultor, conferenciante, diseñador de videojuegos y fundador de la empresa Games2train, (juegos para entrenar). En 2001, ver [30], acuña los términos “digital natives” y “digital immigrants”, el primero para referirse a los nacidos a partir de los años 80: que han crecido en un mundo digital, rodeados de “computadoras, videojuegos, reproductores de música digital, cámaras de video, teléfonos móviles y toda clase de juguetes y herramientas de la era digital”. Y el segundo para referirse a los más veteranos: que hemos tenido que adaptarnos a esta tecnología como quien aprende un idioma. En *Digital Natives, Digital Immigrants. On the Horizon*[31], escribe que los nativos digitales “piensan y procesan la información claramente de manera diferente” a los “inmigrantes digitales”, así según él, “su desarrollo cognitivo no va a ser ni mucho menos igual que el de sus antecesores”. Ha publicado diversos libros como por ejemplo “Don't bother me, Mom, I'm learning! How computer and video games are preparing your kids for 21st century success and how you can help” (No me molestes, mama, estoy aprendiendo. Cómo computadoras y videojuegos preparan a vuestros hijos para el siglo 21 y cómo puedes ayudar), un documento chocante en que se plantea que los ordenadores y los videojuegos son los maestros del siglo XXI [32].

<sup>7</sup> Rober L. Norton es uno de los más prestigiosos autores del ámbito del diseño de mecanismos a nivel internacional, se le reconoce la capacidad de generar documentación clara, concisa y útil, de tal manera que sus obras están traducidas a numerosos idiomas, entre ellos el chino, y reeditadas en múltiples ocasiones, en la presente investigación citamos algunas de sus más destacadas obras [23] y [25]. Norton además tiene a su favor el hecho de haber sabido compaginar la práctica docente con la experiencia profesional en la industria, esto entre otros aspectos le ha permitido plasmar en sus obras ejemplos o problemas de utilidad directa y real.

## Estado de la cuestión

---

*que se van abriendo en el terreno de la ingeniería, pero sin olvidar las bases del conocimiento. Queremos además ligar esta problemática con nuestra investigación, y por tanto con nuestro aplicativo resultante, pues gracias a herramientas como esta, se tiene la posibilidad de agilizar el proceso de aprendizaje de partes de las asignaturas, en este caso de asignaturas de diseño de máquinas: El docente tiene la opción de invertir menos tiempo presencial en las zonas en las que la herramienta puede ayudarle, pues debido a su concepción, va a ser posible que los estudiantes auto aprendan algunos conceptos de manera no presencial. De este modo, aliviarnos el apretado programa de estas asignaturas y damos posible entrada a nuevos temas, que de otra manera no encajarían en la planificación de las materias, o tal como comenta Norton, deberían restar tiempo a otras.*

## 2.2 Síntesis de Mecanismos en las aulas españolas

*Teniendo la presente investigación dos vertientes: la industrial y la docente, nos disponemos a realizar una búsqueda exhaustiva por todas las Universidades Españolas de los contenidos de todas las asignaturas obligatorias<sup>8</sup> de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica, -G.I.M. de ahora en adelante-, susceptibles de incluir algún tema, capítulo, apartado o práctica relacionados con la síntesis de mecanismos. De esta manera se pretende:*

- Obtener una información lo más precisa posible del nivel de impartición, metodología docente, etc. de esta materia en las aulas de nuestras escuelas.*
- Analizar posibles problemáticas que estos datos puedan revelar para posteriormente proponer algún tipo de actuación al respecto.*

### 2.2.1 ¿Por qué el Grado en Ingeniería Mecánica?

*El lector puede preguntarse por qué el autor de la presente investigación reduce su búsqueda a sólo asignaturas del G.I.M.. A continuación justificamos dicho filtro:*

*En primer lugar hemos de distinguir entre planes de estudio adaptados al espacio europeo de educación superior y planes no adaptados. De entre estas dos opciones decidimos escoger la primera por perseguir que la presente investigación sea lo más vigente posible, así, nos parece que no tendría mucho sentido realizar un estudio del contenido de carreras que, en algunos casos, dejarán de existir en junio de 2012<sup>9</sup>.*

*En segundo lugar hemos de distinguir entre títulos de grado propios de una Universidad y entre títulos oficiales. En este caso vamos a referirnos siempre a los oficiales, pues entre otras ventajas para nuestra investigación, destacamos que sus planes de estudio son relativamente semejantes entre diferentes universidades, y por tanto las asignaturas de una y otra universidad debieran ser relativamente similares y/o comparables.*

---

<sup>8</sup> Con la intención de saber qué aprenden nuestros estudiantes en las aulas, justificamos el hecho de haber restringido nuestra búsqueda a sólo asignaturas obligatorias de la titulación escogida, por ser estas las que han de cursar de forma imperativa todos los alumnos y alumnas de una determinada titulación. No se han incluido por tanto asignaturas optativas o similares por no poder tener la seguridad absoluta de que un determinado alumno las acabe cursando.

<sup>9</sup> Nos referimos aquí a que algunos estudios en proceso de extinción dejarán de impartir docencia en esta fecha, aunque es bien cierto que los estudiantes de estas titulaciones que no quieran adaptarse a los nuevos estudios de grado, dispondrán de máxime cuatro exámenes, -dos años en la práctica-, sin derecho a docencia para poder finalizar dichas enseñanzas.

En tercer lugar, y tratando las titulaciones oficiales adaptadas al espacio europeo de educación superior, vemos que hemos de restringir nuestra búsqueda a titulaciones que tengan un contenido destacable del área de conocimiento de Mecánica, pues si bien es cierto que la materia conocida como Síntesis de Mecanismos puede impartirse en múltiples grados, es mucho más probable que esta aparezca en grados con una fuerte componente de Mecánica. Así de entre los múltiples títulos de grado impartidos en España que cumplan dicha restricción, podemos destacar los siguientes candidatos:

- G.I.M.
- Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

De entre estos, y con la intención de poder recabar el máximo de información posible de sus planes de estudio y guías docentes, podemos pensar en el nivel de implantación de dichos títulos en la gran mayoría de Universidades españolas, véase tabla siguiente:

	<i>Inicio del plan de estudios<sup>10</sup></i>	<i>Cuatrimestre ofertado en septiembre de 2011</i>
<i>G.I.M.</i>	<i>Septiembre-Octubre de 2009</i>	<i>5</i>
<i>Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales</i>	<i>Septiembre-Octubre de 2010</i>	<i>3</i>

Tabla 2.1.- Titulación Oficial de Grado, año de inicio de los estudios en la mayoría de universidades de España, y cuatrimestre que está cursando la primera generación de estudiantes de dicha titulación.

Así, resulta que la gran mayoría de centros y/o universidades, -siempre hay alguna agradable excepción-, publica guías docentes y contenidos de asignaturas de manera progresiva, esto es, ponen a disposición del público las guías docentes completas de los cuatrimestres ya inaugurados en el pasado y de los que se inauguren durante el presente año académico.

De esta manera, se puede comprender que si escogemos el G.I.M. para realizar nuestra investigación, vamos a tener información sobre los contenidos concretos de más asignaturas que si por el contrario seleccionásemos otras titulaciones con un nivel de implantación inferior.

### 2.2.2 Metodología

El procedimiento para encontrar información ha consistido fundamentalmente en seguir los enlaces a los diversos sitios web de cada una de las 76 Universidades españolas que según la web del Ministerio de Educación<sup>11</sup> existen en España hasta la fecha<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Se entiende que siempre puede haber excepciones: nos referimos aquí a la fecha de inicio para la gran mayoría de universidades o escuelas.



## Estado de la cuestión

*Al darnos cuenta que se iba a manejar una gran cantidad de información decidimos elaborar una base datos para posteriormente poder filtrar, ordenar y organizar toda la información encontrada. Los campos de la base de datos que creímos iban a sernos útiles para nuestra investigación son los siguientes:*

<b>CAMPO DE LA BASE DE DATOS</b>	<b>CONTENIDO</b>
<i>Identificador único de Asignatura</i>	<i>Un valor numérico que nos permite diferenciar entre todas y cada una de las asignaturas.</i>
<i>Universidad</i>	<i>Universidad en la que se imparte esa asignatura.</i>
<i>Centro donde se imparte</i>	<i>Centro en la que se imparte esa asignatura. Pues hay Universidades con más de un centro y/o campus.</i>
<i>Código de asignatura</i>	<i>Identificador que la Universidad le otorga a esa asignatura.</i>
<i>Nombre de la asignatura</i>	<i>El texto con el que se identifica a una asignatura.</i>
<i>Página Web</i>	<i>Enlace a la guía docente de la asignatura en cuestión publicada por la Universidad o por la Escuela. En algunos casos es un enlace al plan de estudios entero, que a su vez puede tener enlaces a las guías docentes de las asignaturas.</i>
<i>Créditos de la asignatura</i>	<i>Total de créditos ECTS que el plan de estudios dedica a la asignatura concreta</i>
<i>Cuatrimestre en la que se imparte</i>	<i>Hay Universidades que organizan temporalmente sus ofertas docentes en semestres, otras en cuatrimestres y unas pocas en años. Nosotros hemos creído más lógico hablar de cuatrimestres, pues realmente este término represente más fielmente la dedicación real de los estudiantes.</i>
<i>Contenido Abreviado</i>	<i>Temas, bloques, etc. que se tratan en la asignatura a analizar.</i>

<sup>11</sup><http://www.educacion.gob.es/educacion/universidades/educacion-superior-universitaria/que-estudiar-donde/universidades-espanolas.html>

<sup>12</sup> El contenido de este sitio web ha sido consultado por el investigador en múltiples ocasiones entre las fechas 1 de julio de 2011 y 30 de setiembre de 2011.

<b>CAMPO DE LA BASE DE DATOS</b>	<b>CONTENIDO</b>
<i>Créditos dedicados a la Síntesis de Mecanismo</i>	<i>Cantidad de créditos ECTS<sup>13</sup> que se dedican a la materia Síntesis de Mecanismos, ya sea en forma de teoría, prácticas o trabajo personal</i>
<i>Tercio del temario donde se imparte síntesis de mecanismos</i>	<i>Teniendo en cuenta el contenido de la asignatura. Se especifica la zona de este que contiene dicha materia, esto es 1º, 2º o 3º tercio del contenido.</i>
<i>Usa algún tipo de software</i>	<i>Nombrar o mencionar el hecho de utilizar alguna herramienta informática de soporte al aprendizaje, ya sea en clase teórica o de prácticas.</i>
<i>Comentario</i>	<i>Notas que hemos creído oportuno aportar en algunos casos</i>

*Tabla 2.2- Campos de la base de datos creada para poder organizar adecuadamente toda la información necesaria para realizar la presente parte de la investigación.*

*Comentamos aquí que el campo **Créditos dedicados a la Síntesis de Mecanismo**, que indica los créditos dedicados a la síntesis de mecanismos, raramente ha sido proporcionada por la Universidad o por la Escuela, así, ha sido calculado proporcionalmente en función de los créditos totales de cada asignatura y de la cantidad de temas o apartados que esta contenía. Sabemos por tanto que éste es un valor aproximado, pues los docentes pueden dedicar más o menos tiempo a un tema concreto en función de la relevancia que estos quieran o puedan darle.*

### **2.2.2.1 Buscando los contenidos de las asignaturas**

*Normalmente las universidades o las escuelas, publican los contenidos o temarios concretos de asignaturas en documentos conocidos como **Guías Docentes**, que suelen contener toda la información necesaria para describir perfectamente a una asignatura: desde la identificación de la asignatura, el profesorado, los contenidos, la metodología docente, la bibliografía, etc.*

*A veces hemos encontrado esta información en documentos llamados de una manera similar a **Guía del Estudiante**, en estos casos hablamos de publicaciones que contienen el temario de más de una asignatura a la vez.*

*Por otro lado, y en cuanto a la localización de la información buscada, sucede que a veces esta ha sido hallada sólo en la página web de la Universidad, - cosa que acostumbra a pasar cuando hablamos de una titulación que se imparte en un solo campus-, y en cambio, en otros casos dicha información puede estar publicada únicamente en la página web de cada escuela de cada campus de una universidad, esto suele suceder en el caso de que esa Universidad disponga de más de un centro donde se imparte esa titulación.*

<sup>13</sup> ECTS: Acrónimo del inglés “European Credit Transfer and Accumulation System”, que podría traducirse al español como Sistema de Transferencia y Acumulación de Créditos Europeos (STCE).

## Estado de la cuestión

Además, cómo ya hemos comentado anteriormente, la búsqueda de información ha sido realizada en el período de julio a octubre de 2011, ambos incluidos, hecho que implica que en la fecha en que el autor escribe estas líneas, están publicados los contenidos hasta 6º cuatrimestre, o sea, en la gran mayoría de ocasiones no disponemos de información del

contenido de las asignaturas de último año de esta titulación. Cabe decir que este problema ha sido solventado con la búsqueda de otro documento: La Memoria del Grado aprobada por la ANECA<sup>14</sup>, que sin ser ni mucho menos tan completa o concreta como la Guía Docente, o la Guía del Estudiante, sí que da un breve contenido de las Materias<sup>15</sup> y de Asignaturas del grado que se encargan de cubrirlas.

Así, el lector puede observar en la Figura 2.1 cuál ha sido el procedimiento seguido para ir hallando sistemática y de manera uniforme toda la información necesaria de cada Universidad o Escuela donde se está impartiendo en la actualidad el G.I.M..

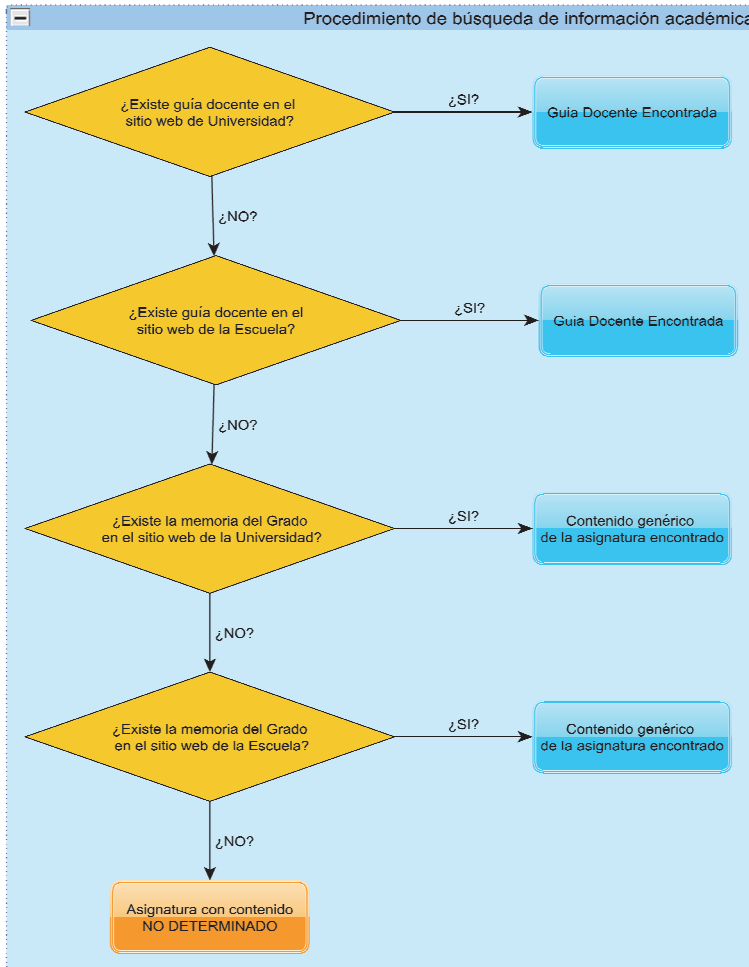


Figura 2.1.- Diagrama de flujo del proceso seguido para realizar la búsqueda exhaustiva de datos en todos los sitios web de todas las universidades españolas donde actualmente se imparte el Grado en Ingeniería Mecánica.

<sup>14</sup> ANECA: Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. Según sus estatutos [[http://www.aneca.es/var/media/158377/estatutos\\_v3\\_080912.pdf](http://www.aneca.es/var/media/158377/estatutos_v3_080912.pdf), consultado 30/09/11], “tiene como finalidades primordiales contribuir, mediante informes de evaluación y otros conducentes a la certificación y acreditación, a la medición del rendimiento del servicio público de la educación superior conforme a procedimientos objetivos y procesos transparentes, y a reforzar su transparencia y comparabilidad como medio para la promoción y garantía de la calidad de las Universidades y de su integración en el Espacio Europeo de Educación Superior”, se puede leer más en [<http://www.aneca.es/>].

<sup>15</sup> El término Materia, en este contexto, se diferencia de asignatura pues la primera se refiere a una parte del conocimiento, y como tal puede ser tratada de múltiple o igual modo en más de una asignatura.

### 2.2.3 El Grado en Ingeniería Mecánica

*Con la intención de situar al lector, a continuación se realiza una breve descripción del contenido de esta titulación. Así, según el BOE<sup>16</sup>, el plan de estudios de este grado tendrá una duración de 240 créditos, y deberá incluir como mínimo:*

*60 Créditos Europeos de Formación Básica*

*60 Créditos Europeos Comunes a la rama industrial*

*48 Créditos Europeos De Tecnología Específica Mecánica*

*12 Créditos Europeos de Trabajo Fin de Grado*

*Buscando en este documento alguna referencia a la Síntesis de Mecanismos, encontramos en el apartado de las competencias que los estudiantes deben adquirir al finalizar estos estudios, que se especifica en los anteriores bloques segundo y tercero respectivamente:*

*“Conocimiento de los principios de teoría de máquinas y mecanismos.”*

*“Conocimientos y capacidades para el cálculo, diseño y ensayo de máquinas.”*

*Cosa que nos ayudará a la hora de buscar asignaturas que puedan contener alguna pincelada de Síntesis de Mecanismos, pues sólo podrán ser las que aborden dichas competencias.*

### 2.2.4 Datos obtenidos

*Los datos obtenidos en toda su extensión se podrán consultar en forma de ficha en el Anexo D del presente documento: Fichas De Guías Docentes. A continuación presentamos unas cuantas cifras que creemos de interés para el lector y una tabla resumen.*

*Según el Ministerio de Educación<sup>17</sup>, existen 76 universidades en España.*

*De estas 76, y tras el filtraje realizado en el presente trabajo, llegamos a la conclusión que las siguientes 38 imparten el G.I.M.:*

---

<sup>16</sup> Puede consultarse en el Boletín Oficial del Estado número 44 del viernes 20 de febrero de 2009, -Sec. I., Página 18145- la Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial.

<sup>17</sup> Puede consultarse esta información y muchos otros aspectos e informaciones relacionadas con la Universidad en la siguiente dirección del Ministerio: <http://www.educacion.gob.es/educacion/universidades/educacion-superior-universitaria/que-estudiar-donde/universidades-espanolas.html> , dirección consultada a 5 de septiembre de 2011.

## Estado de la cuestión

---

<i>A Coruña</i>	<i>León</i>
<i>Alfonso X El Sabio</i>	<i>Lérida</i>
<i>Almería</i>	<i>Málaga</i>
<i>Antonio de Nebrija</i>	<i>Miguel Hernández de Elche</i>
<i>Autónoma de Barcelona</i>	<i>Mondragón Unibersitatea</i>
<i>Burgos</i>	<i>Nacional de Educación a Distancia(UNED)</i>
<i>Cantabria</i>	<i>Navarra</i>
<i>Carlos III de Madrid</i>	<i>Oviedo</i>
<i>Castilla-La Mancha</i>	<i>País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea</i>
<i>Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila</i>	<i>Politécnica de Cartagena</i>
<i>Córdoba</i>	<i>Politécnica de Catalunya</i>
<i>Europea de Madrid</i>	<i>Politécnica de Madrid</i>
<i>Extremadura</i>	<i>Politécnica de Valencia</i>
<i>Girona</i>	<i>Rovira i Virgili</i>
<i>Huelva</i>	<i>Salamanca</i>
<i>Jaén</i>	<i>Sevilla</i>
<i>Jaume I de Castellón</i>	<i>Valladolid</i>
<i>La Laguna</i>	<i>Vigo</i>
<i>La Rioja</i>	<i>Zaragoza</i>

Tabla 2.3.- Universidades españolas que imparten la titulación de G.I.M.

*Estas 38 universidades aportan 54 asignaturas que cubren las competencias fijadas por BOE que tienen que ver con la Síntesis de Mecanismos, o sea, en los planes de estudios aparecen 54 asignaturas diferentes susceptibles de tratar en alguno de sus puntos la Síntesis de Mecanismos. Véase tabla a continuación, en la que hemos colocado algunos encabezados abreviados para mejorar su comprensión:*

<i>Universidad</i>	<i>Id.U.A.<sup>18</sup></i>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.<sup>19</sup></i>	<i>T.D.I.<sup>20</sup></i>
<i>A Coruña</i>	<b>01</b>	<i>Escuela Politécnica Superior</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	6	4	1	2
<i>Alfonso X El Sabio</i>	<b>02</b>	<i>Escuela Politécnica Superior</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	6	5	ND	
<i>Almería</i>	<b>03</b>	<i>Escuela Superior de Ingeniería</i>	<i>Teoría de Mecanismos</i>	6	3	-	
<i>Antonio de Nebrija</i>	<b>04</b>	<i>Escuela Politécnica Superior</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	6	3	ND	
<i>Autónoma de Barcelona</i>	<b>05</b>	<i>Escuela Universitaria Salesiana de Sarrià</i>	<i>Teoría de máquinas y mecanismos</i>	7	3	-	
<i>Burgos</i>	<b>06</b>	<i>Escuela Politécnica Superior</i>	<i>Mecanismos</i>	6	4	1	2
<i>Burgos</i>	<b>07</b>	<i>Escuela Politécnica Superior</i>	<i>Mecanismos II</i>	6	5	1,2	1

<sup>18</sup> Id.U.A: Abreviación de Identificador único de asignatura

<sup>19</sup> CC.DD.S.M.: Abreviación de Créditos dedicados a la síntesis de mecanismos.

<sup>20</sup> T.D.I: Abreviación de Tercio donde se imparte.

## Estado de la cuestión

<i>Universidad</i>	<i>Id.U.A.</i> <sup>18</sup>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.</i> <sup>19</sup>	<i>T.D.I.</i> <sup>20</sup>
<i>Cantabria</i>	<b>08</b>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telec.</i>	<i>Máquinas y Mecanismos</i>	6	4	0,6	2
<i>Carlos III de Madrid</i>	<b>09</b>	<i>Escuela Politécnica Superior - Campus Leganés</i>	<i>Mecánica de Máquinas</i>	6	3	-	
<i>Carlos III de Madrid</i>	<b>10</b>	<i>Escuela Politécnica Superior - Campus Leganés</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	6	5	-	
<i>Castilla-La Mancha</i>	<b>11</b>	<i>Escuela de Ingenieros Industriales de Albacete</i>	<i>Ampliación de Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	6	5	0,8	3
<i>Castilla-La Mancha</i>	<b>12</b>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Ciudad Real</i>	<i>Ampliación de Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	6	5	ND	ND
<i>Castilla-La Mancha</i>	<b>13</b>	<i>Escuela Universitaria Politécnica de Almadén</i>	<i>Ampliación de Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	6	5	0,75	3
<i>Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila</i>	<b>14</b>	<i>Facultad de CC y Artes</i>	<i>Fundamentos de Máquinas y Mecanismos</i>	6	3	1	1

<i>Universidad</i>	<i>Id. U.A.<sup>18</sup></i>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.<sup>19</sup></i>	<i>T.D.F.<sup>20</sup></i>
<i>Córdoba</i>	<b>15</b>	<i>Escuela Politécnica Superior de Córdoba</i>	<i>Máquinas y Mecanismos</i>	6	4	-	
<i>Europea de Madrid</i>	<b>16</b>	<i>Escuela Politécnica</i>	<i>Teoría de máquinas y mecanismos</i>	6	4	-	
<i>Extremadura</i>	<b>17</b>	<i>Escuela de Ingenierías Industriales</i>	<i>Mecanismos y Máquinas</i>	6	4	-	
<i>Girona</i>	<b>18</b>	<i>Escuela Politécnica Superior</i>	<i>Cálculo de Mecanismos</i>	6	4	-	
<i>Huelva</i>	<b>19</b>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingeniería</i>	<i>Fundamentos de Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	6	3	-	
<i>Jaén</i>	<b>20</b>	<i>Escuela Politécnica de Jaén</i>	<i>Cinemática y Dinámica de Máquinas</i>	9	5	-	
<i>Jaén</i>	<b>21</b>	<i>Escuela Politécnica Superior de Linares</i>	<i>Cinemática y Dinámica de Máquinas</i>	9	5	-	



## Estado de la cuestión

<i>Universidad</i>	<i>Id.U.A.</i> <sup>18</sup>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.</i> <sup>19</sup>	<i>T.D.I.</i> <sup>20</sup>
<i>Jaume I de Castellón</i>	<i>22</i>	<i>Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales</i>	<i>Teoría de máquinas y mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>-</i>	
<i>La Laguna</i>	<i>23</i>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial</i>	<i>Mecánica de Máquinas</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>-</i>	
<i>La Rioja</i>	<i>24</i>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial</i>	<i>Teoría de Mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>-</i>	
<i>León</i>	<i>25</i>	<i>Escuela de Ingenierías Industrial e Informática</i>	<i>Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>6</i>	<i>ND</i>	<i>3</i>
<i>Lérida</i>	<i>26</i>	<i>Escuela Politécnica Superior</i>	<i>Teoría de Mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>0,75</i>	<i>2</i>
<i>Málaga</i>	<i>27</i>	<i>Escuela Universitaria Politécnica</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>0,6</i>	<i>3</i>
<i>Miguel Hernández de Elche</i>	<i>28</i>	<i>Escuela Politécnica Superior de Elche</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Mondragón Unibersitate</i>	<i>29</i>	<i>Escuela Politécnica Superior de Mondragón</i>	<i>Teoría de Mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>-</i>	

<i>Universidad</i>	<i>Id. U.A.<sup>18</sup></i>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.<sup>19</sup></i>	<i>T.D.F.<sup>20</sup></i>
<i>Nacional de Educación a Distancia(UNED)</i>	<b>30</b>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	5	5	0,42	1
<i>Navarra</i>	<b>31</b>	<i>Escuela Superior de Ingenieros - Tecnun (San Sebastián)</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	4,5	6	-	
<i>Oviedo</i>	<b>32</b>	<i>Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón</i>	<i>Teoría de máquinas y mecanismos</i>	6	4	?	ND
<i>País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea</i>	<b>33</b>	<i>Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz</i>	<i>Cinemática y Dinámica de Máquinas</i>	9	5	-	
<i>País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea</i>	<b>34</b>	<i>Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao</i>	<i>Cinemática y Dinámica de Máquinas</i>	9	5	0,6*	2
<i>País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea</i>	<b>35</b>	<i>Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Éibar</i>	<i>Cinemática y Dinámica de Máquinas</i>	9	5	-	
<i>País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea</i>	<b>36</b>	<i>Escuela Universitaria Politécnica de Donostia-San Sebastián</i>	<i>Cinemática y Dinámica de Máquinas</i>	9	5	-	
<i>Politécnica de Cartagena</i>	<b>37</b>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial</i>	<i>Mecánica de Máquinas</i>	6	3	-	

## Estado de la cuestión

<i>Universidad</i>	<i>Id.U.A.</i> <sup>18</sup>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.</i> <sup>19</sup>	<i>T.D.I.</i> <sup>20</sup>
<i>Politécnica de Catalunya</i>	<b>38</b>	<i>Escuela de Ingeniería de Terrassa</i>	<i>Teoría y diseño de máquinas y mecanismos</i>	12	5+6	-	
<i>Politécnica de Catalunya</i>	<b>39</b>	<i>Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa</i>	<i>Mecánica y Teoría de Mecanismos</i>	6	5	0,1	1
<i>Politécnica de Catalunya</i>	<b>40</b>	<i>Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Vilanova</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	6	5	-	
<i>Politécnica de Catalunya</i>	<b>41</b>	<i>Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Barcelona</i>	<i>Teoría y Diseño de Máquinas y Mecanismos I</i>	6	5	-	
<i>Politécnica de Catalunya</i>	<b>42</b>	<i>Escuela Universitaria Politécnica de Mataró</i>	<i>Mecanismos y Máquinas</i>	6	5	1,2	2
<i>Politécnica de Madrid</i>	<b>43</b>	<i>Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial</i>	<i>Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	4,5	5	ND	ND
<i>Politécnica de Valencia</i>	<b>44</b>	<i>Escuela Politécnica Superior de Alcoy</i>	<i>Máquinas y Mecanismos</i>	6	4	0,5	2
<i>Politécnica de Valencia</i>	<b>45</b>	<i>Escuela Técnica Superior de Diseño</i>	<i>Máquinas y Mecanismos</i>	7,5	3	-	

<i>Universidad</i>	<i>Id. U.A.</i> <sup>18</sup>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.</i> <sup>19</sup>	<i>T.D.F.</i> <sup>20</sup>
<i>Rovira i Virgili</i>	<b>46</b>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química</i>	<i>Mecánica y Teoría de Mecanismos I</i>	6	3	-	
<i>Rovira i Virgili</i>	<b>47</b>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química</i>	<i>Mecánica y Teoría de Mecanismos II</i>	6	4	-	
<i>Salamanca</i>	<b>48</b>	<i>Escuela Politécnica Superior de Zamora</i>	<i>Teoría de Mecanismos</i>	6	4	1	
<i>Salamanca</i>	<b>49</b>	<i>E.T.S de Ingeniería Industrial de Béjar</i>	<i>Teoría de Mecanismos</i>	6	4	0,75	2
<i>Sevilla</i>	<b>50</b>	<i>Escuela Politécnica Superior</i>	<i>Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	6	4	ND	ND
<i>Valladolid</i>	<b>51</b>	<i>Escuela de Ingenierías Industriales</i>	<i>Mecánica para Máquinas y Mecanismos</i>	6	3	ND	ND
<i>Vigo</i>	<b>52</b>	<i>Escuela de Ingeniería Industrial</i>	<i>Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	6	3	0,42	1
<i>Vigo</i>	<b>53</b>	<i>Escuela Naval Militar de Marín</i>	ND	ND	ND	ND	ND

## Estado de la cuestión

<i>Universidad</i>	<i>Id.U.A.</i> <sup>18</sup>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.</i> <sup>19</sup>	<i>T.D.I.</i> <sup>20</sup>
Zaragoza	54	Escuela de Ingeniería y Arquitectura	Teoría de Máquinas y Mecanismos	6	4	1	1

Tabla 2.4.- Todas las asignaturas de carácter obligatorio de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica que se imparten en España y que son susceptibles de contener algún concepto de la materia Síntesis de Mecanismos.<sup>21</sup>

De estas 54 asignaturas posibles, sólo 20 tratan en alguno de sus apartados algún aspecto de la Síntesis de Mecanismos. Véase siguiente tabla resumen:

<i>Universidad</i>	<i>Id.U.A.</i>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.</i>	<i>T.D.I.</i>
A Coruña	01	Escuela Politécnica Superior	Teoría de Máquinas	6	4	1	2
Burgos	06	Escuela Politécnica Superior	Mecanismos	6	4	1	2
Burgos	07	Escuela Politécnica Superior	Mecanismos II	6	5	1,2	1

<sup>21</sup> Puede consultarse la información completa de cada una de las 54 asignaturas en los anexos de la presente investigación, allí el lector hallará los informes completos de nuestra base de datos y entre otros encontrará direcciones de páginas web y comentarios que hemos creído oportuno hacer constar y que pueden ser de interés para posteriores investigaciones.

<i>Universidad</i>	<i>Id.U.A.</i>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.</i>	<i>T.D.I.</i>
<i>Cantabria</i>	<b>08</b>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación</i>	<i>Máquinas y Mecanismos</i>	6	4	0,6	2
<i>Castilla-La Mancha</i>	<b>11</b>	<i>Escuela de Ingenieros Industriales de Albacete</i>	<i>Ampliación de Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	6	5	0,8	3
<i>Castilla-La Mancha</i>	<b>13</b>	<i>Escuela Universitaria Politécnica de Almadén</i>	<i>Ampliación de Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	6	5	0,75	3
<i>Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila</i>	<b>14</b>	<i>Facultad de CC y Artes</i>	<i>Fundamentos de Máquinas y Mecanismos</i>	6	3	1	1
<i>Lérida</i>	<b>26</b>	<i>Escuela Politécnica Superior</i>	<i>Teoría de Mecanismos</i>	6	3	0,75	2
<i>Málaga</i>	<b>27</b>	<i>Escuela Universitaria Politécnica</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	6	4	0,6	3
<i>Miguel Hernández de Elche</i>	<b>28</b>	<i>Escuela Politécnica Superior de Elche</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	6	3	1	1
<i>Nacional de Educación a Distancia(UNED)</i>	<b>30</b>	<i>Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales</i>	<i>Teoría de Máquinas</i>	5	5	0,42	1

## Estado de la cuestión

<i>Universidad</i>	<i>Id.U.A.</i>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.</i>	<i>T.D.I.</i>
<i>Oviedo</i>	<i>32</i>	<i>Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón</i>	<i>Teoría de máquinas y mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>ND</i>	<i>ND</i>
<i>País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea</i>	<i>34</i>	<i>Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao</i>	<i>Cinémática y Dinámica de Máquinas</i>	<i>9</i>	<i>5</i>	<i>0,6</i>	<i>2</i>
<i>Politécnica de Catalunya</i>	<i>39</i>	<i>Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa</i>	<i>Mecánica y Teoría de Mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	<i>0,1</i>	<i>1</i>
<i>Politécnica de Catalunya</i>	<i>42</i>	<i>Escuela Universitaria Politécnica de Mataró</i>	<i>Mecanismos y Máquinas</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	<i>1,2</i>	<i>2</i>
<i>Politécnica de Valencia</i>	<i>44</i>	<i>Escuela Politécnica Superior de Alcoy</i>	<i>Máquinas y Mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>0,5</i>	<i>2</i>
<i>Salamanca</i>	<i>48</i>	<i>Escuela Politécnica Superior de Zamora</i>	<i>Teoría de Mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	
<i>Salamanca</i>	<i>49</i>	<i>E.T.S de Ingeniería Industrial de Béjar</i>	<i>Teoría de Mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>0,75</i>	<i>2</i>
<i>Vigo</i>	<i>52</i>	<i>Escuela Ingeniería Industrial</i>	<i>de Teoría de Máquinas y Mecanismos</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>0,42</i>	<i>1</i>

<i>Universidad</i>	<i>Id.U.A.</i>	<i>CENTRO</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Créditos Totales</i>	<i>Cuatrimestre</i>	<i>CC.DD.S.M.</i>	<i>T.D.I.</i>
Zaragoza	54	Escuela de Ingeniería y Arquitectura	de Teoría de Máquinas y Mecanismos	6	4	1	1

Tabla 2.5.- Asignaturas de carácter obligatorio de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica que se imparten en las universidades españolas y que contienen algún crédito de Síntesis de Mecanismos. Puede ser interesante fijarse en que sólo en 16 universidades de las 38 que actualmente imparten el G.I.M. se da algún crédito de Síntesis de Mecanismos.

A continuación mostramos una gráfica en que podemos observar la proporción que representa el contenido en Síntesis de Mecanismos de las anteriores 20 asignaturas, como vemos, en el mejor de los casos estamos hablando de 1/5 parte del contenido. Hemos querido mostrar también en esta gráfica la media de dedicación de estas 20 asignaturas a dicha materia (línea horizontal en el gráfico), que concretamente es del 12%.

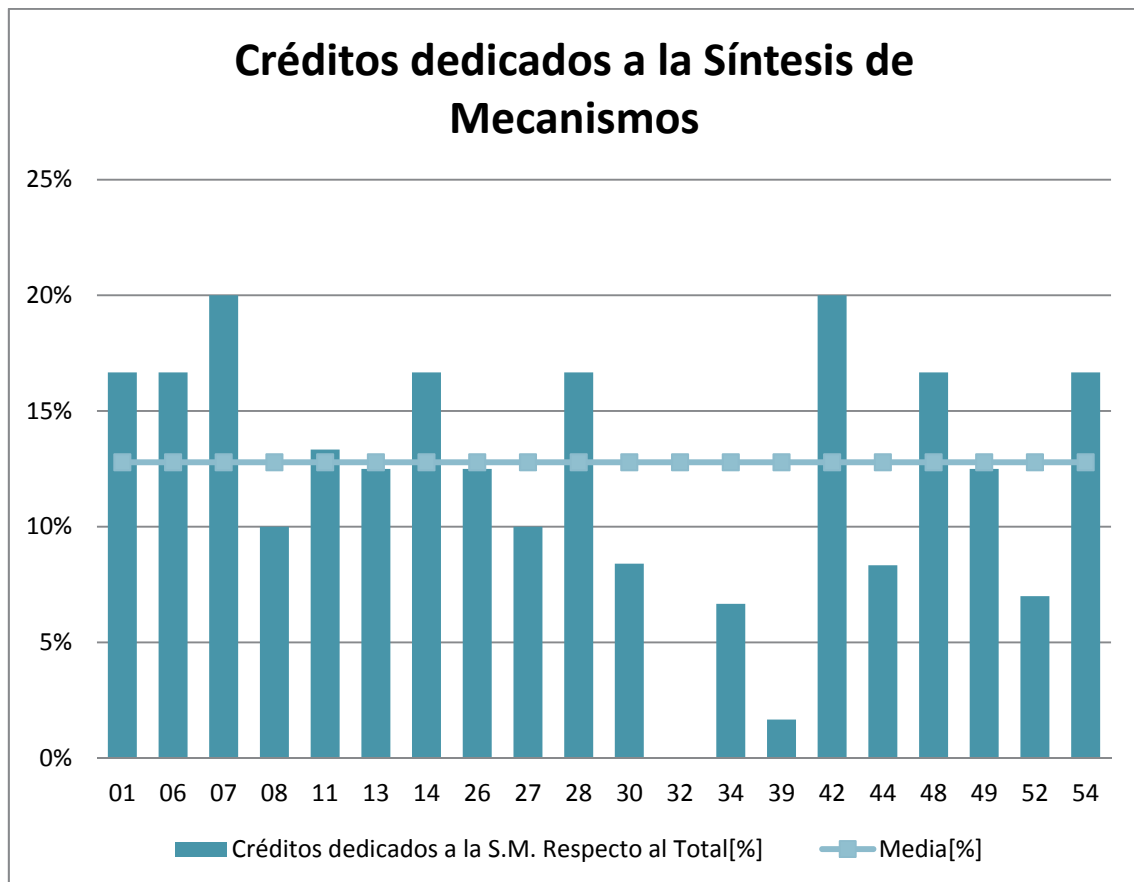


Figura 2.2.- Gráfico en el que sólo constan las 20 asignaturas obligatorias del G.I.M. que se imparten en las universidades españolas y que sí incluyen Síntesis de Mecanismos (en el eje horizontal aparecen sus identificadores). Vemos como de media, dicho grupo de asignaturas incorporan en su contenido un 12% de la materia conocida como Síntesis de Mecanismos.



## Estado de la cuestión

Comentamos también al lector el caso de la asignatura número 32, que corresponde a la de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón (Universidad de Oviedo): puede observarse releando las fichas completas en los anexos de la presente investigación, que en el caso de este asignatura el contenido no cita la Síntesis de Mecanismos en ningún punto, ahora bien, sí que la guía docente contextualiza la asignatura de la siguiente manera: “El programa de la asignatura se articula, por tanto, sobre los conceptos y fundamentos del análisis y síntesis de mecanismos. En particular se pretende que el alumno domine los conceptos y fundamentos del análisis cinemático y dinámico de mecanismos planos, que conozca los principios de la síntesis de mecanismos, que conozca las principales transmisiones rígidas de movimiento, comprendiendo su funcionamiento cinemático y diseño, y que maneje herramientas informáticas específicas de análisis, diseño y simulación de mecanismos”. Así, al registrar esta asignatura en nuestra base de datos, no hemos podido concretar el número de créditos dedicados a la materia, y por ese motivo aparece sin ningún crédito en la figura siguiente.

Igualmente en la Figura 2.3 se describe la zona de la asignatura donde se trata la materia de Síntesis de Mecanismos, se ha distinguido entre 1<sup>er</sup>, 2<sup>o</sup> y 3<sup>er</sup> tercio de la asignatura. Así, observando dicha figura podemos percibir que mayoritariamente esta materia se imparte al principio o en la zona central de la asignatura.

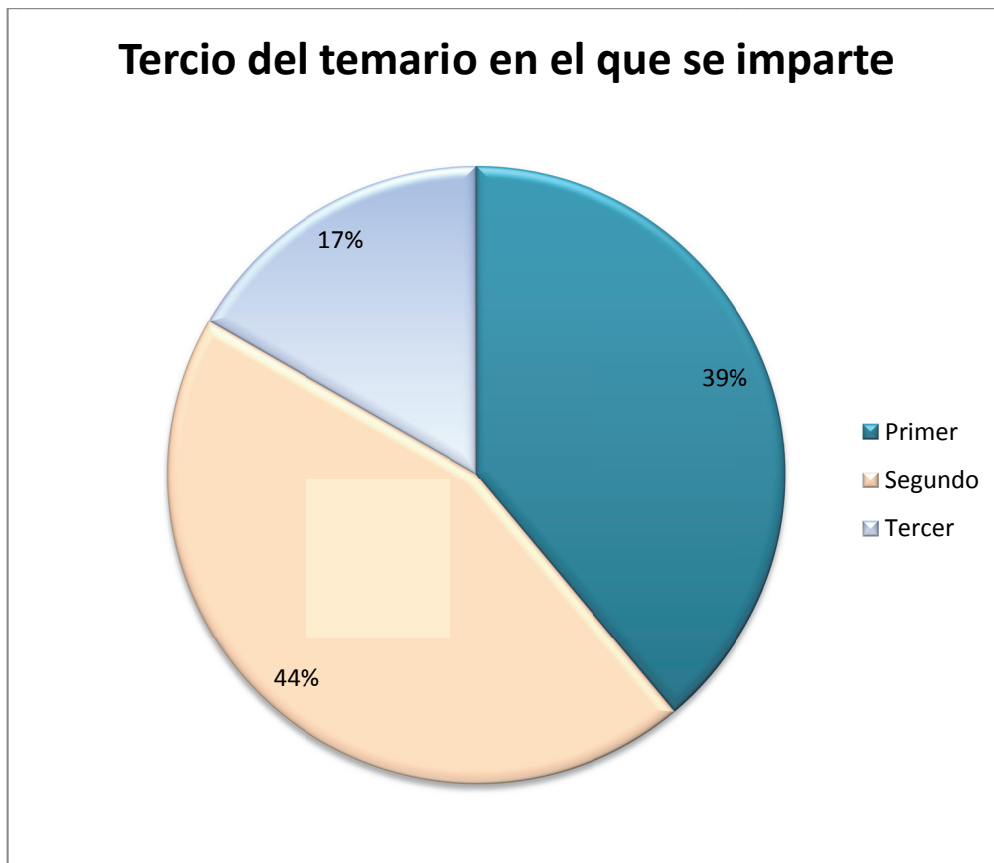


Figura 2.3.- Temporización: observamos que lo más habitual es que esta materia aparezca en la zona inicial y central de estas asignaturas

Otro dato que consideramos interesante es que sólo en 10 de estas 20 asignaturas se utiliza algún tipo de programa informático para poder realizar simulaciones o comprobaciones de

*cálculos previamente hechos a mano. Así, en estos 10 casos podemos nombrar las herramientas que aparecen en dichas guías docentes.*

<i>Herramienta Informática utilizada</i>	<i>Identificador único de asignatura</i>	<i>Cantidad total de asignaturas que usan la herramienta</i>
<i>AutoCAD y Matlab</i>	<i>49</i>	<i>1</i>
<i>WinMecc</i>	<i>27, 28</i>	<i>2</i>
<i>Working Model 2D</i>	<i>39</i>	<i>1</i>
<i>Sin Especificar</i>	<i>14, 30, 42, 44, 48, 54</i>	<i>6</i>

*Tabla 2.6.- Herramientas informáticas utilizadas en las asignaturas obligatorias de la titulación de G.I.M. con algún crédito dedicado a la Síntesis de Mecanismos en España.*

*Creemos interesante aportar otra información al respecto del software que se utiliza en las aulas españolas, pues nos parece oportuno nombrar algunas asignaturas que aunque no contienen ningún crédito de Síntesis de Mecanismos, sí que usan herramientas informáticas, pues de las 54 asignaturas que podían contener síntesis de mecanismos, sólo tenemos constancia de que 22 de ellas utilicen algún software, claro está que, dentro de este conjunto podemos encontrar a las 10 anteriores. A continuación presentamos una tabla con la frecuencia de aparición de estas herramientas:*

<i>Herramienta Informática utilizada</i>	<i>Identificador único de asignatura</i>	<i>Cantidad total de asignaturas que usan la herramienta</i>
<i>AutoCAD y Matlab</i>	<i>49</i>	<i>1</i>
<i>Matlab y SAM</i>	<i>15</i>	<i>1</i>
<i>Matlab</i>	<i>31</i>	<i>1</i>
<i>Matlab y Simulink</i>	<i>04</i>	<i>1</i>
<i>WinMecc</i>	<i>27, 28, 46</i>	<i>3</i>
<i>Working Model 2D</i>	<i>22, 23, 39</i>	<i>3</i>

## Estado de la cuestión

<i>Herramienta Informática utilizada</i>	<i>Identificador único de asignatura</i>	<i>Cantidad total de asignaturas que usan la herramienta</i>
<i>Para el Diseño de Levas</i>	47	1
<i>Sin Especificar</i>	14, 29, 30, 32, 36, 41, 42, 44, 48, 54	11

Tabla 2.7.- Aplicaciones informáticas que se usan en las 54 asignaturas de carácter obligatorio del G.I.M. en España, susceptibles de tratar la materia de síntesis de mecanismos.

Así, de las herramientas informáticas que hemos podido encontrar en las guías docentes de estas 54 asignaturas, las más usadas son Matlab, Working Model 2D y WinMecc, con cuatro ocurrencias en el primer caso y tres en los otros dos. A continuación damos una breve descripción de las características principales de cada una de estas herramientas<sup>22</sup>:

### 2.2.4.1 AutoCAD

Uno de los programas de diseño asistido por ordenador más extendidos y conocidos, que permite realizar diseños en dos y tres dimensiones. Se utiliza entre otros para generar planos de ingeniería, arquitectura y otros campos, y además para la recreación de imágenes rasterizadas que pueden representar objetos en 3 dimensiones.

Gestiona una base de datos de entidades geométricas, véase puntos, líneas, arcos, polilíneas, splines, elipses, etc.

Procesa y genera imágenes de tipo vectorial, aunque permite el uso de archivos de mapa de bits o similar.

Este programa prácticamente se ha convertido en un estándar del dibujo asistido por computadora, tanto es así que muchos otros programas incorporan la posibilidad de exportar información en formato dxf, tipo de archivo que apareció con la primera versión de AutoCAD en 1982, y que servía entonces para que AutoCAD pudiera inter operar con otros programas del mercado.

En el campo de la síntesis de mecanismos, AutoCAD puede ser usado de múltiples modos, véase, para plantear el esquema de un mecanismo, para tomar medidas y conocer las coordenadas de un punto concreto de un mecanismo, etc.

El lector puede saber más de esta herramienta en:

<http://www.autodesk.es/adsk/servlet/pc/index?siteID=455755&id=14626579><sup>23</sup>

<sup>22</sup> En el capítulo 6 se podrá leer más sobre herramientas informáticas disponibles que pueden usarse alrededor de la síntesis de mecanismos.

<sup>23</sup> Dirección consultada por el que escribe estas líneas a 28 de octubre de 2011.

### 2.2.4.2 Matlab

Matlab[17] es un software matemático desarrollado por MathWorks, que ofrece un lenguaje de programación propio (lenguaje M), habitualmente se usa para resolver problemas matemáticos de una cierta dificultad, de entre sus características principales nombramos:

- Presenta un lenguaje de alto nivel para poder realizar cálculos técnicos mediante sus bibliotecas.
- Resolución de problemas iterativos.
- Biblioteca de funciones de álgebra lineal, estadística, análisis de Fourier, optimización e integración numérica.
- Capacidad para realizar gráficos bidimensionales y tridimensionales.
- Permite generar interfaces gráficas personalizadas.
- Ofrece funciones para integrar los algoritmos generados en MatLab con otros programas: C/C++, FORTRAN, Java, COM y Microsoft Excel.

En el caso de las asignaturas estudiadas, esta herramienta seguramente se use para resolver sistemas de ecuaciones, operar con matrices, encontrar óptimos de funciones, aplicar métodos numéricos útiles para la ingeniería, etc.

Se puede encontrar más información al respecto en: <http://www.mathworks.es/index.html><sup>24</sup>

### 2.2.4.3 Matlab-Simulink

Permite realizar simulación de sistemas dinámicos mediante una interfaz gráfica basada principalmente en diagramas. Para ello dispone de una amplia biblioteca de bloques ya pre-configurados que el usuario puede insertar y relacionar entre sí. Su uso principal es el de simular comportamientos de procesos variables en el tiempo, habitualmente comunicaciones, proceso de señal, etc.

Entre sus funciones principales destacamos:

- Biblioteca de bloques pre configurados muy extensa y completa.
- Permite conectar y comunicarse con terceros programas.
- Permite generar un bloque partiendo de un código escrito en Matlab.

Entendemos que este programa puede ser usado en las aulas con la intención de simular el comportamiento de sistemas dinámicos (variables en el tiempo).

Se recomienda la visita del siguiente sitio web para obtener más información sobre Simulink: <http://www.mathworks.es/products/simulink/index.html><sup>25</sup>

---

<sup>24</sup> Visitada por el investigador el 28 de octubre de 2011.

<sup>25</sup> Visitada por el investigador el 28 de octubre de 2011.

### **2.2.4.4 Working Model 2D**

Una herramienta de simulación en dos dimensiones, de análisis por tanto, frecuentemente usada por su simplicidad y rapidez de cálculo. Entre otros permite:

- Crear sólidos 2D y especificar sus propiedades másicas, velocidad inicial, etc.
- Importar gráficos en formato dxf
- Recibir datos desde Matlab y Excel
- Simular procesos no lineales, o procesos propios del usuario mediante fórmulas
- Análisis de mecanismos con articulaciones, correderas, motores, muelles y amortiguadores.
- Simular contactos, colisiones y fricción

Al ser esta una herramienta exclusiva de análisis, plantea un uso académico directo para simular el comportamiento con más o menos profundidad de mecanismos. Puede visitarse el siguiente sitio web para saber más sobre esta aplicación: <http://www.design-simulation.com/wm2d/index.php><sup>26</sup>

### **2.2.4.5 SAM (Síntesis y análisis de mecanismos)**

En este caso nos encontramos ante un paquete informático de diseño, análisis (fuerza y movimiento), y optimización de mecanismos planos. En SAM [40] se pueden incluir correderas, engranajes, correas, muelles, amortiguadores y elementos con fricción. Resuelve cadenas cinemáticas abiertas y cerradas, mecanismos de múltiples lazos, trenes planetarios de engranajes, y otros mecanismos complejos.

Permite realizar síntesis mediante asistentes:

- Generación de función angular del mecanismo del 4 barras.
- Síntesis de 3 posiciones/ángulos del plano acoplador del 4 barras.
- Línea recta aproximada
- Línea recta exacta

Admite diversas entradas: desplazamientos relativos y absolutos, que a su vez pueden ser constantes, polinómicos, cíclicos, curva de velocidad de segundo orden, spline cúbica.

---

<sup>26</sup> Visitada por el investigador el 28 de octubre de 2011.

*Permite exportar e importar bocetos de mecanismos en formato dxf, se pueden usar los puntos del dxf para dibujar el mecanismo encima de estos.*

*Como resultados se pueden obtener desplazamientos de un nodo, giro de un elemento, velocidades, aceleraciones, par motriz, fuerzas de reacción en rodamientos, fuerzas entre elementos, potencia requerida.*

*En la versión profesional, esta herramienta realiza además optimización bajo diversos criterios:*

- Fidelidad de la trayectoria del punto de acoplador obtenida respecto a la deseada*
- Minimización del pico del par motriz, colocando masas compensadoras.*
- Minimización de la diferencia entre una función estipulada, por ejemplo la función fuerza versus desplazamiento deseada, y la función fuerza versus desplazamiento obtenida.*

*Visítese la siguiente dirección de la red para saber más sobre dicha aplicación:*  
[\*http://www.artas.nl\*](http://www.artas.nl)<sup>27</sup>

#### **2.2.4.6 WinMecc**

*WinMecc es un programa informático desarrollado por el departamento de Ingeniería Mecánica y Mecánica de Fluidos de la Universidad de Málaga.*

*La herramienta es capaz de realizar simulaciones de mecanismos planos con un grado de libertad de cualquier número de eslabones, según declaran los propios autores, con finalidad docente.*

- El elemento motriz puede ser una barra o una deslizadera, se puede especificar velocidad o aceleración.*
- Partiendo de un mecanismo base, sea:*
  - De cuatro barras*
  - De biela-manivela*
  - De deslizadera*
  - Tercera inversión*
  - Cuarta inversión*
  - Mecanismo de doble biela-manivela*
- Se pueden añadir estructuras adicionales fijas y móviles.*
- El resultado es en forma de gráficas o diagramas. Estos pueden ser cinemáticos y dinámicos.*

---

<sup>27</sup> Visitada por el investigador el 28 de octubre de 2011.

## Estado de la cuestión

---

*Esta aplicación, aunque de un modo más limitado que la anterior, posibilita abordar problemas de análisis de mecanismos en las aulas. Puede leerse más en: <http://immf.uma.es/departamento/winmecc/><sup>28</sup>*

## 2.3 Conclusiones

*La síntesis de mecanismos sólo se trata en 20 de las 54 asignaturas obligatorias posibles de la titulación de G.I.M. que a día de hoy ofrecen las universidades españolas, creemos que este hecho puede tener diversas causas, una de las más importantes es la dificultad que el estudio de esta materia conlleva, y por tanto el tiempo a ésta se debiera dedicar, -sobre todo en el caso de la síntesis analítica de mecanismos-, unida a la obligatoriedad de impartir unos temas más básicos pero necesarios para dotar a los estudiantes de todos los principios que estas asignaturas han de proporcionarles, todo ello encajado en un estrecho calendario que en la mayoría de asignaturas tiene una duración de 60 horas presenciales y 90 horas de trabajo personal.*

*Comentamos ahora que el hecho de que en la mitad de las asignaturas que sí tratan la síntesis de mecanismos se usan herramientas informáticas, pues creemos que esta es una opción interesante, no para simplificar el temario, si no que para realizar prácticas ágiles, interactivas y motivadoras. Además éstas herramientas pueden ser un excelente soporte al autoaprendizaje, pues muestran cual debiera ser la solución del problema que se ha de resolver manualmente. Permiten además a los docentes proponer ejercicios complejos y cercanos a la realidad del estudiante, que de otra manera serían demasiado largos o laboriosos.*

*Sobre los programas informáticos que hemos podido detectar que es están usando hoy en día en España, podemos decir que seguramente todos ellos presentan diversos inconvenientes para la tarea docente:*

*En el caso de MatLab/Simulink y AutoCAD, estamos hablando de herramientas no directamente ligadas con la materia de la síntesis de mecanismos, o sea, que es posible que algún estudiante no las conozca en el momento de abordar la asignatura, y que por tanto tenga que aprenderlas. Esto es relativamente simple en el caso de AutoCAD, si se está hablando de un nivel de uso bajo, suficiente para realizar un boceto y tomar de medidas, y algo más complejo es el caso de MatLab, pues su uso requiere algunas nociones de programación, cosa que en caso de no tenerse, puede llegar a requerir una cantidad considerable de esfuerzo por parte del estudiante.*

*En los otros tres casos, Working Model 2D, WinMecc y SAM – de las que sólo ésta última puede realizar síntesis de mecanismos-, nos enfrentamos a herramientas que muy raramente van a ser conocidas por las alumnas y los alumnos de las asignaturas, pues son específicas de la asignatura de la que están matriculados, así, mayoritariamente se va a requerir un tiempo de familiarización con la herramienta. Además sucede que para su uso, se requieren conceptos de cinemática y dinámica de máquinas, pero claro está que justamente están cursando la asignatura que les aportará dichos conocimientos, así, estas herramientas no podrán usarse en el aula o en los laboratorios, o como compañero de autoaprendizaje desde la primera semana de clase, pues previamente van a tener que absorberse conceptos teóricos básicos.*

---

<sup>28</sup> Visitada por el investigador el 28 de octubre de 2011.

*Comentamos también que en España pueden estar usándose otras herramientas informáticas para reforzar o complementar los contenidos de las asignaturas de este tipo, lo que sucede es que buscando entre las guías docentes actuales no hemos podido dar ningún otro nombre a parte de los ya conocidos.*

*Creemos que puede ser muy útil para la docencia de esta materia en las aulas españolas la creación y el desarrollo de una herramienta informática que aborde la síntesis de mecanismos, y que prácticamente no requiera de conocimientos previos de cinemática y dinámica de máquinas para su uso, de esta manera dicha herramienta posibilitaría su uso y aprovechamiento desde el primer día de clase. Además, dicha aplicación no debiera obligar al usuario a conocer lenguajes de programación o similar, y debiera presentar una interfaz lo más simple e intuitiva posible.*

*Para finalizar estas conclusiones, creemos que sería muy interesante para todas estas asignaturas poder tratar en algún aspecto la síntesis de mecanismos, pues éste es una parte de la teoría de máquinas que en cierta manera podemos llamar finalista, pues de algún modo puede usarse para justificar otros temas de estas asignaturas que sí se imparten, como pueden ser las de análisis cinemático y dinámico de máquinas. Así nos parece que los docentes debieran hacer un esfuerzo para incluirla dentro de sus temarios. Para hacer esto, los profesores y profesoras de estas asignaturas pueden recibir de los programas informáticos una gran ayuda, pues el hecho de incluir en sus temarios una materia densa como la síntesis de mecanismos, puede conllevarse mucho mejor con la ayuda de estas herramientas, que pueden contribuir a la dinamización y motivación de su aprendizaje.*





# 3

---

## **Análisis y Síntesis de mecanismos**

*Aquí nos parece oportuno distinguir entre análisis y síntesis de mecanismos. En el primer caso se tiene un mecanismo dado y el problema consiste en hallar el comportamiento de un punto o de una barra de este, esto es: cálculo de desplazamiento, velocidades, aceleraciones, etc. ya sea bien en una o más posiciones de la máquina en cuestión.*

*En cambio cuando se habla de síntesis, la situación es justamente la inversa: se conoce la salida o comportamiento del mecanismo: puntos de paso con o sin orientación, relación entre dos o más posiciones, etc. Y el problema consiste en hallar un mecanismo que cumpla dichas restricciones. De hecho, se define a la síntesis de mecanismos, [22], [7], [9], como la parte de la Teoría de Máquinas y Mecanismos que permite determinar el mecanismo capaz de ofrecer una respuesta preestablecida de antemano. Esta es por tanto un área de conocimiento muy necesaria para el diseñador de mecanismos, quien normalmente necesita determinada máquina que cumpla con trayectorias, velocidades, aceleraciones o características dinámicas concretas a lo largo de una o más posiciones de ésta. Normalmente estas necesidades preestablecidas conllevan restricciones físicas del puesto de trabajo del mecanismo en concreto, como por ejemplo espacio disponible, posibles obstáculos a evitar ubicación de anclajes fijos factibles.*

*Históricamente la síntesis ha sido, y todavía es, una rama de conocimiento considerablemente densa, y en la que por primera vez en 1940 se introducen técnicas de métodos numéricos, [22][46], pues dependiendo del tipo de síntesis que se quiera realizar, podemos enfrentarnos a extensos sistemas de ecuaciones, no siempre lineales, que hemos de resolver para poder hallar la solución, o el conjunto de soluciones, que cumplan con las restricciones impuestas.*

*En nuestros días ambas ramas disponen de algunas herramientas informáticas específicas de análisis y/o síntesis<sup>29</sup> como por ejemplo LINCAGES, Synthetyca, ADAMS, [12] [48] [1] entre otras, que asisten al diseñador de maquinaria y que le permiten realizar análisis, y en ocasiones síntesis, cinemáticas y dinámicas sobre los modelos, o lo que es lo mismo, resuelven las ecuaciones simultáneas para las simulaciones cinemáticas, estáticas, cuasi-estáticas y dinámicas. Algunas de estas herramientas llegan a tener en cuenta rozamientos, elementos elastocinéticos y elastotérmicos.*

---

<sup>29</sup> Véase capítulo 6 para un listado y descripción más exhaustivos de este tipo de programas informáticos.

## Análisis y Síntesis de mecanismos

---

*Por otro lado, en los últimos años la evolución de las herramientas informáticas alrededor del área de Expresión Gráfica parece tender cada vez más hacia la integración con herramientas que históricamente han pertenecido a otros ámbitos. Podemos poner por ejemplo el caso de SolidWorks [44], que presenta un programa central que modela geometría, la ensambla y genera vistas, pero además, pone a disposición módulos periféricos de elementos finitos y de análisis dinámico de mecanismos entre otros [45], en éste caso el programa CAD principal se asocia con productos de otros fabricantes, COSMOS, para realizar análisis FEA, y ADAMS para simular mecanismos imponiendo restricciones dinámicas, todo ello sin que el usuario se vea obligado a cambiar de herramienta: este siempre trabaja en el mismo entorno. Son muchas las herramientas CAD que incorporan porciones de otras y que multiplican por tanto sus aplicaciones, SolidEdge, Inventor, el citado SolidWorks, etc.*

*También se da el caso de herramientas ya concebidas inicialmente a base de módulos, por ejemplo el programa CatiaV5 [3] posee módulos CAD, CAE, CAM, Cinemáticos, Ergonómicos, Gestión de Conocimiento, Cableado y un largo etcétera. Otros ejemplares de esta última familia son NX [26] y ProEngineer [33].*

*Tanto en el caso de las herramientas que mayormente han adquirido porciones de otras, como en el de las que principalmente han sido concebidas a base de módulos independientes o relacionados entre sí, la realidad nos lleva a disponer de herramientas que presentan muchos más usos y aplicaciones a parte del original y tan necesario Diseño Asistido por Ordenador. Así, cada vez tiene más sentido utilizar el acrónimo inglés CAx para describirlas, pues con él nos referimos a herramientas que asisten muchos aspectos de la gestión del ciclo de vida del producto, PLM, esto es: diseño, análisis con elementos finitos, fabricación, planificación de la producción, comprobación del producto, realidad virtual, simulación, gestión de la documentación asociada al producto, etc. Nos parece pues que nuestra área, la de Expresión Gráfica, tiene frente a sí un horizonte casi ilimitado de aplicaciones.*

*En lo referente a la situación en las aulas, y tal como acabamos de leer en el apartado 2.2 de la presente investigación, sucede que histórica y actualmente, el análisis de mecanismos es la piedra angular de los temarios de asignaturas de mecanismos de nuestras universidades: es poco habitual encontrar pinceladas de síntesis de mecanismos en alguna de las guías docentes de las facultades españolas. Hecho que por otra parte, y tal como ya hemos comentado en 2.3, es plenamente justificable principalmente por dos motivos: carece de sentido introducir síntesis sin dominar previamente el análisis, y habitualmente falta tiempo para impartir, y dicho sea de paso para absorber dichas enseñanzas.*

*Sorprendentemente cabe decir que nuestros estudiantes, cuando van a trabajar a la Industria, agradecerían haber recibido clases de síntesis de mecanismos, pues dominan el cálculo y las diversas metodologías de análisis pero tienen vagas nociones o ninguna de síntesis: imaginemos qué sucede cuando las ingenieras y los ingenieros formados en nuestras Universidades, no tienen un mecanismo dado si no que buscan un mecanismo que se comporte de una cierta manera: normalmente, debido a la ignorancia, -recordar la intervención de R. L. Norton en la ASME Machine Design Awards del 2002<sup>30</sup> [24]-, esto se soluciona con un mal tanteo, muchas veces a ciegas, o con un simple descarte, esto es simplemente ignorar soluciones de diseño con mecanismos articulados u otros, y optar siempre por diseños con mecanismos de movimientos rectilíneos, con guías lineales, cilindros neumáticos, etc.*

*Efectivamente para la Industria, realizar diseños mecánicos con mecanismos de cuatro barras o más no es tarea fácil, se han de realizar múltiples y en ocasiones complejos*

---

<sup>30</sup> Intervención ya comentada en el apartado 2.1 de la presente investigación.

*cálculos, puede además llegarse a un mecanismo de difícil fabricación o con recambios poco estándares, etc. Pero también se ha de decir que en ocasiones, la opción del mecanismo de cuatro barras articulado puede ser una muy buena solución para el diseñador, pues en la gran mayoría de casos se trata de un mecanismo con un solo elemento motriz, pudiendo además llegar a ser muy compactos, así estos mecanismos pueden ser una opción de difícil montaje, fabricación y mantenimiento a la vez que pueden convertirse en la opción más simple, barata y compacta. Así, intentamos conseguir con este trabajo que nuestras ingenieras e ingenieros no descarten, al menos gratuitamente y de buenas a primeras, la opción del mecanismo articulado para un problema de diseño mecánico concreto.*

### **3.1 Análisis de mecanismos. Metodologías y herramientas**

*Para poder realizar análisis de mecanismos disponemos ecuaciones vectoriales basadas en los principios de posición relativa de dos puntos en el espacio, estas ecuaciones pueden derivarse para obtener las análogas de velocidad y aceleración.*

*A partir de esta filosofía, se llega a dos metodologías: métodos gráficos y métodos analíticos, que en ambos casos resuelven con mayor o menor grado de dificultad las ecuaciones anteriormente citadas [21], [38], [49].*

*De hecho es muy habitual dotar al ingeniero con ambas herramientas, pues la vertiente gráfica, si se resuelve a mano, proporciona una solución imprecisa pero independiente de cálculos tediosos, mientras que la parte analítica aporta una solución exacta pero envuelta en la resolución de sistemas de ecuaciones no siempre fáciles de solucionar.*

*Por otro lado, el análisis de mecanismos puede también abordarse con múltiples aplicaciones informáticas específicas de simulación: Adams, Working Model, etc., y además con nuestras conocidas herramientas CAx: Solid Works, ProEngineer, CatiaV5, etc., pues todas ellas incorporan con mayor o menor potencia módulos de simulación cinemática, e incluso dinámica: Motion, ProMechanica y DMU Kinematics respectivamente. Con todas ellas, los ingenieros pueden realizar simulación analítica de mecanismos, pues el usuario proporciona el mecanismo al programa y este resuelve su comportamiento. Pueden además observarse colisiones, interferencias, etc. o graficarse propiedades cinemáticas de puntos o barras del mecanismo. En algunos casos las simulaciones alcanzan a incorporar parámetros dinámicos, elementos de naturaleza visco elástica, etc. Cabe decir que en todos estos casos, estamos hablando de herramientas específicas, con su consecuente dificultad de uso, o bien de herramientas CAD, que obligan al usuario a ser conocedor de ellas y de los conceptos que estas conllevan.*

*A continuación refrescamos la matemática del análisis de mecanismos, nos valemos de las ecuaciones vectoriales de cierre de circuito que siempre se pueden plantear para un determinado mecanismo<sup>31</sup>. En la Figura 3.1, observamos cómo las barras del mecanismo son representadas mediante vectores  $\mathbf{r}_i$ , que nos permiten realizar el estudio de posición de manera sistemática.*

<sup>31</sup> Vemos aquí el planteamiento matemático del problema del análisis de posición de cualquier punto de un mecanismo de cuatro barras articulado, pero éste mismo procedimiento puede extenderse a cualquier otro mecanismo con cualquier número de barras. De la misma manera el lector puede corroborar en la bibliografía referenciada, que la metodología a utilizar en los problemas de análisis de velocidades, aceleraciones o sacudida es idéntica a la aquí presentada, pues para poder abordar estos, va a ser necesario plantear un diagrama vectorial de cierre del mecanismo, derivarlo hasta el orden deseado y resolver las ecuaciones resultantes.

## Análisis y Síntesis de mecanismos

Antes de abordar el planteamiento matemático, queremos recordar algunas definiciones de interés, pues de ahora en adelante vamos a utilizar nomenclatura del ámbito de la mecánica:

- Barra de referencia o bastidor: Para poder realizar cualquier análisis, ya sea de posición, velocidad, etc., necesitamos tener un eslabón de referencia, éste es una parte de la máquina que consideramos estática, sin movimiento. Lo representamos en el diagrama de la Figura 3.1 mediante el vector  $r_4$ . Cabe decir que  $r_4$  puede tener movimiento, en ese caso, deberemos pensar que  $r_1$ ,  $r_2$  y  $r_3$  se mueven respecto a  $r_4$ , quien a su vez se mueve respecto a otra referencia. Esto es el concepto de movimiento relativo.
- Barra motriz: Representada en la Figura 3.1 mediante  $r_1$ , este eslabón se identifica con el elemento motriz del mecanismo, así normalmente el motor o actuador, está ligado a esta barra. Aunque pueda parecer una obviedad, se remarca que la barra motriz tiene un punto articulado al suelo, bastidor o referencia.

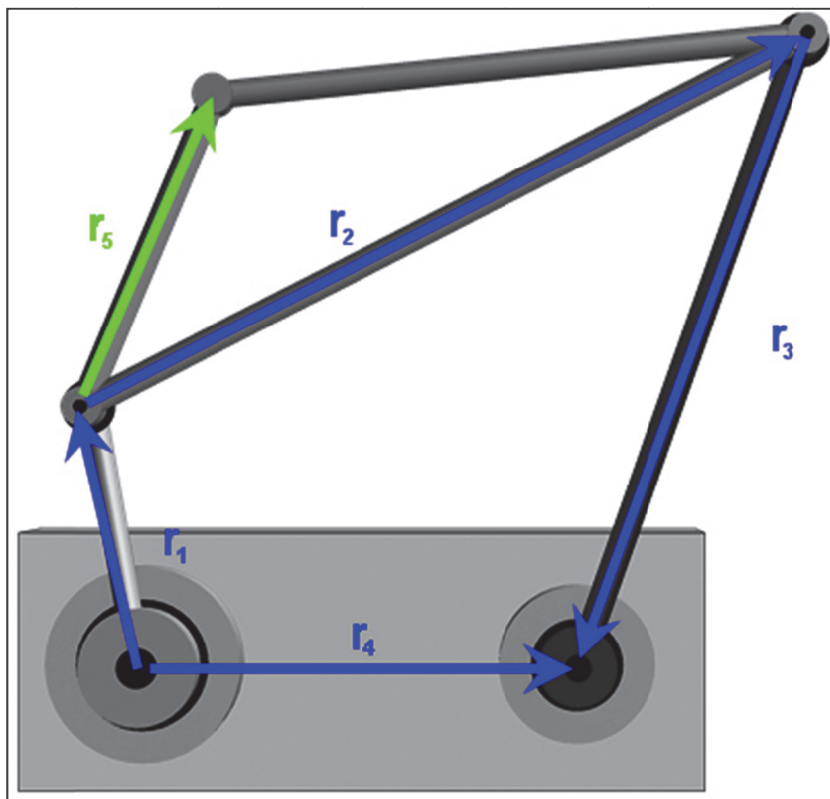


Figura 3.1.- Un posible diagrama vectorial asociado a un mecanismo concreto. Como vemos, los vectores azules forman un circuito cerrado que representa al mecanismo en cuestión, con ellos modelamos la posición de las articulaciones móviles del cuatro barras. El vector verde,  $r_5$ , representa la posición del punto de acoplador a estudiar respecto a un punto de referencia del mecanismo de cuatro barras.

- Barra de salida: Identificada con  $r_3$ . En numerosos mecanismos de esta familia, este eslabón sirve para actuar sobre el exterior de la máquina. O sea, habitualmente la finalidad del mecanismo entero es que esta barra, la barra de salida, se conecte, actúe, mueva, arrastre, etc. a algún elemento de su entorno. Es interesante percibir que este

*eslabón siempre describe un movimiento de rotación pura respecto al suelo, bastidor o referencia.*

- Barra acopladora: *Es la que hemos llamado  $r_2$  en nuestro diagrama vectorial, como su nombre indica, se trata de una barra que relaciona la entrada de la máquina con la salida,  $r_1$  con  $r_3$ , esta barra puede, igual que la de salida, ser aprovechable para alguna finalidad industrial o mecánica, así, el diseñador o diseñadora de mecanismos puede encontrar interesante el movimiento de algún punto de este eslabón para una necesidad industrial concreta. Cabe decir que el movimiento descrito por esta barra es más complejo que el de  $r_3$ , pues  $r_2$  está sometido a un movimiento compuesto, suma de traslación y rotación, cosa que dificulta predecir o intuir de antemano cuales son las trayectorias de sus puntos.*
- Punto de acoplador: *Punto cualquiera de la barra acopladora. Cada punto de la barra acopladora, y para unas medidas de mecanismo dadas, describe una trayectoria diferente en función de su ubicación, la curva de acoplador. En la Figura 3.1, este punto se modela mediante el extremo de  $r_5$ , en verde.*
- Cúspide: *Forma puntiaguda que se presenta en algunas curvas de acoplador, su presencia indica que en esa posición la velocidad de ese punto es nula. Esta propiedad puede ser interesante para un uso industrial, pues en una aplicación concreta se puede necesitar tener una parada en un movimiento para después seguir con el desplazamiento programado. Pueden presentarse hasta tres cúspides en una misma curva de acoplador.*
- Crúnoda: *Cuando la curva de acoplador se entrecruza consigo misma, al suceder esto, se forma una especie de símbolo de infinito. En este caso, paradójicamente se tiene que dentro un ciclo rotativo completo de la barra motriz, la máquina pasa dos veces por el mismo lugar y con diferentes propiedades cinemáticas, entiéndase velocidad, aceleración, etc. De hecho, en una misma curva de acoplador podemos tener como máximo tres puntos dobles, esto es entre cúspides y crúnodas.*

*Una vez refrescados estos conceptos, estamos en disposición de entender el planteamiento matemático que utilizamos para resolver estos problemas.*

*En primer lugar hemos de resolver el lazo azul,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  y  $r_4$ , para posteriormente localizar el punto de acoplador  $r_5$ , en verde, respecto al resto de la máquina.*

*Así, para poder solucionar el primer lazo, planteamos la ecuación de cierre siguiente:*

$$\vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3 = \vec{r}_4 \quad (3.1)$$

*Si pasamos al plano imaginario, y expresamos por tanto cada uno de los términos de la ecuación 1 en forma polar, esto es en módulo y fase en vez de en forma cartesiana, tal como se indica en la siguiente ecuación:*

$$\vec{r}_1 = e^{i \theta_1} r_1 \quad (3.2)$$

## Análisis y Síntesis de mecanismos

---

Recordando la identidad de Euler:

$$e^{i\theta_1} = \cos(\theta_1) + i \sin(\theta_1) \quad (3.3)$$

La ecuación 3.2 queda:

$$\vec{r}_1 = r_1 (\cos(\theta_1) + i \sin(\theta_1)) \quad (3.4)$$

Rescribiendo la ecuación 3.1, tenemos:

$$r_1 (\cos(\theta_1) + i \sin(\theta_1)) + r_2 (\cos(\theta_2) + i \sin(\theta_2)) + r_3 (\cos(\theta_3) + i \sin(\theta_3)) = r_4 (\cos(\theta_4) + i \sin(\theta_4)) \quad (3.5)$$

Expresión con la que modelamos el análisis de posición de cualquier mecanismo de cuatro barras, en la que:

$r_i$  es el módulo del vector  $r_i$

$\theta_i$  es el ángulo que cada vector forma con respecto a su referencia, en el caso que nos ocupa respecto a la horizontal.

Comentamos también que la expresión 3.5, es una ecuación vectorial expresada en coordenadas polares, donde cada uno de los términos tiene dos dimensiones: una real y otra imaginaria. Así de ella se desprenden dos ecuaciones, una para el eje real y otra para el imaginario.

Una vez planteado y resuelto el problema de la posición del lazo principal del mecanismo, podemos abordar el problema de la posición del punto de acoplador, representado en la Figura 3.1 mediante  $r_5$ : planteamos la expresión de posición relativa respecto a otro punto de movimiento conocido, cualquier punto de la barra  $r_3$ , pues no hay movimiento relativo entre  $r_3$  y  $r_5$ .

### 3.1.1 Análisis de mecanismos con herramientas CAx

Una vez descrito el planteamiento matemático del problema del análisis de mecanismos, nos disponemos a mostrar un ejemplo de análisis de mecanismos en el que utilizamos diversas herramientas informáticas para su simulación

Así en el presente apartado queremos mostrar el potencial de las herramientas tradicionalmente conocidas como aplicaciones de Diseño Asistido por Ordenador, CAD, alrededor del análisis de mecanismos. Con esta intención vamos a realizar simulaciones cinemáticas con CatiaV5, utilizando el módulo DMU kinematics, a la vez que se simularán dinámicamente con SolidWorks, utilizando su extensión CosmosMotion. Los mecanismos que vamos a simular son pedales de bicicleta de diversas índoles, en concreto queremos comparar los comportamientos que presentan el mecanismo de pedal clásico y un

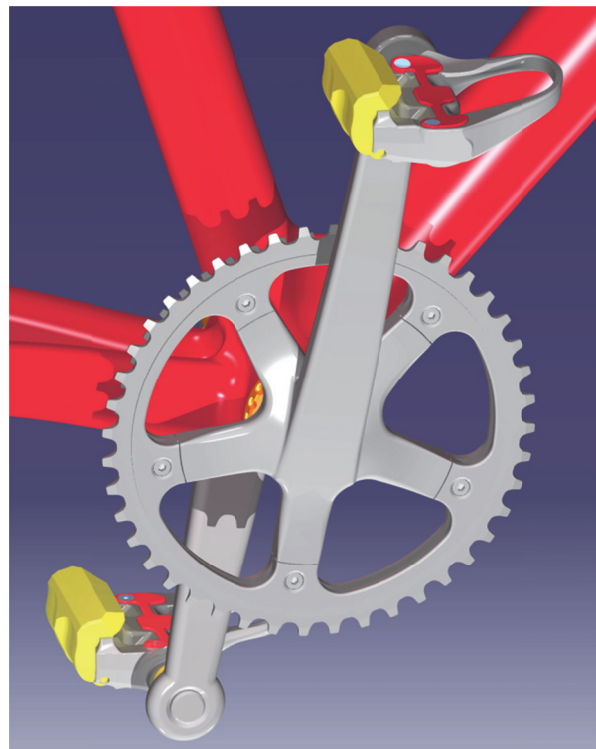
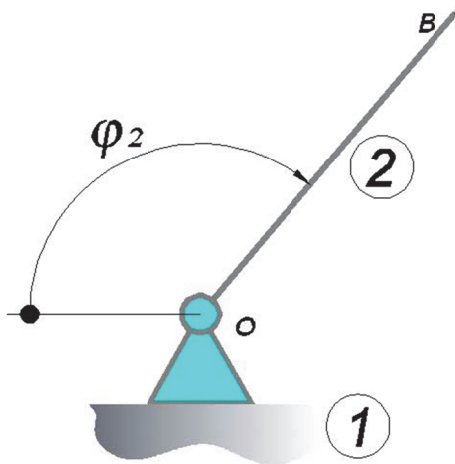
*mecanismo de pedal mejorado para carrera contrarreloj de la empresa Rotorbike [39]. Interesante comentar que los resultados que vamos a obtener finalizan en el plato. Así serán extrapolables y comparables con cualquier bicicleta, pues no dependerán de los piñones ni del radio de la rueda motriz. Cabe decir que en ambos casos los mecanismos tienen las mismas medidas significativas, esto es, la misma longitud de biela (la misma capacidad de palanca por parte del ciclista) y el mismo diámetro de plato y tamaño de diente (la misma relación de transmisión entre plato y piñón).*

### 3.1.1.1 Presentación de los mecanismos

*A continuación realizamos los esquemas cinemáticos de los mecanismos necesarios para entender las posteriores simulaciones.*

#### 1.1.1.1.1 El mecanismo clásico

*El esquema cinemático de la Figura 3.2, nos revela que este es un mecanismo formado por dos barras: la número 1 va a ser la referencia, y representa al cuadro de la bicicleta, la número 2 representa al conjunto plato-biela.*



*Figura 3.2.- El pedal clásico. Sobre estas palabras se observa el esquema cinemático con el que podemos representar al mecanismo de pedal clásico. A la derecha podemos ver una imagen renderizada con CatiaV5 de este mecanismo.*

*La Figura 3.2 revela el origen de medición angular y la magnitud angular a medir:  $\varphi_2$ . Se aclara también que O representa el centro del plato, articulado respecto a la referencia, el cuadro. Apreciamos a simple vista que el mecanismo presenta 1 grado de libertad: la rotación del conjunto plato-biela respecto al cuadro. En la parte derecha de esta figura vemos una representación realística de éste.*



## Análisis y Síntesis de mecanismos

Así, vamos a realizar diversas simulaciones, siempre imponiendo que el plato posee una velocidad angular de 10 rad/s, esto es  $\dot{\varphi}_2 = 10 \text{ rad/s}$ . Obviamente, y sólo en este primer mecanismo, la velocidad angular de la biela va a coincidir con la del plato en cada momento, pues en este caso ambos son solidarios.

### 1.1.1.1.2 El mecanismo mejorado

En este caso nos enfrentamos a un mecanismo algo más complejo. Realmente está compuesto por seis barras, aunque por simplificar el esquema, sólo hemos representado medio mecanismo, la otra mitad es simétrica y se comporta exactamente igual que la mitad esquemática, Figura 3.3.

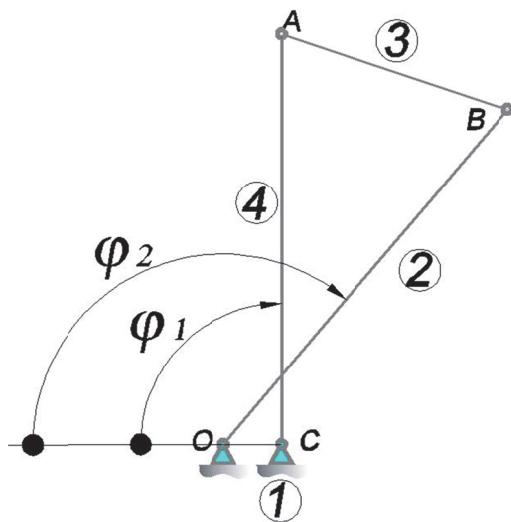


Figura 3.3.- Arriba mostramos el esquema cinemático del pedal mejorado para contrarreloj, en el que la barra 2 representa a la biela sobre la que trabaja el pie derecho. A la derecha una imagen generada mediante el módulo Photo Studio de la herramienta CatiaV5 en la que se observa el aspecto exterior de dicho mecanismo. En ella podemos apreciar que la biela derecha no está unida rigidamente al plato.

Así, el esquema realizado sólo refleja la mitad del mecanismo y por eso presenta únicamente 4 barras. Igual que anteriormente, la referencia del mecanismo es el cuadro de la bicicleta, que ahora presenta dos articulaciones: O y C. El elemento 2 representa solamente a la biela y el 4 representa al plato, a su vez 2 y 4 articulan respectivamente en las anteriores juntas O y C. Aparece también un nuevo elemento: el acoplador 3, que “sincroniza” los movimientos de biela y plato. A y B son también juntas de articulación.

Igual que en el mecanismo anterior podemos observar a simple vista que se trata de un mecanismo de tan solo 1 grado de libertad, esto es absolutamente lógico, pues sólo disponemos de un motor para la mitad representada del mecanismo: uno de los pies del ciclista.

Las variables  $\phi_1$  y  $\phi_2$ , representarán los ángulos barridos por plato y biela, justamente nuestras simulaciones se van a centrar en estos dos parámetros, pues nos vamos a preguntar cómo se comporta la biela cuando hacemos girar el plato a una determinada velocidad angular: vamos a simular que el plato posee una  $\phi_1' = 10$  rad/s constante respecto a la referencia, y vamos a iniciar la simulación en  $\phi_1 = 90^\circ$ . En la imagen renderizada de la Figura 3.3 nos hacemos una idea del aspecto externo del mecanismo.

### 3.1.1.2 Simulación cinemática

Para realizar la presente simulación hemos utilizado el módulo DMU kinematics de la herramienta CatiaV5, Figura 3.5, para ello se ha generado la geometría de ambos mecanismos y se ha procedido a realizar el ensamble. En todo momento se ha perseguido el máximo realismo, con tal intención nos hemos inspirado en medidas y formas de Rotorbike, Shimano [43] y Cinelli [6], fabricantes y diseñadores de reconocido prestigio. Por otro lado, se ha estipulado un tiempo de simulación de 1s para finalmente restringir una junta motriz en ambos mecanismos, en los dos casos, la junta motriz ha sido el par de revolución entre plato y cuadro, junta C en la Figura 3.3 y junta O en la Figura 3.2.

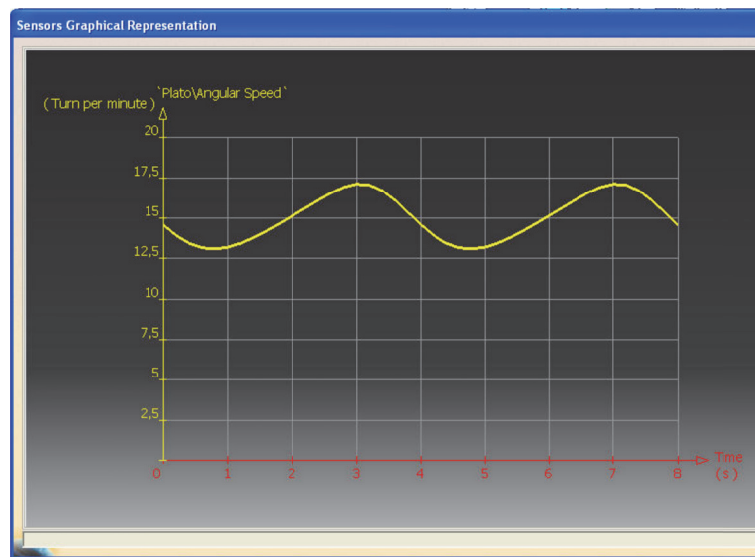


Figura 3.4.- Gráfica obtenida en el módulo DMU kinematics. En ella observamos el comportamiento de  $\phi_2'$  cuando  $\phi_1'$  se mantiene constante a lo largo del tiempo en el caso de mecanismo mejorado.

Una vez realizada la simulación se nos brinda la posibilidad de implementar sensores para realizar diversas mediciones, en este caso  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ ,  $\phi_1'$  y  $\phi_2'$ . Además, la herramienta nos permite guardar todos los datos en un archivo de hoja de cálculo y graficar cualquiera de los resultados obtenidos, Figura 3.4.

### 3.1.1.3 Resultados obtenidos en la simulación cinemática

Después de analizar los datos obtenidos con el DMU kinematics de CatiaV5, hemos elaborado una curva que puede sorprender al lector, Figura 3.6, se trata de una comparativa entre bielas de ambos mecanismos, de hecho, esta gráfica es una evolución de

## Análisis y Síntesis de mecanismos

la obtenida directamente en CatiaV5, Figura 3.4. Así, en la Figura 3.6 hemos representado los primeros instantes de las simulaciones, justo el intervalo en el que  $\phi_1$  varía de  $90^\circ$  a  $270^\circ$  aproximadamente.

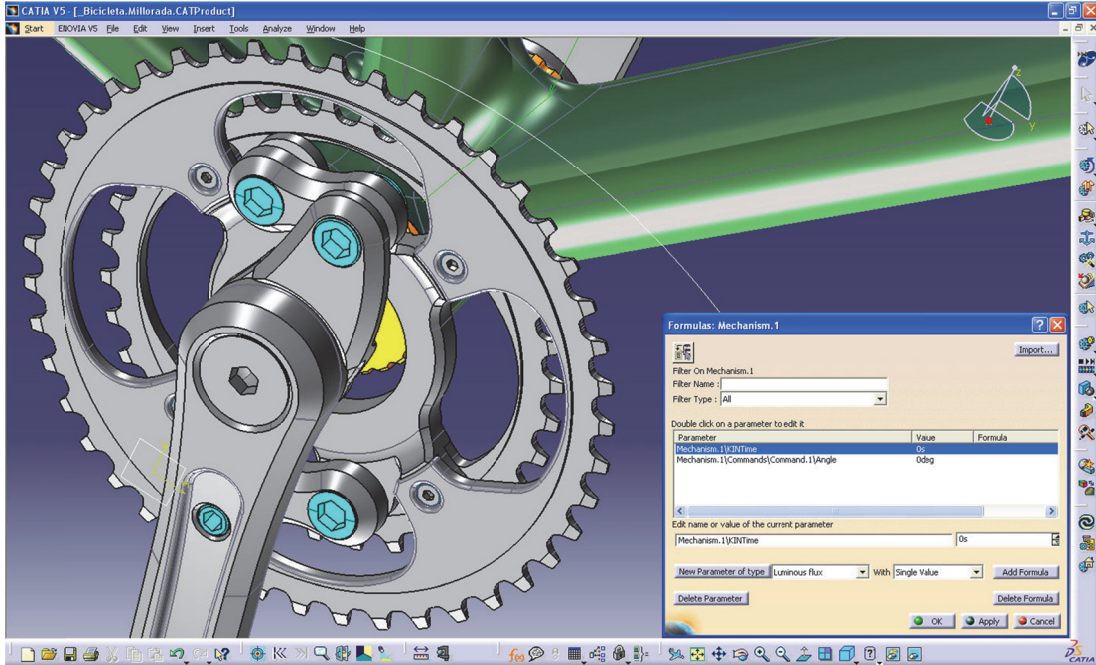


Figura 3.5.- Ventana del DMU kinematics en la que introducimos el tiempo y la relación entre este y el ángulo motriz, en este entorno hemos realizado la simulación cinemática de ambos mecanismos.

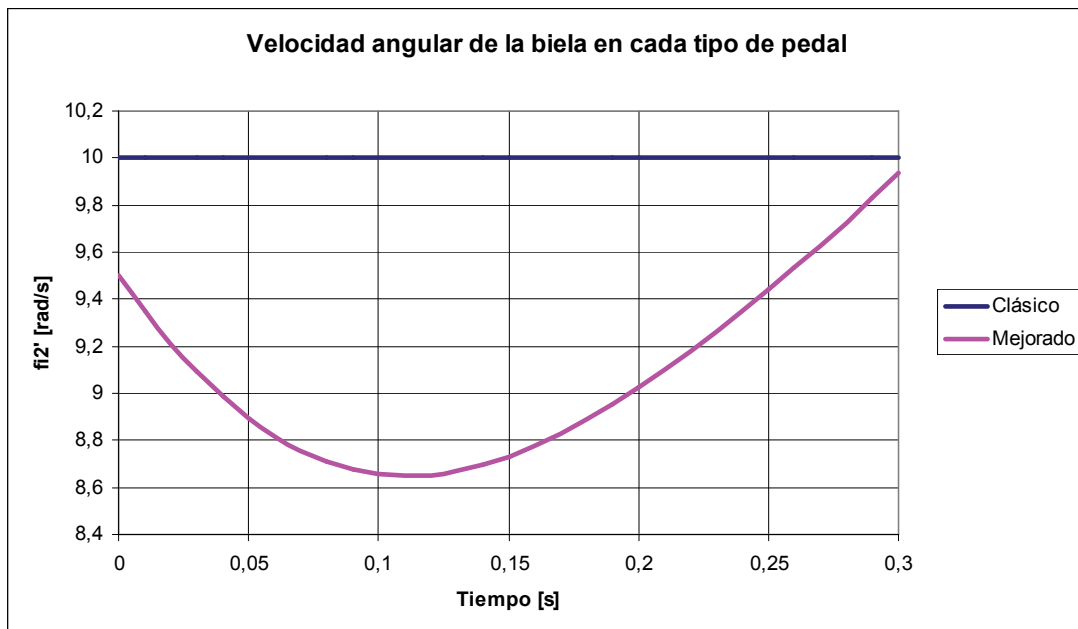


Figura 3.6.- Gráfica obtenido con hoja de cálculo, en ella observamos que las bielas en uno y otro caso giran de maneras distintas para una misma velocidad angular en los respectivos platos.

Observamos que justo en este intervalo la biela del mecanismo mejorado, de la empresa Rotorbike, gira más lentamente que la del mecanismo clásico, recordamos que ambos platos

*están rotando a 10 rad/s, o sea que parece que durante el intervalo señalado la biela del mecanismo mejorado permite que el ciclista pedalee más lentamente que con el mecanismo clásico para obtener una misma velocidad angular en el plato, o lo que es lo mismo, si un ciclista utiliza este mecanismo mejorado y pedalea al mismo ritmo que otro que no lo utiliza, obtendrá una velocidad angular mayor en su plato, esto es, para una misma relación de transmisión e igual radio de rueda motriz, el ciclista con el mecanismo mejorado se moverá más rápido sobre el firme, pues su plato gira más rápido al pedalear éste a igual ritmo que su compañero.*

*Se quiere remarcar también que es justo durante este intervalo en el que el ciclista puede dar más de sí, en esta mitad del mecanismo, recuérdese la Figura 3.4, justamente para  $\phi$  entre  $90^\circ$  y  $270^\circ$  el pedal se encuentra en posición favorable para recibir fuerza. También se remarca el comportamiento cíclico del proceso de pedaleo: mientras un pie realiza prácticamente la totalidad del esfuerzo, el otro casi no aporta fuerza útil al mecanismo. Al finalizar el ciclo de un pie, el otro comienza a imprimir fuerza utilizable, por tanto uno y otro lado del mecanismo, se van alternando cada  $180^\circ$  aproximadamente.*

*Así, volviendo a la curva de la Figura 3.4, vemos que a partir de los 0,3 segundos de simulación, esto es después de haber rotado aproximadamente  $180^\circ$  desde el inicio, la biela estudiada del mecanismo de la empresa Rotorbike, gira más rápidamente que el plato durante aproximadamente los  $180^\circ$  siguientes. Se quiere hacer ver al lector que esto no afecta prácticamente al ciclista, pues ahora es el turno de la otra mitad de mecanismo, del otro pie, que justamente se encuentra en la zona en la que la biela gira más lenta que el plato. Así, el mecanismo mejorado va perfectamente sincronizado y ofrece sus ventajas alternativamente a cada pie justo cuando este las puede aprovechar mejor.*

*Realizado este análisis parece ser esta una gran invención, pues desde luego el mecanismo mejorado permite obtener más velocidad para un mismo ritmo de pedaleo. Hemos de apuntar que esto no puede ser simplemente así, pues podemos pensar en el caso de un único ciclista, quien posee siempre la misma potencia de pedaleo y que mantiene constantemente el mismo ritmo: con un mecanismo correrá más que con otro pero ¿lo hará con el mismo momento tractor? Hemos de pensar que la potencia que el ciclista aplica a uno y otro mecanismo ha de ser la misma, pues se trata de la misma persona y las mismas condiciones. Ante esta pregunta parece necesario realizar un análisis dinámico del mecanismo. Para ello vamos a tener que utilizar por ejemplo la extensión de SolidWorks, pues CatiaV5 no posee ningún módulo que realice simulaciones dinámicas de mecanismos.*

### **3.1.1.4 Simulación dinámica**

*En este caso, Figura 3.7, se ha importado la geometría previamente creada con CatiaV5, se ha re ensamblado el mecanismo en el entorno de SolidWorks y con la utilidad Intelimotion-Builder se han especificado el tiempo de simulación, la velocidad angular del plato respecto al cuadro y como novedad, la fuerza que el ciclista aplicará sobre el pedal,  $F_{\text{ciclista}} = -30\mathbf{j}$  N, que se ha considerado constante a lo largo de toda la simulación. Cabe aclarar al respecto que efectivamente el ciclista no presenta este comportamiento, pues en ningún caso la fuerza ejercida sobre el pedal es realmente de módulo constante. Se quiere justificar la presente consideración recordando que las diferentes simulaciones van a ser posteriormente comparadas, así en ningún caso se va a beneficiar a uno u otro modelo por el hecho de que la fuerza sea de naturaleza constante, pues ambos mecanismos van a recibir exactamente la misma carga, en todo caso se beneficiará o perjudicará a los dos modelos por igual. También creemos importante remarcar que dicha simulación se ha efectuado sólo para media revolución de biela pues se ha considerado que el pie del ciclista mayormente actúa sobre el pedal durante este intervalo al finalizar el cual pasa a ser remplazado por el efecto del otro pie, que se considera que actúa prácticamente como el primero.*

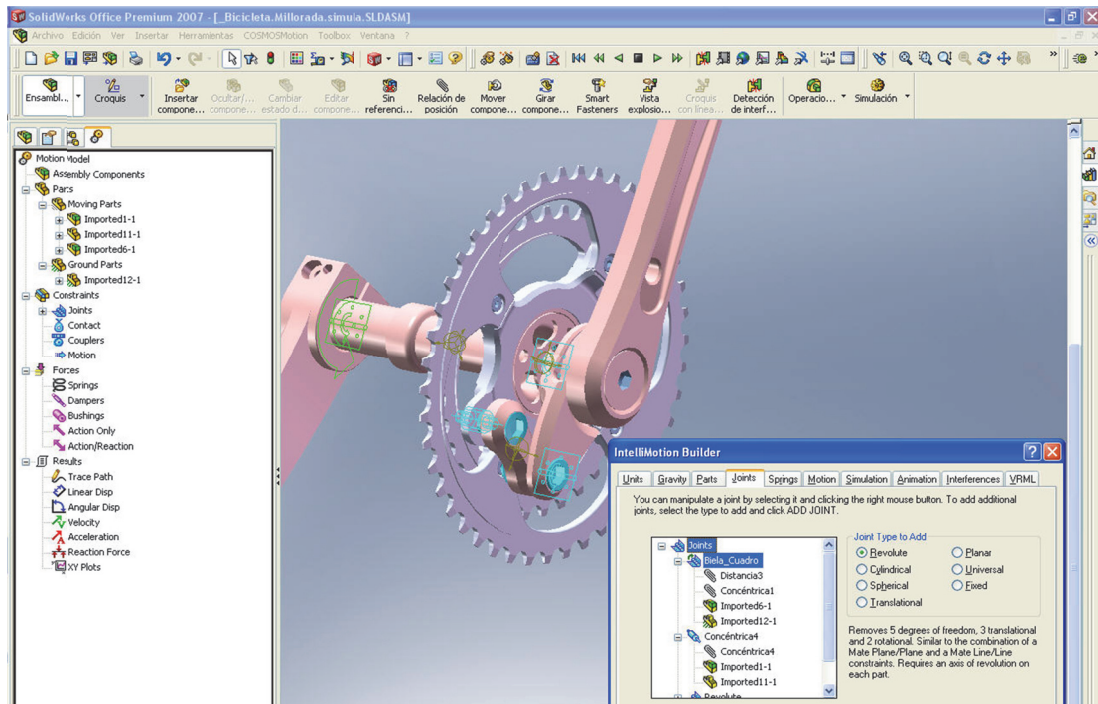


Figura 3.7.- Entorno de trabajo del simulador dinámico asociado a SolidWorks. Vemos las juntas del mecanismo.

### 3.1.1.5 Resultados obtenidos en la simulación dinámica

Con los datos obtenidos hemos representado las dos curvas de la Figura 3.8. La gráfica superior, corrobora las hipótesis provenientes de las simulaciones cinemáticas: mientras el ciclista con el mecanismo mejorado va más rápido que el del modelo clásico, resulta que el mecanismo mejorado pierde capacidad dinámica durante los primeros 90° de simulación, justo durante uno de los intervalos en que el pie puede realizar más fuerza aprovechable.

En el caso de la curva inferior podemos observar la potencia útil que aparece en el plato en cada caso, esto es el producto de la velocidad angular del plato y del par vencible. Bajo este punto de vista, el mecanismo mejorado presenta un comportamiento inferior al del clásico durante buena parte de la simulación.

### 3.1.1.6 Conclusiones del ejercicio

Se concluye que el mecanismo mejorado presenta un comportamiento cinemático óptimo respecto al modelo clásico. En cambio desde el punto de vista del par resistente que pueden vencer, esto es una cuesta o un viento en contra, el pedal clásico presenta un mejor comportamiento, pues este permite realizar más momento en el plato de la bicicleta para una misma fuerza ejercida con la misma palanca de biela. Por lo tanto el mecanismo de pedal mejorado es muy útil y claramente superior para ganar carreras que requieran vencer poco par resistente: contrarrelojes y etapas planas. En cambio si lo que se desea es enfrentarse a un perfil de carrera irregular la mejor opción será equiparse con un mecanismo de pedal clásico.

Por otro lado, creemos que sería interesante realizar posteriores estudios para observar el comportamiento del mecanismo de la empresa Rotorbike al variar las diversas longitudes de

sus miembros. Nos gustaría por ejemplo conocer cual sería el comportamiento al cambiar la longitud del acoplador, eslabón 3° de la Figura 3.3. También nos interesaría estudiar este mecanismo bajo otros puntos de vista como por ejemplo el ergonómico. Estos serían estudios para posteriores trabajos.

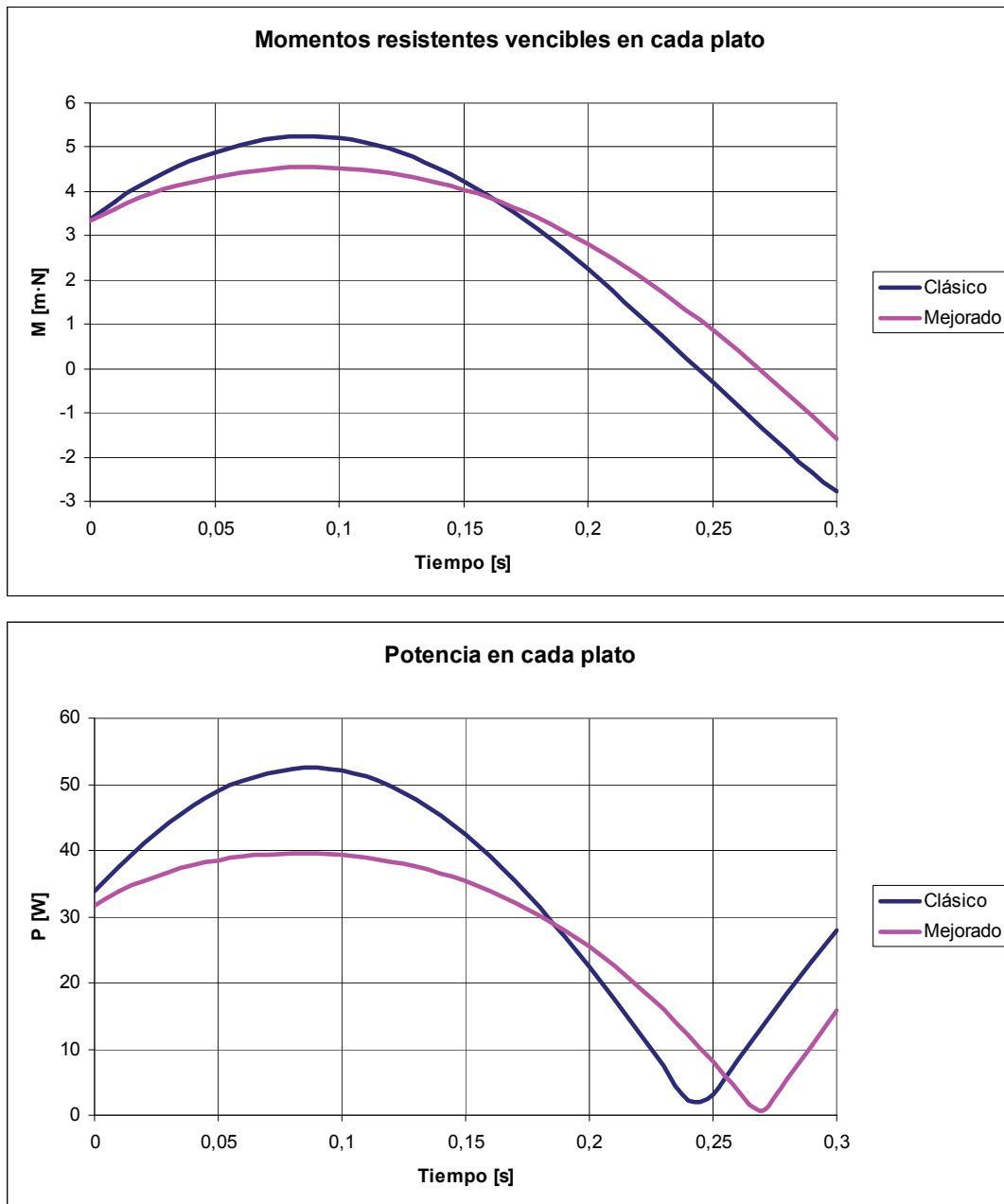


Figura 3.8.- Resultados de la simulación dinámica

Comentamos que con este ejemplo se refleja el hecho de que las tradicionales herramientas CAD pertenecientes claramente a nuestra área de trabajo, incorporan cada vez más de una u otra manera, aplicaciones periféricas que asisten al usuario en innumerables ámbitos. Constatamos que los contenidos de nuestra área de conocimiento se están viendo influidos por esta realidad, pues herramientas como las utilizadas en este documento permiten pensar

## Análisis y Síntesis de mecanismos

---

*en un nuevo campo para el desarrollo de novedosos contenidos. Nos parece pues que nuestra área tiene frente a sí un horizonte casi ilimitado de aplicaciones.*

*En último lugar creemos que el ejemplo mostrado puede revelar a los docentes que las herramientas CAx pueden introducirse en las aulas, y que lo pueden hacer con gran éxito, pues posibilitan la comprobación de anteriores cálculos manuales, y además abren la puerta a la entrada de ejercicios de elevada complejidad, a la vez que cercanos a la realidad, y sobretodo elevadamente motivadores para nuestros alumnos.*

### 3.2 Síntesis de mecanismos. Tipologías

*Podemos clasificar los diversos tipos de síntesis en diversas categorías, aunque sin intención de abarcarlas todas, sí intentamos citar las más habituales y/o significativas en función de sus utilidades:*

*En cuanto al objetivo a sintetizar:*

- De tipo: Identificar el o los tipos de mecanismo que pueden ser de utilidad para un problema concreto (barras, levas, engranajes,..).*
- De número: Identificar grados de libertad, configuraciones, cantidad de barras, etc.*
- Estructural: Determinar el tipo y el número de elementos que conformaran el mecanismo, esta categoría pues agrupa a las dos anteriores.*
- Dimensional: Concretar medidas de barras de un mecanismo deseado para unas condiciones geométricas previamente especificadas.*

*En cuanto al objeto a sintetizar:*

- De coordinación o generación de función: Estudiar la concreción de un mecanismo cuya relación entre la entrada y la salida de éste sea una preestablecida de antemano en un número concreto de posiciones.*
- De generación de trayectorias: Situar puntos de las barras a lo largo de trayectorias dadas.*
- De guiado de cuerpo rígido: Colocar una barra de un mecanismo en un número especificado de posiciones (habitualmente trata de mover un eslabón sobre un plano a lo largo de diversas posiciones).*

*En cuanto al orden de las restricciones:*

- Con puntos de precisión: Resolver de manera exacta un conjunto finito de especificaciones, por ejemplo el paso por unos puntos preestablecidos.*
- Síntesis con derivadas de precisión: Abordar el paso por puntos concretos y además restringiendo sus derivadas. Algunos autores denominan a algunos de los problemas que aparecen en esta categoría como “de temporización prescrita”, esto es restringiendo el tiempo transcurrido entre dos o más posiciones.*

*En cuanto a la metodología utilizada:*

•*Por tanteo gráfico: Encontrar solución aproximada, originalmente con papeles vegetales, y sin realizar cálculo alguno. Normalmente se dibuja el mecanismo en diversas posiciones. El diseñador puede invertir aquí gran cantidad de tiempo sin llegar a ninguna solución concreta.*

•*Por gráficos de diseño: Utilizar tablas, nomogramas, etc...que procedan de un previo análisis de muchos mecanismos (per ejemplo partiendo de un atlas de mecanismos como el de aproximadamente 7000 curvas creado por Hrones y Nelson en 1951[11]).*

•*Analíticas: Hallar un mecanismo satisfactorio mediante exclusivamente estas técnicas.*

•*Grafo-analíticas: Encontrar solución aceptable mezclando ambas técnicas.*

*En cuanto a la exactitud de la solución buscada:*

•*Exactas: Determinar un problema de síntesis de mecanismos con una solución sin error alguno.*

•*Aproximadas: Resolver un problema de síntesis introduciendo el concepto de error, y por tanto, dando entrada a lo que se conoce como optimización de mecanismos, minimización de error, o de otras funciones relacionadas con éste.*

*Otros tipos:*

•*Cinemáticas. Hallar un mecanismo imponiendo restricciones cinemáticas (velocidades, aceleraciones,...) en determinadas posiciones.*

•*Dinámicas: Encontrar solución con restricciones dinámicas.*

•*Elastocinéticas y elastotérmicas: Introducir restricciones de deformación elástica o inducidas por factores ambientales.*

•*Espaciales: Resolver el problema para mecanismos en el espacio.*

•*Con períodos de reposo: Imponer alguna restricción de detención de algún miembro del mecanismo durante un intervalo determinado.*

*De entre estas, querríamos profundizar en las siguientes:*

### **3.2.1 Síntesis Dimensional Analítico Exacta de Múltiples Posiciones con puntos de precisión para el mecanismo de cuatro barras articulado**

*Se trata de hallar el mecanismo que tenga un punto en una barra que se traslade por diversas posiciones especificadas. Aprovechamos esta ocasión para concretar que este problema es capaz de sintetizar cinco posiciones como máximo, pues la matemática asociada a su resolución obliga a esta restricción. Aclaramos también que este problema matemático se convierte en un sistema de ecuaciones no lineal cuando prescribimos 4 o 5 posiciones, aspecto que dificulta considerablemente su resolución y que prácticamente queda restringida al uso de programas informáticos.*



## Análisis y Síntesis de mecanismos

---

*Este problema de síntesis permite de un modo relativamente asequible hasta el caso de tres posiciones prescritas, incorporar variables temporales en sus condiciones de contorno, así alguno autores [7][42][19] hablan de síntesis analítico-exacta de tres posiciones con temporización prescrita, esto es fijando la proporción de tiempo transcurrido entre cada posición.*

*Puede interesar al lector saber que este planteamiento para el caso de 4 o menos posiciones, genera infinitos mecanismos válidos posibles, que el diseñador deberá filtrar para finalmente hallar una solución apta a su problema. Para el caso de 5 posiciones la cantidad de mecanismos solución es finita, en concreto el diseñador puede obtener 0, 2 o 12 mecanismos como resultado de aplicar este enfoque matemático. Comentamos aquí que efectivamente en este último caso el sistema de ecuaciones puede no tener solución real, o sea, podemos obtener valores imaginarios como resultado, cosa que implicaría que las condiciones de contorno impuestas son imposibles de cumplir con un mecanismo de cuatro barras articulado.*

*Ahora el lector puede comprender que el hecho de prescribir el máximo número de posiciones posibles entraña un cierto riesgo, pues puede no darnos ninguna solución real o aceptable, así, bajo un punto de vista de rendimiento podría ser interesante prescribir menos de 5 posiciones para asegurar que el sistema de ecuaciones proporcione siempre una solución, eso sí, una solución con una población de tamaño infinito que obligará a un posterior filtrado por parte del diseñador. Hemos de advertir aquí, que paradójicamente y tal como demostraremos en el apartado 4.1.1, dicha solución formada por una población infinita puede no contener a ningún miembro que cumpla con los requerimientos especificados.*

### **3.2.2 Síntesis Dimensional Analítico Exacta de Guiado de Cuerpo Rígido con puntos de precisión**

*Aquí buscamos que una barra del mecanismo se traslade por múltiples posiciones especificadas. Así, esta es una evolución del caso anterior y nos permite llevar un cuerpo de una a otras posiciones. De hecho este tipo de síntesis incluye al del apartado anterior, pues comporta el guiado de una línea en el plano y el anterior busca el guiado de un punto en el plano.*

*Este tipo de problema va a ser el que vamos a estudiar en profundidad en esta tesis doctoral, pues creemos que es sin duda uno de los más útiles para el ingeniero: resuelve uno de los problemas más habituales en la industria.*

*Podemos pensar, por ejemplo, en operaciones de ensamblaje y/o manufactura que requieran orientación concreta para poderse realizar: se quiere llevar un tornillo desde un almacén hasta un orificio donde va a ser roscado por una roscadora con una orientación concreta, además pudiendo sortear obstáculos intermedios. O se quiere manipular un objeto desde un origen A a un destino B, pasando por una posición intermedia con una orientación concreta en que una cámara de visión artificial inspeccione las medidas y/o el acabado superficial de dicho objeto.*

### **3.2.3 Síntesis Dimensional Analítico Exacta de Generación de funciones de coordinación para el mecanismo de cuatro barras articulado**

*Cuando lo que se busca es hallar un mecanismo que presente una relación,- una función matemática-, entre dos de sus barras. Normalmente entre la barra de entrada del*

*mecanismo, o sea la motriz, y la de salida. Por ejemplo se desea que para una entrada a velocidad constante, algún punto de la barra de salida describa un logaritmo de la entrada.*

*La matemática asociada a este problema permite especificar hasta 7 posiciones prescritas, que implican resolver un sistema de doce ecuaciones. Igual que en los casos anteriores, sólo obtendremos una cantidad finita de mecanismos solución para el caso de 7 posiciones prescritas, así, tras resolver estas ecuaciones y en el caso de 7 posiciones, podemos obtener 0, 1 o 3 mecanismos solución.*

*A diferencia de los anteriores casos, aquí existen diversos enfoques para resolver este problema a parte del planteamiento clásico basado en díadas (hablaremos de ellas más adelante en el apartado 4.1), consúltese por ejemplo la ecuación de cierre de circuito de Freudenstein en la bibliografía referenciada.*

*Hay que decir que este tipo de síntesis está actualmente siendo relativamente poco utilizada en la industria [14], [15], pues parece que los diseñadores prefieren esquivar su complejidad con la barata y relativamente simple implementación de dispositivos electrónicos y programación. Cabe decir que normalmente haciendo esto, se simplifica la parte mecánica de un diseño a cambio de elevar la complejidad electrónica de este. Se comenta también que este camino puede llevar a una solución con un muy mal diseño mecánico y un excelente trabajo electrónico. Creemos que seguramente lo ideal sería un buen diseño mecánico complementado con un buen diseño eléctrico. De esta manera no se ha de sobredimensionar la parte eléctrica, pues esta trabaja sobre un mecanismo lógico y optimizado.*

*Esta es una aplicación clásica en mecanismos de regulación. Piénsese en el ejemplo de la proporción, idealmente lineal, entre las diversas posiciones del pedal del gas de un automóvil y el caudal de combustible que está entrando al motor.*

### **3.3 De la síntesis al análisis y viceversa**

*Desafortunadamente en la realidad existen muchas más variables desconocidas que ecuaciones planteables para explicar el comportamiento de un mecanismo, así hoy en día, y en la gran mayoría de ocasiones, no se puede simplemente plantear un sistema de ecuaciones para resolver un problema concreto de síntesis de mecanismos. La única alternativa es trabajar a caballo de la síntesis y del análisis para generar una posible solución que se deberá valorar, y consecuentemente aceptar o rechazar. Así mediante este proceso iterativo, sin fin aparente, seguro que se encontrará una solución menos mala que otra para llegar al fin a una solución válida para todas o para la mayoría de imposiciones.*



# 4

---

## ***Síntesis dimensional analítico-exacta de Guiado de Cuerpo Rígido con puntos de precisión***

*Tal como ya hemos comentado anteriormente en el apartado 3.2.2, esta tipología de síntesis es la que vamos a abordar en nuestra investigación, aquí el planteamiento matemático es algo diferente al visto en el análisis de mecanismos, recordar el apartado 3.1: ahora se trata de plantear una ecuación vectorial de cierre para cada una de las dos díadas<sup>32</sup> del mecanismo de cuatro barras, en cada una de las posiciones por las que se quiere que pase la barra del mecanismo. Cinco posiciones con orientación máxima, aunque el procedimiento hasta 3 posiciones con orientación es matemáticamente mucho más asequible.*

*Análogamente al análisis, disponemos de dos metodologías para resolver estas ecuaciones: métodos gráficos y métodos analíticos.*

*En el caso de la síntesis los métodos gráficos son relativamente simples cuando el problema se limita a dos posiciones de paso. La complejidad se eleva considerablemente para tres, cuatro y cinco posiciones. Con los métodos analíticos, la dificultad es prácticamente constante para dos y tres posiciones, mientras que a medida que vamos añadiendo restricciones, igual que en la metodología gráfica, la dificultad de resolución aumenta considerablemente, pues los sistemas de ecuaciones se convierten en no lineales.*

*También comentamos que los diversos procedimientos analíticos de este tipo de síntesis nos permiten resolver problemas con opciones totalmente acotadas o con opciones libres: podemos por ejemplo resolver un mecanismo imponiendo la posición de las articulaciones fijas, o si se desea, podemos dejar esta información como incógnita para que las ecuaciones nos muestren posibles ubicaciones para estas articulaciones, en este caso se hallan infinitas soluciones, relacionadas con los llamados círculos M y K (tratados más adelante en éste mismo capítulo). En su caso, y también con los métodos analíticos, podemos introducir parámetros de velocidad en las leyes: podemos obligar a que en el paso de la barra acopladora de una posición a otra, la barra motriz gire un ángulo concreto. Esto nos lleva a*

---

<sup>32</sup> Se entiende por diada a la mitad del mecanismo de cuatro barras: dos barras unidas por una articulación.

## Síntesis dimensional analítico-exacta de Guiado de Cuerpo Rígido...

poder especificar variaciones de giro de la barra motriz entre cada una de las posiciones de la barra acopladora.

De igual manera que en el análisis de mecanismos, en el terreno de la síntesis existen diversas herramientas informáticas que asisten al diseñador en su tarea, así el lector hallará un desglose representativo de estas en el capítulo 6 de la presente investigación.

### 4.1 El tratamiento matemático

A la hora de afrontar la síntesis dimensional de mecanismos de cualquier número de barras, el planteamiento que realizan la mayoría de autores [2][7][14][18][19] es algo diferente del que se piensa cuando realizamos análisis de mecanismos.

En concreto cuando afrontamos el problema de la síntesis, se piensa en el concepto de la díada: dos barras colindantes de un mecanismo cualquiera unidas por una articulación, véase figura siguiente.

Así, en el caso de la síntesis, se utiliza el diagrama de la Figura 4.1 para plantear la ecuación vectorial de cierre para cada una de las dos díadas, esto aplicado a la díada A

$$\mathbf{WA}_j + \mathbf{ZA}_j = \mathbf{WA} + \mathbf{ZA} + \delta_j \quad (4.1)$$

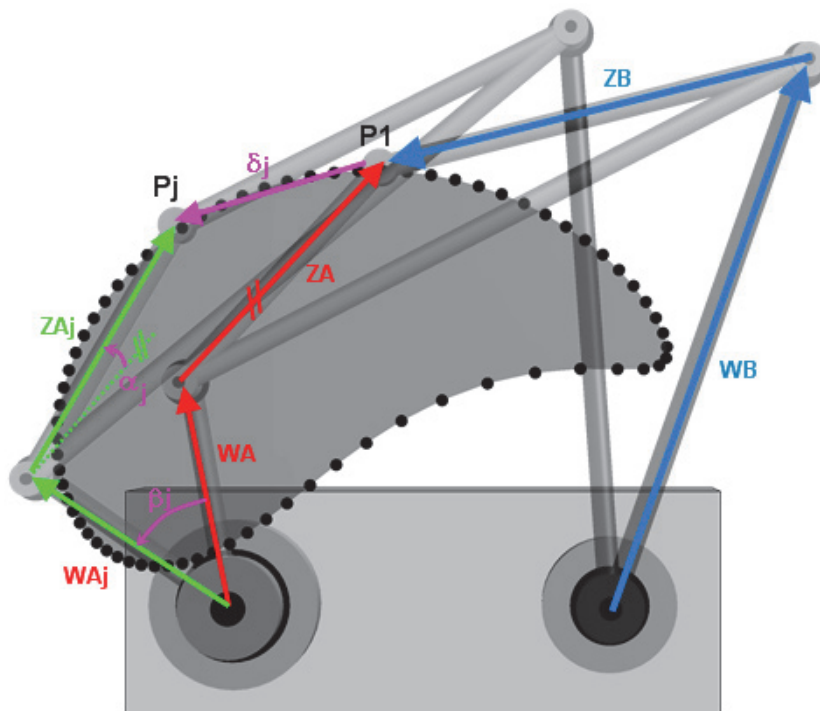


Figura 4.1.- Dos posiciones diferentes de un mecanismo de cuatro barras. Podemos ver que el punto P se mueve desde P1 hasta Pj, así  $\delta_j$  se define como el vector desplazamiento de un punto perteneciente a la barra acopladora del mecanismo cuando la barra A rota un ángulo  $\beta_j$ . El lector puede ver también como dividimos el mecanismo en dos díadas: A y B

Estamos ahora en disposición de observar que las longitudes de los vectores  $\mathbf{WA}$  y  $\mathbf{ZA}$  son constantes a lo largo de todas las posiciones de la máquina, por tanto sucede que

$$\begin{aligned} |\mathbf{WA}_j| &= |\mathbf{WA}| \\ |\mathbf{ZA}_j| &= |\mathbf{ZA}| \end{aligned} \quad (4.2)$$

De hecho, en la Figura 4.1 también podemos apreciar que de la posición inicial a la posición  $j$ , lo único que está sucediendo es que los vectores  $\mathbf{WA}$  y  $\mathbf{ZA}$  realizan un movimiento compuesto de traslación y rotación, así  $\mathbf{WA}$  sólo está rotando un ángulo de valor  $\beta_j$ , mientras que  $\mathbf{ZA}$  se está desplazando según el vector  $\delta_j$  y además está rotando un ángulo de valor  $\alpha_j$ , por tanto, y recuperando la notación de matemática imaginaria, se puede plantear lo siguiente:

$$\begin{aligned} \mathbf{WA} &= |\mathbf{WA}| (\cos(\theta_1) + i \sin(\theta_1)) = e^{i\theta_1} |\mathbf{WA}| \\ \mathbf{WA}_j &= |\mathbf{WA}_j| (\cos(\beta_j + \theta_1) + i \sin(\beta_j + \theta_1)) = e^{i(\beta_j + \theta_1)} |\mathbf{WA}_j| \\ \mathbf{ZA} &= |\mathbf{ZA}| (\cos(\varphi_1) + i \sin(\varphi_1)) = e^{i\varphi_1} |\mathbf{ZA}| \\ \mathbf{ZA}_j &= |\mathbf{ZA}_j| (\cos(\alpha_j + \varphi_1) + i \sin(\alpha_j + \varphi_1)) = e^{i(\alpha_j + \varphi_1)} |\mathbf{ZA}_j| \end{aligned} \quad (4.3)$$

Donde,

$\alpha_j$ , corresponde al ángulo de rotación relativa a la posición inicial sufrida por la barra representada por  $\mathbf{ZA}$ , entre la posición inicial  $i$  la posición  $j$ .

$\alpha_j$ , es el ángulo de rotación relativo a la posición inicial barrido por la barra  $\mathbf{WA}$ , entre la posición inicial  $i$  la posición  $j$ .

$\theta_j$ , es el ángulo de fase de  $\mathbf{WA}$  en su posición inicial, tomado respecto a un origen de coordenadas global.

$\varphi_j$ , es el ángulo de fase de  $\mathbf{ZA}$  en su posición inicial, tomado respecto a un origen de coordenadas global.

## Síntesis dimensional analítico-exacta de Guiado de Cuerpo Rígido...

Si ahora reordenamos la expresión 4.1 tenemos

$$-WA - ZA + WA_j + ZA_j = \delta_j \quad (4.4)$$

A la que podemos añadir las expresiones de 3, y las igualdades de 2. Así tras simplificar resulta

$$(-1 + e^{i\beta_j}) WA + (-1 + e^{i\alpha_j}) ZA = \delta_j \quad (4.5)$$

Expresión esta última que nos sirve para plantear el problema de síntesis dimensional de mecanismos entre dos posiciones especificadas, fíjese el lector que normalmente, -en un problema real de diseño-, se van a conocer los vectores  $\delta_j$ , pues estos son los desplazamientos entre los diversos lugares  $P_j$  por donde queremos que pase algún punto de la barra acopladora del mecanismo.

Obsérvese que el concepto de la expresión 4.5 no es el de localizar una u otra barra del mecanismo, si no el de relacionar diversas posiciones secuenciales entre sí, entonces, tiene mucha lógica que los ángulos  $\theta_j$  y  $\varphi_j$  no aparezcan en dicha ecuación, pues estos implicarían pensar en movimientos absolutos, no en relativos. Comentamos también que la expresión 4.5 nos sirve para modelar matemáticamente la díada A, pero del mismo modo podemos plantear las mismas expresiones para la díada B.

Por último, queremos hacer reflexionar sobre el número de incógnitas que presenta esta expresión, tal como hemos comentado unas líneas arriba, normalmente conocemos  $\delta_j$  a la hora de enfrentarnos a este problema, en cambio, no conocemos:

- Los vectores **WA** y **ZA**: esto implica desconocer dos pares de coordenadas, o sea, cuatro valores (el planteamiento de la díada es bidimensional, y por eso hablamos de parejas de valores, aunque posteriormente nosotros lo apliquemos a la resolución de problemas en el espacio).
- Los ángulos  $\beta_j$ , son también desconocidos, pues no sabemos cuánto ha de girar WA para que la máquina llegue a pasar por un punto en concreto del plano.

En lo referente a los ángulos  $\alpha_j$ , pueden ser también desconocidos, aunque normalmente es útil imponerlos como dato, pues estos valores son los que van a indicar la inclinación de la barra acopladora en cada una de las posiciones de paso a especificar. O sea, el tipo de síntesis que queremos resolver es el de orientación de sólido rígido, uno de los más útiles a nivel industrial: imaginemos por ejemplo que queremos manipular un tornillo Allen (DIN912/ISO4762) para llevarlo de un origen a un punto intermedio y de aquí a un punto final. Supóngase que en el punto intermedio vamos a querer inspeccionar la cabeza del tornillo para ver si la ranura tipo Allen está bien o presenta algún fallo, podemos por ejemplo colocar en esa posición intermedia una cámara de visión artificial para que ésta tome una fotografía de la cabeza y posteriormente un ordenador compare la imagen obtenida con un patrón previamente establecido. Así, ante esta situación, fíjese el lector que no sólo es importante que el tornillo pase por tres puntos, origen, medio y final, si no que además lo ha de hacer con una orientación respecto a la posición inicial concreta, pues la ranura del tornillo ha de quedar en una posición ortogonal al punto de vista de la cámara, esto redundando por tanto en  $\alpha_2$  conocida.

Así pues, podemos observar que de manera habitual, la expresión 4.5, nos implica resolver 5 incógnitas: las dos coordenadas de  $WA$ , las dos coordenadas de  $ZA$  y el ángulo  $\beta_j$ . Por tanto la situación ante esta expresión es la de 5 incógnitas escalares a resolver a través de dos ecuaciones escalares, pues la expresión 4.5 es vectorial, y tiene por tanto dos dimensiones, cosa que implica dos ecuaciones una para el eje horizontal y otra para el vertical, eje imaginario en nuestras expresiones.

### 4.1.1 Cantidad de puntos de precisión especificados

Una pregunta de interesante respuesta es la que se puede formular el lector sobre el número o cantidad máxima de orientaciones y puntos de paso que podemos especificar ante un problema de síntesis dimensional de mecanismos.

Acabamos de ver que para el problema de dos posiciones prescritas con orientación conocida, expresión 4.5, nos enfrentamos a 2 ecuaciones con 5 incógnitas, cosa que implica que para poder hallar una solución concreta hemos de reducir el número de incógnitas a 2, o lo que es lo mismo hemos de aportar 3 valores adicionales a las condiciones de contorno del problema para finalmente hallar una solución. Una posibilidad muy interesante ante este problema es poder especificar la ubicación de la articulación fija, esto es el origen de  $WA$ , con esto, aportaríamos dos valores, las coordenadas horizontal y vertical de dicho punto, con la tercera opción libre podemos ir iterando  $\beta_j$ , dentro del rango que nos interese, puede ser por ejemplo haciendo variar el valor de  $\beta_j$  entre 0 y  $2\pi$

En el caso de dos posiciones pues, podríamos generar un algoritmo de cálculo como el siguiente:

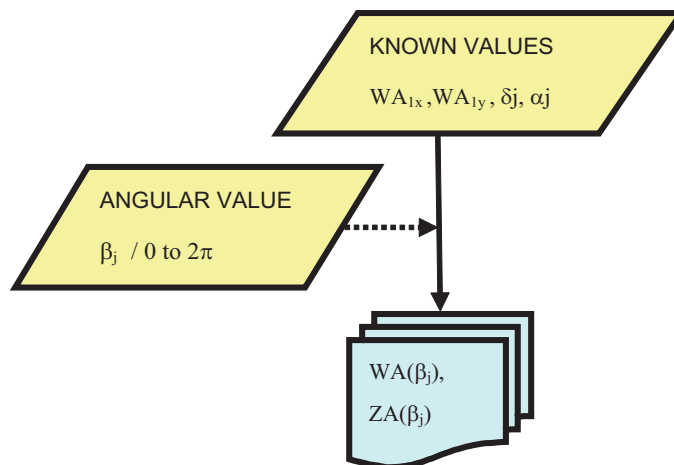


Figura 4.2.- Algoritmo computacional para resolver el problema de dos posiciones prescritas con orientación en el que alimentamos el sistema de ecuaciones con todos los valores posibles de  $\beta_2$

Como resultado iríamos obteniendo longitudes de barras en función del valor de  $\beta_j$  usado para calcularlas, deberíamos entonces escoger de entre todas las obtenidas para poder diseñar nuestro mecanismo final. Podría ser útil graficarlas y ver sus ventajas e inconvenientes en cada caso.



## Síntesis dimensional analítico-exacta de Guiado de Cuerpo Rígido...

En el caso de tres posiciones prescritas con especificación de orientación, nos hallamos ante el siguiente sistema de dos ecuaciones vectoriales, que se desprende de la anterior expresión 4.5:

$$\begin{aligned} (-1 + e^{i\beta_2}) \mathbf{WA} + (-1 + e^{i\alpha_2}) \mathbf{ZA} &= \delta_2 \\ (-1 + e^{i\beta_3}) \mathbf{WA} + (-1 + e^{i\alpha_3}) \mathbf{ZA} &= \delta_3 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Donde

$\beta_j$  es el ángulo barrido por  $\mathbf{WA}$  entre la posición 1 y la  $j$ .

$\alpha_j$  es el ángulo barrido por  $\mathbf{ZA}$  entre la posición 1 y la  $j$ .

$\delta_j$  es el vector desplazamiento de la posición 1 a la  $j$ .

Análogamente al caso anterior, tenemos ahora 4 ecuaciones escalares y 6 incógnitas (hemos añadido  $\beta_3$ ).

Así, vamos a tener que aportar 2 valores numéricos adicionales para obtener solución. Hay múltiples posibilidades, por ejemplo imponer el origen del vector  $\mathbf{WA}$ , tal como hemos sugerido anteriormente en el caso de dos posiciones. Otra opción muy interesante en este caso es la que no impone la ubicación de articulaciones fijas a cambio de aportar valores para  $\alpha_j$  y  $\beta_j$ , esto se puede hacer por ejemplo fijando en un valor concreto uno de los dos parámetros angulares anteriores para posteriormente hacer variar al otro entre 0 y  $2\pi$ . Así, resolviendo la expresión 4.6 con estos ángulos, se van obteniendo puntos que van trazando círculos, estos círculos son lugares geométricos en los que el diseñador puede ubicar las articulaciones fijas (círculos  $M$ ) y las articulaciones móviles (círculos  $K$ ).

Para el caso de 4 posiciones con orientación prescrita, el sistema de ecuaciones vectoriales que hemos de resolver es el siguiente:

$$\begin{aligned} (-1 + e^{i\beta_2}) \mathbf{WA} + (-1 + e^{i\alpha_2}) \mathbf{ZA} &= \delta_2 \\ (-1 + e^{i\beta_3}) \mathbf{WA} + (-1 + e^{i\alpha_3}) \mathbf{ZA} &= \delta_3 \\ (-1 + e^{i\beta_4}) \mathbf{WA} + (-1 + e^{i\alpha_4}) \mathbf{ZA} &= \delta_4 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Donde, igual que en el caso anterior,

$\beta_j$  es el ángulo barrido por  $\mathbf{WA}$  entre la posición 1 y la  $j$ .

$\alpha_j$  es el ángulo barrido por  $\mathbf{ZA}$  entre la posición 1 y la  $j$ .

$\delta_j$  es el vector desplazamiento de la posición 1 a la  $j$ .

Así, vemos que para el caso de 4 posiciones con orientación especificada va a suceder que vamos a tener 6 ecuaciones con 7 incógnitas, esto lo podemos solventar aportando un valor angular desconocido, por ejemplo podemos utilizar  $\beta_2$  para darle valores que vayan de 0 a  $2\pi$ , así para cada valor simiente de este parámetro angular vamos a poder resolver el sistema de ecuaciones de la expresión 4.7, obteniendo así valores de  $\mathbf{WA}(\beta_{2i})$  y  $\mathbf{ZA}(\beta_{2i})$ . El

resultado de este proceso es conocido como curvas de Burmester<sup>33</sup>, curvas que muestran todas las posibles ubicaciones de las articulaciones fijas y móviles para todos los posibles mecanismos de 4 barras que pasen por las coordenadas especificadas con la orientación deseada. Podemos ver una de estas curvas en la Figura 4.4.

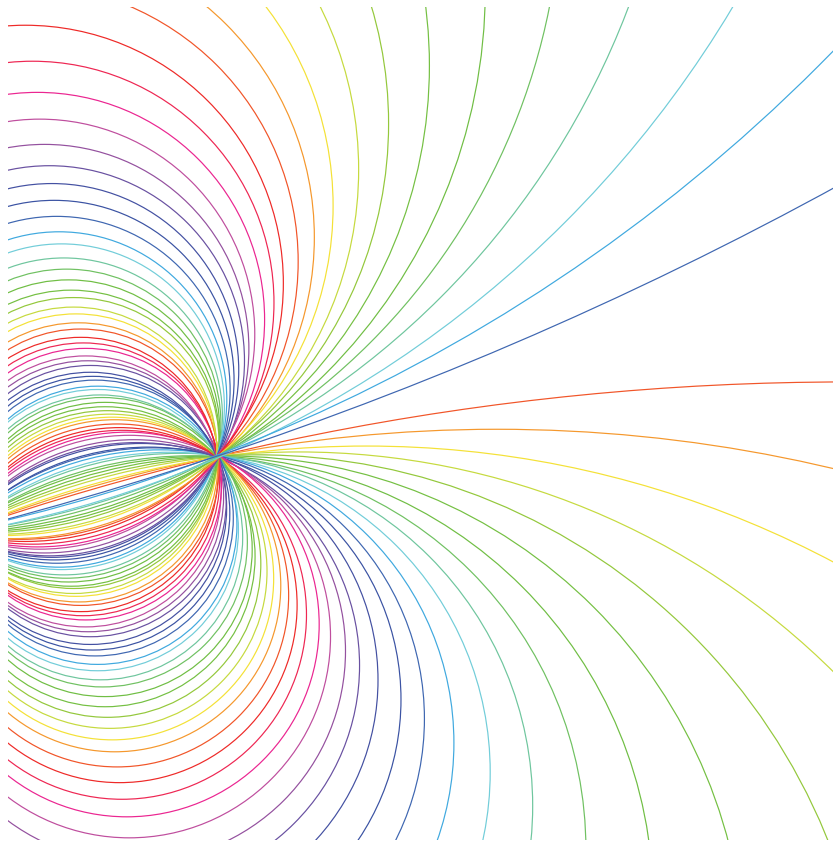


Figura 4.3.- Puntos M. Todos estos puntos son el lugar geométrico donde podemos colocar articulaciones fijas de un mecanismo articulado de cuatro barras. Esta gráfica fue calculada durante el proceso de diseño de un manipulador industrial, en el que se prescribieron 3 puntos con orientación. Podemos observar que existen infinitas soluciones.

En cambio, en el caso de 5 posiciones con orientación especificada vamos a encontrarnos con 8 ecuaciones y 8 incógnitas. Podemos seguir adelante para el de 6 posiciones, en el que tendremos 10 ecuaciones con 9 incógnitas, caso que ya no vamos a poder resolver, pues sucede nos sobran ecuaciones, o lo que es lo mismo, nos faltan incógnitas. Por tanto, el lector se da cuenta de que el número máximo de posiciones con orientación que podemos resolver es de cinco. A continuación mostramos una tabla donde se resume el número de posiciones y sus implicaciones en cada caso:

<sup>33</sup> Ludwig Ernst Hans Burmester (1840-1927). Introdujo técnicas gráficas para realizar síntesis de mecanismos a finales del siglo XIX. Entre otros, en 1888 desarrolló una aproximación a la teoría de mecanismos a partir de los estudios realizados previamente por Reuleaux.

## Síntesis dimensional analítico-exacta de Guiado de Cuerpo Rígido...

<i>Posiciones Prescritas con orientación</i>	<i>Incógnitas</i>	<i>Elecciones Libres</i>	<i>Solución</i>
<i>1</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	$\infty$
<i>2</i>	<i>7</i>	<i>3</i>	$\infty$
<i>3</i>	<i>8</i>	<i>2</i>	$\infty$
<i>4</i>	<i>9</i>	<i>1</i>	$\infty$
<i>5</i>	<i>10</i>	<i>0</i>	<i>Finita</i>
<i>6 o más</i>	<i>11</i>	<i>-1</i>	<i>Ninguna</i>

Tabla 4.1.- Número de soluciones obtenidas en función de la cantidad de posiciones con orientación prescritas. Cuando hablamos de síntesis exacta, no es posible indicar más de 5 posiciones con orientación.

Como podemos ver en la tabla anterior, sólo es posible obtener una cantidad finita de soluciones en el caso de imponer 5 posiciones con orientación. Por tanto, a primera vista, este es el caso perfecto, pues no se ha de iterar nada, sólo va a ser necesario resolver una sola vez, aunque con bastante trabajo matemático, un sistema de ocho ecuaciones con ocho incógnitas escalares, para hallar la solución final a nuestro diseño, desafortunadamente, podemos encontrarnos con varios inconvenientes que nos van a hacer evitar siempre que sea posible el hecho de especificar 5 posiciones:

- En primer lugar puede ser que las soluciones obtenidas sean imaginarias, esto es, que el sistema de ecuaciones tenga solución pero que no nos proporcione ningún mecanismo posible, eso querría decir que no existe ningún mecanismo de 4 barras que pase exactamente por esos cinco puntos con esas orientaciones.
- En segundo lugar, suponiendo que exista alguna solución real, y por tanto no imaginaria, puede suceder que el o los mecanismos solución no puedan ser ensamblados o ubicados en el lugar donde deben desempeñar su función: por ejemplo podemos hallar un mecanismo con una barra de 2 km de longitud, que va a ser imposible de fabricar, o podría ser que tuviésemos una articulación fija en algún lugar donde el entorno de la máquina no nos lo permita, o que la máquina pase por todos los puntos con las orientaciones indicadas pero que lo haga en un orden inaceptable para nuestras necesidades, o quizás la o las máquinas solución choquen o tengan alguna interferencia con el entorno donde se ha de ensamblar el mecanismo, etc.

Así parece que el “mejor” método para sintetizar mecanismos indicando puntos de precisión y orientaciones consiste en especificar sólo cuatro puntos, pues de esta manera podemos indicar una cantidad “máxima” de posiciones y orientaciones a cumplir sin limitarnos excesivamente en el proceso de diseño, o sea, sin obligarnos a especificar ubicación de articulaciones fijas u otras restricciones equivalentes.

Claro está que indicar sólo 4 puntos y 4 orientaciones genera infinitas soluciones, por tanto tenemos el inconveniente de estar obligados a buscar de entre ellas para poder encontrar la solución óptima para nuestras necesidades, pero a la vez, este mismo inconveniente se convierte en una clara ventaja, pues tener un conjunto infinito de soluciones nos permite tener muchas más probabilidades, aunque no la total certeza, que en el caso de cinco puntos de encontrar un mecanismo factible que se adapte a nuestras necesidades.

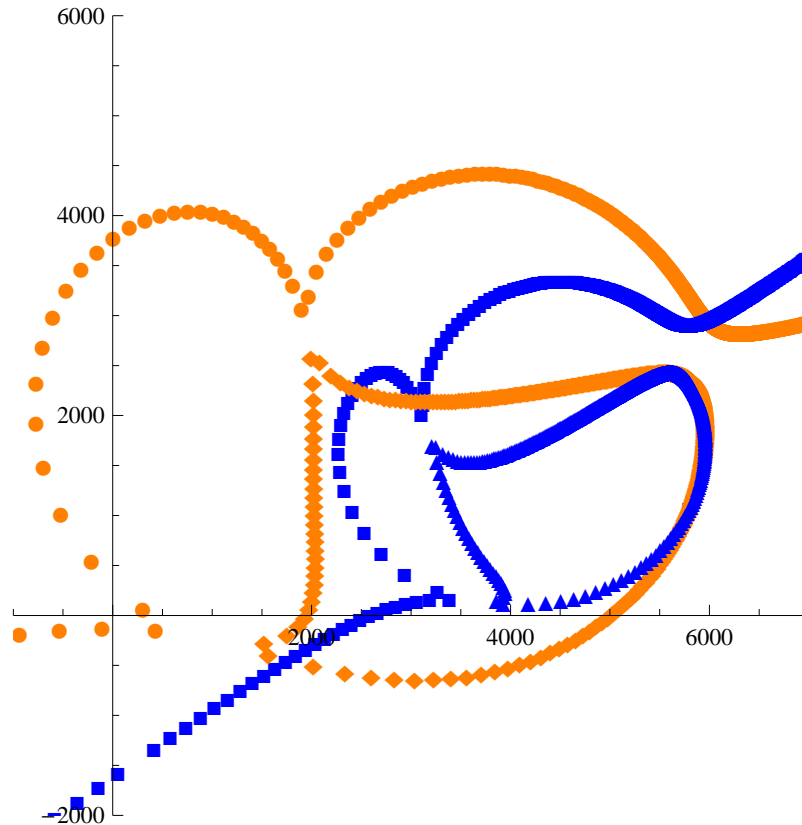


Figura 4.4.- Curvas resultantes al abordar el proceso de diseño de una pequeña excavadora especificando 4 posiciones con orientación. Estas curvas se conocen como curvas de Burmester. En el ejemplo mostrado las curvas naranjas representan los puntos M, articulaciones fijas, mientras que los puntos azules se conocen como puntos K y representan posibles ubicaciones para articulaciones móviles.

Cabe aclarar al lector que especificando los 4 puntos y sus orientaciones es posible, - aunque mucho menos probable que en el caso de los 5 puntos-, que tampoco hallemos ninguna solución factible, pues puede ser que ninguna de las infinitas soluciones tenga las articulaciones fijas donde nosotros necesitamos, o puede ser que hallemos mecanismos que transcurran por los 4 puntos indicados pero que no lo hagan en el orden que nosotros querríamos. Si sucediera alguna de estas cosas el diseñador tendría dos opciones:

- Cambiar los puntos de paso u orientaciones
- Buscar un mecanismo de 4 barras que pase por menos puntos: 3 puntos por ejemplo.
- Buscar un mecanismo de otro tipo: manivela-biela-corredera, o de 5 o más barras.

## Síntesis dimensional analítico-exacta de Guiado de Cuerpo Rígido...

---

*Presentamos en la Figura 4.4 un ejemplo del resultado que se obtiene al buscar un mecanismo articulado de 4 barras que pase por 4 puntos con un orientación concreta, este es un caso utilizado en el diseño de una excavadora de pequeñas dimensiones.*

*Como ya hemos dicho anteriormente, este tipo de curvas se llaman curvas de Burmester, y localizan ubicaciones de articulaciones fijas, llamadas puntos  $M$  (naranja en la gráfica), y ubicaciones posibles de articulaciones móviles, llamadas puntos  $K$ , de color azul. Los ejes de las gráficas representan el plano real, y las medidas están en milímetros. Hemos querido enseñar esta gráfica para mostrar al lector que aunque la solución sea de dimensión infinita, es totalmente posible no hallar ningún mecanismo que nos satisfaga: por ejemplo pudiera ser que quisiéramos colocar una articulación fija (punto  $M$ , color naranja) cerca de la coordenada  $(6000,6000)$ , como vemos, en este caso, esto sería imposible.*

*Cada punto  $M$  tiene su punto  $K$  equivalente, así si queremos usar uno de los puntos azules como articulación fija, tenemos la obligación de usar su punto  $M$  asociado, y no otro, como articulación móvil de esa barra. Por otro lado, si comparamos las figuras 3 y 4, podemos ver que aunque en el caso de tres y cuatro posiciones resulta un grupo con infinitos mecanismos solución, en el caso de cuatro posiciones, esa cantidad de posibles soluciones es bastante menor, esta es otra buena razón para usar el enfoque de cuatro posiciones con orientación.*

# 5

---

## **Primeros pasos. Análisis de mecanismos con ATiCA<sub>4b</sub>**

*A modo de resultado embrionario de la presente investigación, y con la intención de familiarizarnos con el comportamiento de los mecanismos articulados de cuatro barras, decidimos generar una aplicación informática que aborde el problema del análisis de estas máquinas, así en 2010 creamos la herramienta ATiCA<sub>4b</sub> (Aplicación Trazadora e Interactiva de Curvas de Acoplador de mecanismos articulados de Cuatro Barras): un simulador de análisis de mecanismos articulados de cuatro barras programado íntegramente en Mathematica [16].*

*Este código se presentó en comunicación oral, categoría de “Planificación, estrategias y recursos docentes en el aula universitaria”, en CIDUI 2010, Congreso Internacional de Docencia Universitaria e Innovación, el pasado 1 de julio de 2010, y es el primer resultado palpable de nuestro trabajo.*

*En dicho evento, dimos a conocer esta herramienta informática de utilidad para enseñar y aprender temas clave de cinemática de mecanismos: curvas de acoplador, tipologías y significado, implicaciones cinemáticas de las diversas geometrías de curvas y posiciones de agarrotamiento de mecanismos. Además la aplicación quiere también convertirse en una herramienta con la que los ingenieros en la Industria puedan simular el movimiento y comportamiento de estas máquinas.*

### **5.1 El simulador ATiCA<sub>4b</sub>**

*El simulador cinemático de mecanismos ATiCA<sub>4b</sub>, es una herramienta que permite simular el movimiento de mecanismos articulados de cuatro barras, a la vez que trazar la curva de acoplador descrita por un punto cualesquiera de la barra acopladora del mecanismo.*

*Destacamos que ATiCA<sub>4b</sub> está pensado y diseñado para que su uso no requiera ningún conocimiento previo de cinemática, esto es de extrema importancia, pues permite al docente usarla desde el primer día de clase, con conceptos básicos, hasta el último, con conceptos más complejos.*

## Primeros pasos. Análisis de mecanismos con ATiCA<sub>4b</sub>

El proceso de diseño de ATiCA<sub>4b</sub> ha perseguido en todo momento la obtención de una interfaz clara, simple y concisa, así el simulador está dividido en tres zonas: control de animación, variación de parámetros y visualización de resultados. En la primera el usuario dispone de diversos botones para dominar el movimiento del mecanismo: avanzar, retroceder, repetir, etc. En la segunda zona, hemos colocado controles de corredera con los que poder variar dinámicamente las medidas de la máquina, finalmente la zona de visualización muestra los cambios en las medidas del mecanismo, el movimiento descrito, los desplazamientos del punto de acoplador y la curva de acoplador, que se obtienen calculando múltiples posiciones cada cinco grados de giro del elemento motor, con esta información, el usuario puede observar trayectorias pero también velocidades del punto de acoplador, pues la separación entre sus diversas posiciones es proporcional a su velocidad. Por ejemplo, en la Figura 5.1, podemos apreciar como la curva de acoplador calculada presenta separaciones diversas en función de la posición de la barra motriz, verde en esta figura. Así, si se tiene en cuenta que la barra motriz, se mueve siempre a velocidad constante, puede deducirse que a mayor separación entre puntos perimetrales de la curva de acoplador, mayor velocidad del punto acoplador del mecanismo, pues éste está recorriendo más espacio en un mismo intervalo de tiempo.

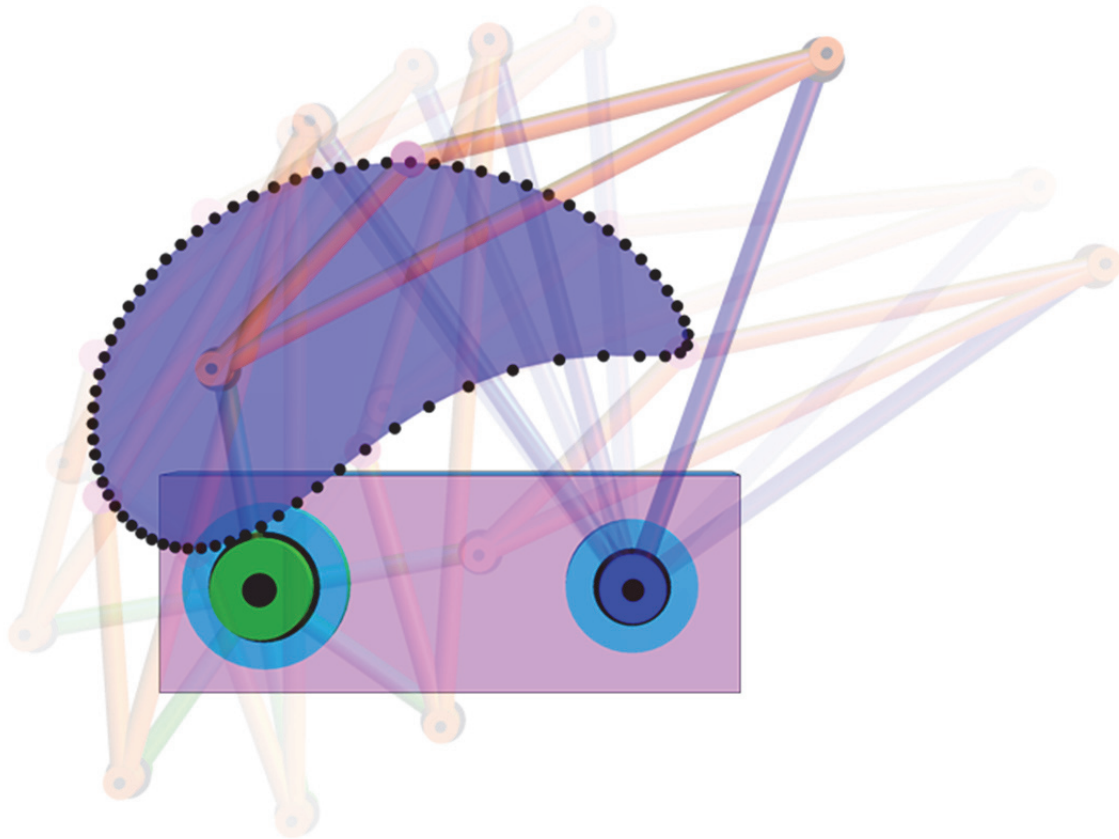


Figura 5.1.- Simulación con ATiCA<sub>4b</sub>: diversas posiciones de un mismo mecanismo de cuatro barras con unas determinadas medidas elegidas por el usuario. Se observan también las diversas posiciones, los puntos gruesos, que va ocupando el punto de acoplador a lo largo del tiempo.

ATiCA<sub>4b</sub> es además una herramienta elástica: el usuario puede ampliar o cambiar su funcionalidad a voluntad, modificando o introduciendo unas líneas de código. Esto amplía infinitamente las posibilidades de la aplicación a docentes, estudiantes y profesionales.

## 5.2 El proceso interno de cálculo

Nuestro simulador parte de un mecanismo simiente, con el que inicializar la interfaz y con el que aportar el mecanismo por defecto al usuario en el momento de arrancar la aplicación. Así, damos valores iniciales a  $r_i$  y a  $\theta_i$ , -recordar apartado 3.1-, con los que iniciar el simulador, estos son todas las longitudes y direcciones de las barras del mecanismo, ver ecuación 3.5.

Cuando el usuario cambia el ángulo de la barra motriz, esto es el ángulo del motor de entrada, está modificando el valor de  $\theta_1$ , con lo que el programa ha de recalcular, mediante la ecuación 3.5, los otros tres ángulos  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  y  $\theta_4$ . Como anteriormente se ha comentado,  $r_4$  representa la barra de referencia, que consideramos sin movimiento, así durante todo el cálculo,  $\theta_4$  será constante, pues la orientación de esta barra no es sensible a las variaciones de ángulo de giro del motor. Así, sólo deberemos recalcular  $\theta_2$  y  $\theta_3$ . Cosa que aparentemente no entraña ninguna dificultad especial a parte de la de resolver la ecuación 3.5: un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas.

En realidad el problema es algo más complejo, pues al intentar resolver dicho sistema de ecuaciones, tenemos efectivamente dos incógnitas, pero estas desafortunadamente están encerradas en funciones trigonométricas, con lo que nos encontramos varias soluciones posibles para un mismo ángulo motriz de entrada, pues nos hemos de enfrentar a expresiones con funciones trigonométricas inversas. Así, para que ATiCA<sub>4b</sub> pueda resolver este problema hemos diseñado un algoritmo especial que escoge de entre las diversas soluciones posibles la más cercana a la anterior posición correcta, de esta manera el simulador pasa de una posición correcta a la siguiente sin ningún salto.

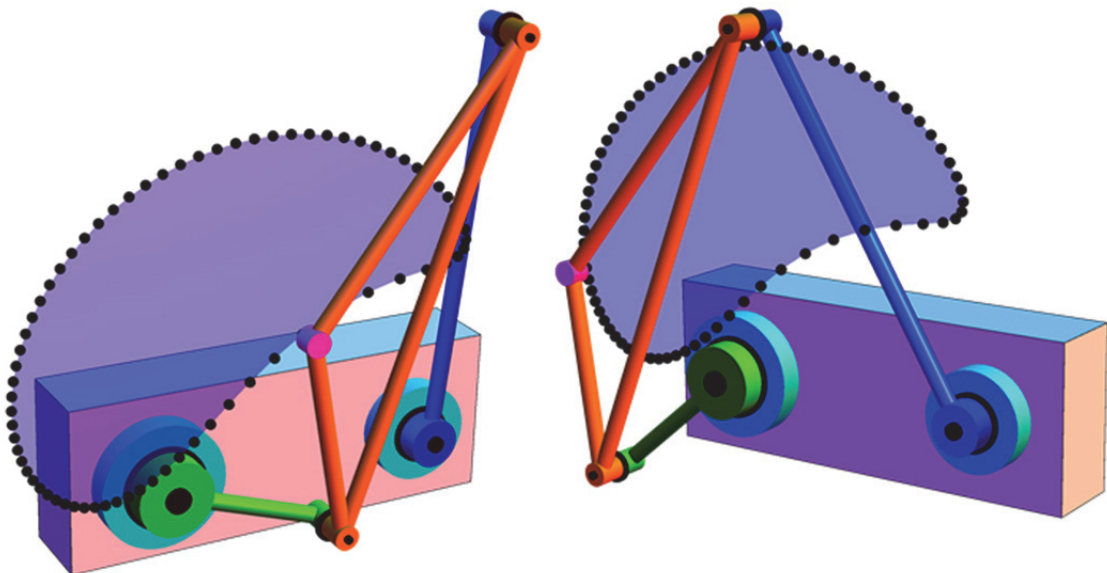


Figura 5.2.- Resultados de una simulación con ATiCA<sub>4b</sub>. Dos puntos de vista de un mismo mecanismo con diferente valor de  $\theta_1$ , o sea con la barra motriz en posiciones diferentes. Se puede observar que en ambos casos el punto de acoplador se mueve sobre la curva de acoplador, y además se percibe que sea cual sea el punto de vista o la posición del motor, la curva de acoplador es igual para los dos casos, pues de hecho estamos hablando de la misma máquina, mismas medidas.



## Primeros pasos. Análisis de mecanismos con ATiCA<sub>4b</sub>

Puede sorprender al lector el hecho de que en la Figura 5.2 presentamos la interfaz de usuario con una vista del mecanismo en 3 dimensiones, habiendo planteado la resolución matemática en dos dimensiones.

Efectivamente, el mecanismo de 4 barras describe movimientos siempre inscribibles en un plano, o si se prefiere en diversos planos todos ellos paralelos entre sí, por ese motivo, las ecuaciones implicadas en su resolución tienen dos dimensiones: real e imaginaria en nuestro caso. Ahora bien, el mecanismo real ha de tener tres dimensiones, pues si hacemos que todos los movimientos sucedan en el mismo plano vamos a encontrarnos con interferencias entre eslabones o barras de la máquina. Así, el planteo matemático necesita dos dimensiones como mínimo, mientras que la máquina real requiere de la tercera dimensión para evitar colisiones, interferencias o impactos entre miembros de esta.

Debido a lo que acabamos de escribir, y teniendo en cuenta que ATiCA<sub>4b</sub> no utiliza ningún programa externo como motor gráfico, resulta que nuestro simulador tiene bastantes líneas de código dedicadas a la representación en tres dimensiones del resultado numérico obtenido con la ecuación 3.5.

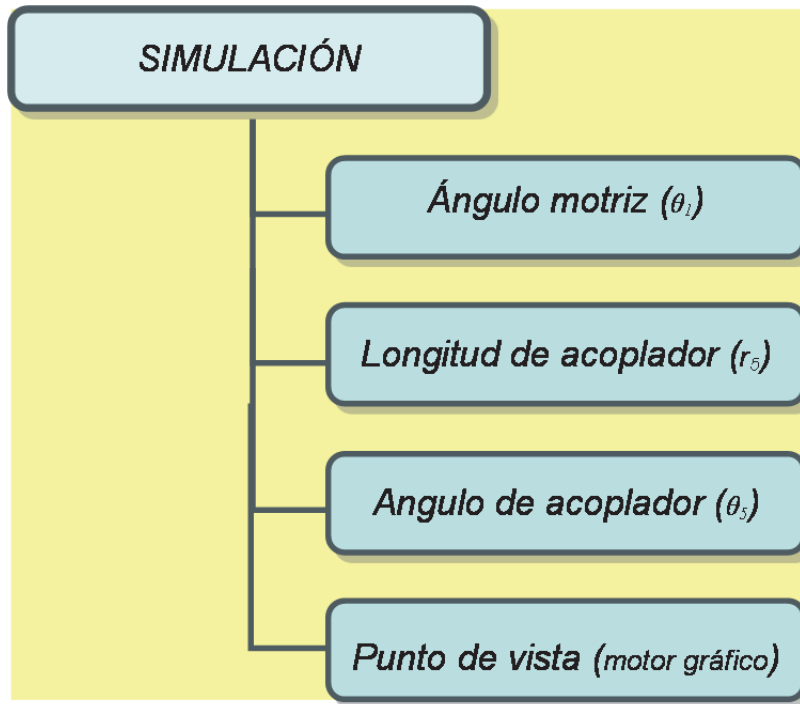


Figura 5.3.- Funcionamiento interno de ATiCA<sub>4b</sub>, en cualquier momento el usuario puede variar medidas y punto de vista del problema. La simulación se actualizará inmediatamente. El motor gráfico del simulador está continuamente animando el movimiento y a la vez cambiando el punto de vista del observador.

Así pues, hemos programado en nuestro simulador numerosas funciones y subrutinas que nos permiten mostrar al usuario con calidad semi-realística la animación de estas máquinas: incorporamos por ejemplo una textura transparente para poder ver objetos que están detrás de otros, además de brillos, reflejos, colores, etc.

Dicho esto podemos ser conscientes del considerable peso computacional que tiene la parte gráfica del simulador, que se suma al ya requerido por la parte puramente matemática, ya esbozada anteriormente. Recordamos que el simulador está continuamente calculando, mostrando resultados y siendo sensible a las variaciones que el usuario pueda querer introducir. Todo este proceso computacional está representado en la Figura 5.3.

### 5.3 La interacción con ATiCA<sub>4b</sub>

En todo momento se ha perseguido una muy intuitiva interacción entre ATiCA<sub>4b</sub> y sus usuarios. Por esto se ha optado por una interfaz que no exige entradas numéricas, aunque si el usuario lo desea, puede introducir también valores. De esta manera las personas que ejecutan el simulador no tienen por qué tener ningún conocimiento sobre cinemática de mecanismos, convirtiéndose así en la única aplicación, al menos que nosotros sepamos, que es útil a neófitos y a expertos, o sea de utilidad desde la primera semana de clase hasta la última.

Los mismos controles de corredera de la Figura 5.4, pueden ampliarse, seleccionando el signo “+” de la derecha para transformarse en los de la Figura 5.5.

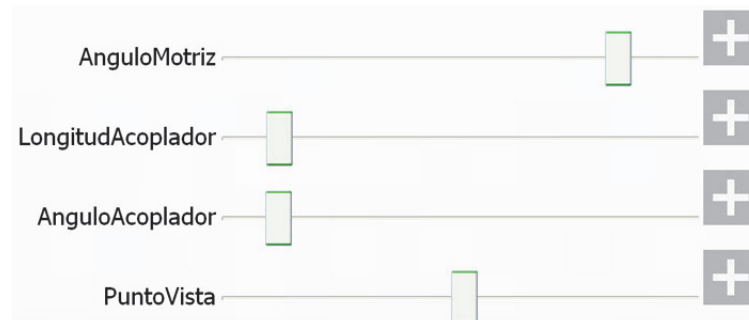


Figura 5.4.- Interfaz de usuario del simulador ATiCA<sub>4b</sub>, permite modificar los parámetros de control simplemente arrastrando controles de corredera.

Así, presentamos de manera muy compacta todas las acciones que podemos solicitar a nuestro simulador, ver Figura 5.5, de izquierda a derecha y en cada uno de los cuatro controles disponemos de 7 sub-controles con los siguientes usos:

- Introducir valor numérico concreto.
- Disminuir el valor del control de corredera.
- Reproducir la animación de manera continua / Pausar la animación.
- Aumentar el valor del control de corredera.
- Animar más rápidamente.
- Animar más lentamente.
- Modo de animación: Adelante/Atrás/Continuo.



Figura 5.5.- Controles de corredera del simulador ATiCA<sub>4b</sub> ampliados. Entre otras utilidades, los controles en esta posición, permiten la introducción directa de valores numéricos.

Además, hemos dotado a la ventana de resultados de la posibilidad de orbitar: de manera sensible al botón principal del ratón, podemos cambiar también el punto de vista del observador. De un modo similar al comportamiento habitual de los programas CAD o al de los navegadores web con plug-in vrmf. Nuestra intención con esta simplificación de interfaz de usuario, es conseguir que las personas que se enfrenten a nuestro simulador lo puedan hacer directamente para aprender cinemática o para realizar cálculos y simulaciones cinemáticas, sin requerir ningún esfuerzo para familiarizarse con el simulador en cuestión.

De hecho, el problema habitual en las aulas con este tipo de herramientas es que los alumnos y alumnas han de aprender cinemática, pero antes, han de aprender a utilizar el simulador, cosa que en numerosas ocasiones, no es ni obvio ni rápido. Además se suele llegar al siguiente sinsentido: para aprender cinemática se ha de poder utilizar el simulador, pero para usar el simulador se ha de saber cinemática. Resultando en muchos casos, en una mala comprensión de la materia o en un ejercicio o práctica mal resueltos. Así, estamos aportando una herramienta, ATiCA<sub>4b</sub>, que facilita la docencia, el aprendizaje y el cálculo de esta materia.

## 5.4 Resultados

A continuación exponemos diversos resultados obtenidos con el simulador ATiCA<sub>4b</sub>.

Un primer concepto que se observa muy claramente en el simulador es el de la velocidad del punto de acoplador, pues a parte del hecho de que podemos animar el movimiento, y por tanto observar a simple vista la velocidad y sus variaciones, o sea la aceleración, tenemos también la opción de reflexionar al respecto de la separación entre puntos de paso del punto acoplador escogido, recordemos que la barra motriz rota a velocidad constante y que para cada cinco grados de giro de ésta, el simulador dibuja un punto de paso de la curva. Sabiendo esto, podemos plantear diversos dilemas a nuestros alumnos y nuestras alumnas,

pues en el fondo entre punto y punto de la curva transcurre siempre la misma cantidad de tiempo.

Otro aspecto de ATiCA<sub>4b</sub> directamente aprovechable para la docencia se centra en el análisis y la detección de cúspides y crúnodas, también observables animando el mecanismo, o bien con un poco de reflexión sobre la forma de la curva de acoplador relacionada con la separación entre sus puntos. Efectivamente cerca de la cúspide, ver figura 8b y 8c, los puntos están más cercanos entre sí, o sea, la velocidad es más baja, hasta llegar a anularse en la misma cúspide. Cabe aclarar que aunque la velocidad sea nula en este punto, la aceleración no lo es, pues la máquina presenta una aceleración positiva que la obliga a aumentar la velocidad.

Cabe decir que en la industria, no sólo puede ser útil conocer la existencia de cúspides y crúnodas, puede interesar por ejemplo hallar una trayectoria que intente parecerse a una línea recta, o quizás otra que presente un tramo que se asemeje a un círculo.

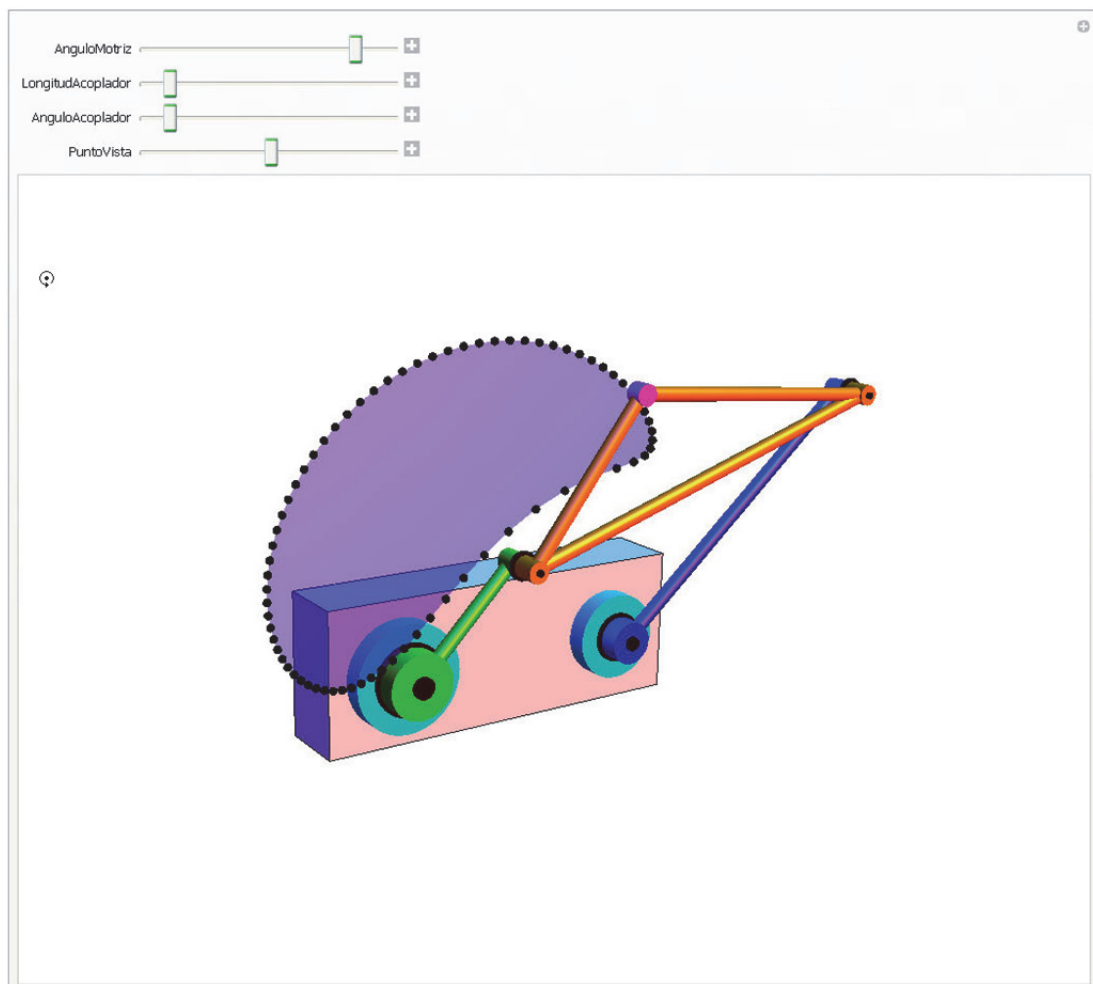
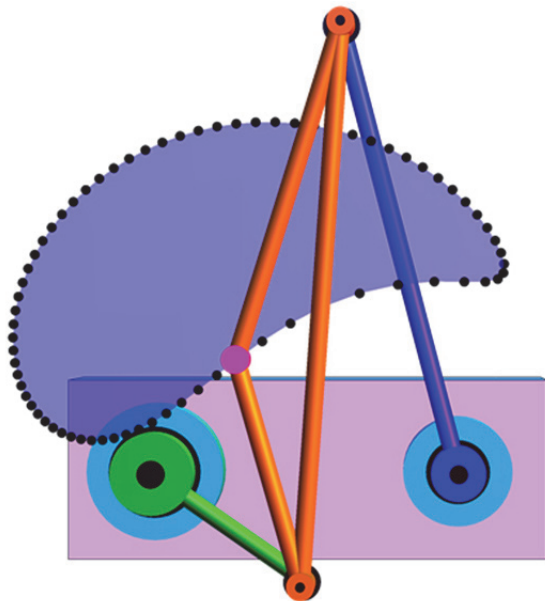
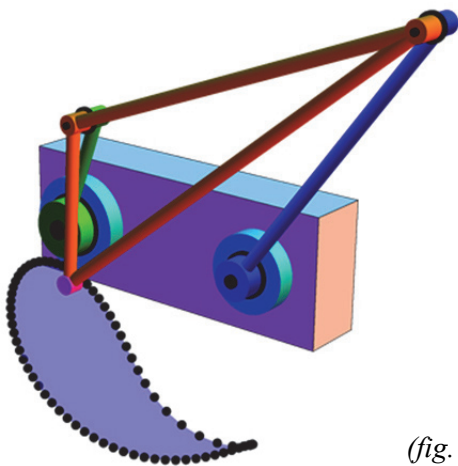


Figura 5.6.- Aspecto de ATiCA<sub>4b</sub>: en la parte superior las correderas con las que el usuario puede controlar al simulador, como ya hemos visto, esta parte es ampliable. En la parte inferior la ventana de resultados, donde se puede observar el mecanismo e interactuar con él. En esta zona, mediante el botón principal del ratón, el usuario puede cambiar el punto de vista con el que observar el movimiento y la curva acopladora resultante. Esto puede hacerse también en la zona de control de la parte superior de la interfaz.

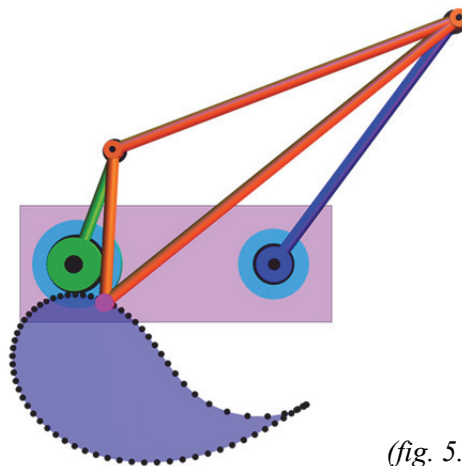


(fig. 5.7a)

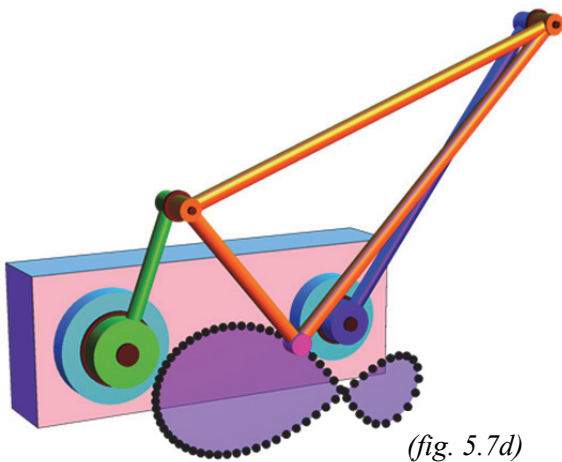
Figura 5.7.- Resultados obtenidos al modificar los parámetros del simulador. Con la intención de mejorar la comprensión, las figuras b y c, representan al mismo mecanismo pero observado bajo puntos de vista diferentes, hemos utilizado el mismo recurso con las figuras d y e. En el caso 5.7a, podemos percibir muy claramente la velocidad del punto de acoplador representado: a mayor separación entre puntos negros más velocidad. Es algo más abstracto, pero totalmente posible observar las aceleraciones, pues se trata de percibir las variaciones en la velocidad. En el caso de las figuras b y c nos hallamos ante una curva de acoplador un tanto especial, pues esta presenta una cúspide. Las figuras d y e, muestran una misma máquina que en este caso presenta una crúnoda, o sea una curva de acoplador que pasa dos veces por el mismo lugar pero con características cinemáticas diferentes, dicho sea de paso, efecto habitualmente molesto en la industria.



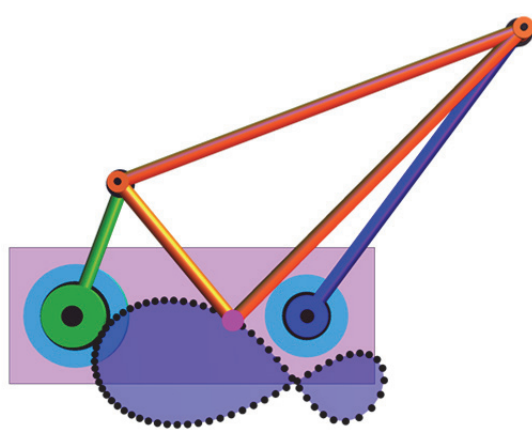
(fig. 5.7b)



(fig. 5.7c)



(fig. 5.7d)



(fig. 5.7e)

*De hecho las necesidades industriales son infinitas y pueden perseguir formas cualesquiera. Así pues, en el aula también podemos plantear problemas o proyectos similares, dicho sea de paso, impensables antes de poseer este simulador.*

*De la misma manera, y con una orientación muy similar, podemos plantear proyectos en los que un mecanismo deba desplazar un objeto, de dimensiones conocidas, de un lugar a otro. Y es más, después podemos resolver el mismo proyecto pero interponiendo obstáculos entre las posiciones extremas: esto requerirá de curvas de acoplador algo retorcidas o serpenteantes.*

*Claro está que también tenemos una herramienta de cálculo, pues aunque ésta no nos proporcione ningún valor numérico como resultado, si nos explica perfectamente como se mueve un punto cualquiera de la máquina en la posición que deseemos. Así, cuando el profesor propone un ejercicio de cinemática en que se deban hallar valores numéricos de un punto concreto, el alumno, como mínimo podrá utilizar esta herramienta para saber si sus resultados, entendiéndose sentidos de vectores velocidad o aceleración, valores aproximados de sus módulos, etc. coinciden con los proporcionados por el simulador, para hacer esto, estamos obligando a nuestro alumnado a interpretar, razonar y analizar el resultado gráfico que le proporciona ATiCA<sub>4b</sub>. Podrá saber por tanto si sus cálculos son o no resultados posibles para el ejercicio propuesto.*

*Podemos también hacer reflexionar a los estudiantes alrededor de los comportamientos que se obtienen cuando modificamos las longitudes de los eslabones, de esta manera, trabajaremos conceptos básicos, pero muy importantes alrededor del movimiento de cada una de las barras respecto a sus vecinas, criterio de Grashof, o de los tipos de mecanismos en función de las longitudes de sus miembros, etc.*

## 5.5 Conclusiones

*Nuestra herramienta facilita la comprensión de conceptos clave del ámbito de la cinemática de mecanismos como:*

- *El movimiento de mecanismos de cuatro barras*
- *Las tipologías de estos mecanismos según la longitud de sus miembros (criterio de Grashof)*
- *La existencia o no de posiciones de agarrotamiento*
- *Las tipologías de curvas de acoplador*
- *El significado y utilidad de cada una de las tipologías de curvas de acoplador*
- *La definición y uso de puntos característicos de estas curvas (cúspides, puntos dobles y puntos cíclicos)*

*Aportamos un simulador de mecanismos que no requiere ningún conocimiento previo de cinemática de mecanismos al usuario, esto es crucial para el docente, pues posibilita su uso desde el primer día de clase.*



# 6

---

## **Algunas herramientas de síntesis de mecanismos**

*Son muchas las herramientas informáticas asociadas al estudio de los mecanismos, pero hay que notar que si hablamos específicamente de síntesis de mecanismos la cantidad de aplicaciones disponibles se reduce drásticamente.*

*Así, en el presente capítulo tratamos algunas de las más conocidas herramientas de hoy en día relacionadas con el mundo de la síntesis de mecanismos, ya sean de procedencia empresarial o bien del ámbito docente o investigador. Somos conscientes que no las vamos a citar todas, y que seguro dejaremos a algunas de ellas en el tintero, pues nuestra intención con este capítulo no es la de abarcarlas en su totalidad, si no que nuestra pretensión es la de nombrar las más representativas, importantes o novedosas.*

### **6.1 LINCAGES**

*Su nombre es el acrónimo del inglés Linkage IInteractive Computer Analysis and Graphically Enhanced Synthesis.[12].*

*Lincages 2000 es la última versión disponible de este programa desarrollado por el Dr. Arthur G. Erdman, de la Universidad de Minnesota con una primera versión en los años 70 del siglo pasado que se ejecutaba primero sobre IRIX y más tarde en Macintosh. Esta fue entonces una herramienta pionera en este campo, pues fue en los años 70 cuando se comenzaron a generar programas de ordenador considerablemente potentes con los que abordar estos problemas.*

*Esta última versión posibilita trabajar con mecanismos articulados de cuatro y seis barras, abordando el problema de síntesis bajo el enfoque de las ecuaciones de las díadas, -recuérdese el capítulo 4 -, con números complejos. El programa permite especificar 3 y 4 posiciones en problemas de síntesis de trayectoria, guiado de sólido rígido y de generación de función.*

*Lincages también realiza análisis de mecanismos básica, así, proporciona velocidades, aceleraciones y ángulos de transmisión.*



## Algunas herramientas de síntesis de mecanismos

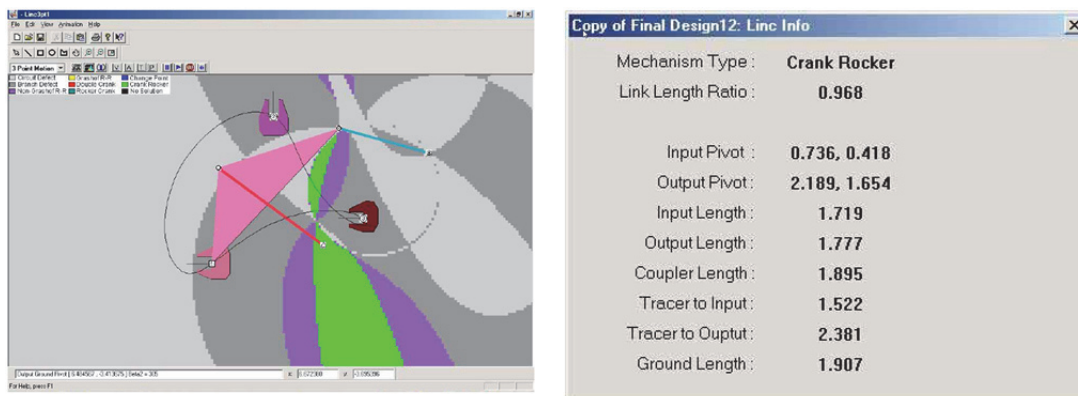


Figura 6.1.- Dos ventanas de LINCAGES: a la izquierda un problema ya calculado con el plano mapeado según colores y criterios, a la derecha: resultado final de la solución escogida por el usuario en forma de longitudes y coordenadas<sup>34</sup>.

El usuario ha de especificar posiciones y orientaciones mediante la introducción de coordenadas o mediante la inserción de iconos con el ratón.

El programa permite insertar una imagen de fondo (\*.bmp) que puede servir al usuario para ver el entorno de trabajo del mecanismo

El resultado es una imagen con zonas del plano codificadas según colores, y que representa las posibles ubicaciones de las articulaciones fijas del mecanismo. Así, el usuario ha de indicar con el ratón las coordenadas que desee y el programa le muestra un mecanismo según sus selecciones. Cuando el usuario quiere saber las medidas de un diseño concreto, puede obtener dicha información en forma de archivo de texto y/o por pantalla. En ambos casos se trata de información numérica.

El lector puede encontrar más información sobre este programa en el siguiente sitio web: <http://www.me.umn.edu/labs/lincages/><sup>35</sup>

### 6.1.1 Ventajas e inconvenientes

Es muy interesante:

- Que no se de un mecanismo solución concreto, y sí unas zonas del plano con determinadas propiedades, de esta manera el usuario es conocedor de todas las alternativas posibles para resolver su problema, y por tanto es capaz de decidir y seleccionar de entre estas.

En cambio consideramos inconveniente:

- Que se deba insertar una imagen de fondo para poder representar el entorno del mecanismo buscado, pues esto requiere un trabajo considerable a la hora de escalar dicho archivo. Hemos de pensar que el resultado que se obtiene son coordenadas, que por tanto pueden ser más o menos precisas según la calidad y escala de la imagen insertada en el fondo de la pantalla.

<sup>34</sup> Imágenes extraídas del sitio web oficial de la última versión de LINCAGES: <http://www.me.umn.edu/labs/lincages/>, visitada el 8 de julio de 2011.

<sup>35</sup> Dirección consultada a 7 de julio de 2011.

- *Que el resultado sea un archivo de texto con las coordenadas y longitudes, pues esto requiere una tarea de interpretación por parte del usuario a veces laboriosa.*

*Comentamos también que LINCAGES se perfila como una herramienta útil para la industria, pues aunque considerablemente laboriosa, ofrece mucha información útil a su usuario.*

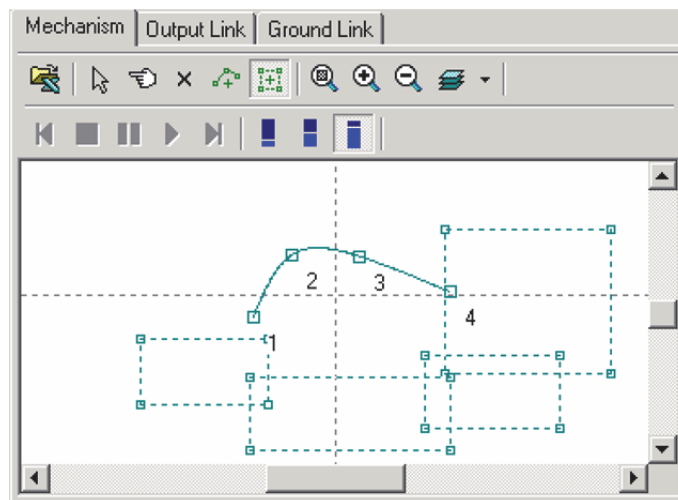
*Estamos también delante de una aplicación interesante para su uso en las aulas, pues permite abordar problemas relativamente simples para iniciarse en la materia, y a la vez también posibilita enfrentarse a casos muy complejos para trabajos o estudios posteriores.*

*No se perfila como una herramienta con la que investigar en el campo de la síntesis de mecanismos, pues no permite ser ampliada o editada por parte del usuario. Aunque si puede usarse como herramienta para investigar sobre otros campos.*

## 6.2 WATT Mechanism Suite 2004

*Habitualmente conocido como WATT [51], entre otros problemas relativos al análisis, permite resolver los siguientes problemas de síntesis exacta y/o aproximada:*

- *Trayectoria*
- *Guiado de sólido rígido*



*Figura 6.2.- Ventana del programa Watt en la que se han especificado cuatro puntos de paso<sup>36</sup>.*

*Esta herramienta permite insertar un fondo de pantalla proveniente de un archivo \*.dxf, y el usuario puede indicar los puntos de paso directamente en la pantalla, mediante pulsaciones del ratón. Una vez indicado un punto, se pueden modificar sus coordenadas accediendo a las propiedades de este.*

<sup>36</sup> Imagen procedente del manual de la versión 1.6.4 del programa Watt, consultable en [http://www.heron-technologies.com/watt/helpw2/watt\\_manual.pdf](http://www.heron-technologies.com/watt/helpw2/watt_manual.pdf). Dirección visitada por quien escribe estas líneas el 8 de julio de 2011.

## Algunas herramientas de síntesis de mecanismos

---

*Alternativamente al proceso anterior, el programa posibilita importar coordenadas de paso desde un archivo de Excel, que ha de tener una estructura concreta para que pueda ser leído y debidamente traducido.*

*Cabe indicar que el usuario puede precisar tantos puntos de paso como desee, así en función de la cantidad indicada, el programa decidirá si se trata de síntesis exacta o aproximada y resolverá de una u otra manera.*

*Para indicar orientaciones, el usuario ha de acceder a las propiedades del punto de paso, ya concretado, e indicar dicho valor numéricamente.*

*Permite indicar zonas de ubicación de pivotes fijos y móviles.*

*Tras proporcionar todas las coordenadas y posibles orientaciones al programa, el usuario ha de indicar qué tipo de mecanismo busca de entre los siguientes:*

- *Cuatro barras articulado*
- *Manivela-biela-corredera.*
- *Cinco barras con correa-polea*
- *Seis barras: Watt1*
- *Seis barras: Watt2*
- *Seis barras: Stephenson1*
- *Seis barras: Stephenson2*
- *Ocho barras: Movimiento paralelo.*

*Así, para obtener los resultados el usuario ha de iniciar el cálculo, y la aplicación le brinda, en caso de haberla, la o las soluciones posibles. En esta situación, el usuario puede seleccionar una solución propuesta y analizar su comportamiento con herramientas de simulación / animación que le propio Watt proporciona.*

*Además, Watt ofrece un pos cálculo de optimización de trayectoria, con el que el usuario puede refinar la solución final para que esta transcurra por una trayectoria concreta, que contenga los puntos previamente indicados, y que lo haga con un error mínimo.*

*El resultado final se puede consultar por pantalla o exportar a Excel. También se puede generar un informe final en formato html.*

*Se puede encontrar más información sobre esta herramienta en: <http://www.heron-technologies.com/watt/helpw2/><sup>37</sup>*

### **6.2.1 Ventajas e inconvenientes**

*Creemos muy interesante:*

- *Que el programe decida por él mismo si ha de resolver un problema de síntesis exacta o bien si ha de enfocar el planteamiento según las expresiones de síntesis aproximada.*
- *Que se pueda insertar un ambiente del problema en formato dxf, pues esto evita posibles errores así como ahorra el tedioso proceso de traducciones de coordenadas o de escalados de imágenes.*

---

<sup>37</sup> Dirección consultada a 7 de julio de 2011.

- *Que se puedan preestablecer zonas en las que se prefieren pivotes fijos y/o móviles.*
- *Que posibilite la exportación del resultado a Excel, aunque hemos de decir que esto no deja de ser muy similar a mostrar las coordenadas y longitudes solución en pantalla.*

*En cambio, creemos que sería mejorable:*

- *La manera en que los usuarios indican las orientaciones de una posición prescrita concreta, pues se ha de ir indicando punto a punto una orientación numérica, con su correspondiente criterio de signos, opinamos que esto es poco práctico y que fácilmente puede llevar a indicaciones erróneas por parte del usuario.*
- *El hecho de que esta herramienta no aborde el problema de síntesis de generación de función.*

*En cuanto a posibles tipos de usuarios interesados en él, escribimos que se perfilan básicamente los siguientes:*

*Industria: Al resolver una considerable cantidad de tipos de problemas, y al hacerlo de una manera semiautomática, se convierte en una herramienta de rápido uso, que puede ser interesante para diseñadores que busquen una solución rápida. Eso sí, no mapea el plano de soluciones, sino que brinda todas las soluciones de una familia para unas restricciones determinadas, cosa que evita hacer probaturas en zonas del plano que podrían ser interesantes en algún diseño. Es también útil para este tipo de usuario el hecho de que el programa siempre obtenga solución, pues si no la encuentra de manera exacta, si que lo hará mediante los procedimientos de síntesis aproximada.*

*Docencia: El hecho de resolver problemas de diversas dificultades, lo hace interesante para los diversos niveles de dificultad que pueden aparecer a lo largo del desarrollo de una asignatura, aunque el hecho de pasar automáticamente de procedimientos de síntesis exacta a procedimientos de síntesis aproximada puede confundir a los alumnos, y por tanto los docentes han de prestar mucha atención a la hora de preparar un determinado enunciado.*

*No creemos que esta sea una herramienta con la que se pueda realizar investigación en el campo de la síntesis de mecanismos.*

## 6.3 SAM

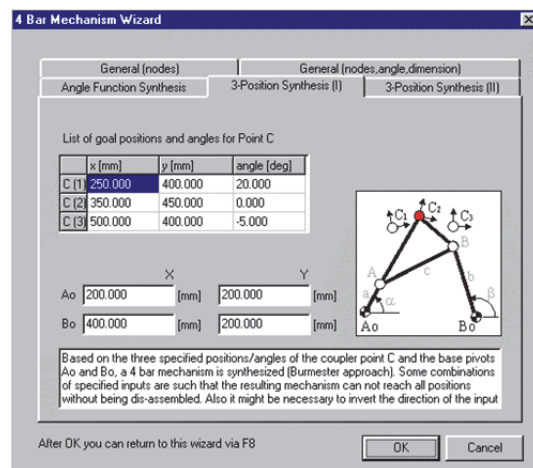


Figura 6.3.- Ventana del asistente de SAM para

*Es herramienta es una de las aplicaciones que hemos detectado se está usando hoy en día en España en la docencia del título de Grado en Ingeniería Mecánica, concretamente en la asignatura número 15 de nuestra base de datos,- consúltense los anexos-. Así ya se ha descrito con anterioridad en el apartado 2.2.4.5, página 44 de este documento.*

*A modo de recordatorio sólo escribir que SAM [41] es un programa eminentemente pensado para realizar análisis de mecanismos que además ofrece unos asistentes para poder resolver determinados*

## Algunas herramientas de síntesis de mecanismos

---

realizar síntesis de guiado de sólido rígido<sup>38</sup>. problema de síntesis de mecanismos.

### 6.3.1 Ventajas e inconvenientes

Como característica principal, destacamos que es una buena herramienta para realizar análisis de mecanismos, en cambio hemos de decir que es demasiado pobre para la mayoría de usuarios que están interesados en resolver problemas reales de síntesis.

Así, y únicamente bajo el punto de vista de la síntesis, vemos que únicamente podría interesar a:

- Empresas que puntualmente deban resolver algún problema de síntesis de mecanismos.
- Estudiantes y profesores que quieran abordar un ejercicio introductorio a esta materia.

## 6.4 SyMech

En este caso [47] nos encontramos ante un programa que funciona únicamente como complemento del software de CAD Pro/ENGINEER [33], concretamente para las versiones 2000i, 2000i2 y 2001 de este software de diseño.

El programa realiza análisis de velocidad, aceleración y fuerza. Además asiste al diseñador de mecanismos en la síntesis de las siguientes clases:

- Posición
- Guiado de Sólido Rígido
- Generación de Función

Así, SyMech está totalmente integrado en un programa CAD3D paramétrico concreto, y por tanto, evita la introducción de coordenadas numéricas por parte del usuario.

Para usar SyMech se ha de haber dibujado la barra acopladora del mecanismo en 3 posiciones en el entorno de Pro/Engineer. En esta situación, el usuario puede activar SyMech, seleccionar el tipo de mecanismo que busca de entre los siguientes:

- 4barras
- Seis barras
- Multibarra (hasta 32 barras, sólo en la versión profesional).

Una vez seleccionado el tipo de mecanismo a buscar, el programa automáticamente calcula un mecanismo solución para las tres posiciones indicadas. Así, como este problema matemático aporta infinitas soluciones, -recordar apartado 4.1-, el programa permite al usuario arrastrar las articulaciones a zonas más interesantes para éste y muestra dinámicamente la solución para las nuevas ubicaciones indicadas por el diseñador.

---

<sup>38</sup> Imagen extraída del manual de la versión 6.1 de SAM, consultable en la siguiente dirección: [http://www.artas.nl/attachments/article/26/sam61us\\_manual.pdf](http://www.artas.nl/attachments/article/26/sam61us_manual.pdf). Dicho documento fue visitado el 8 de julio de 2011.

Se pueden hallar ejemplos de uso y leer más sobre esta herramienta en la siguiente dirección de la red: <http://www.symech.com/pi/product.htm><sup>39</sup>

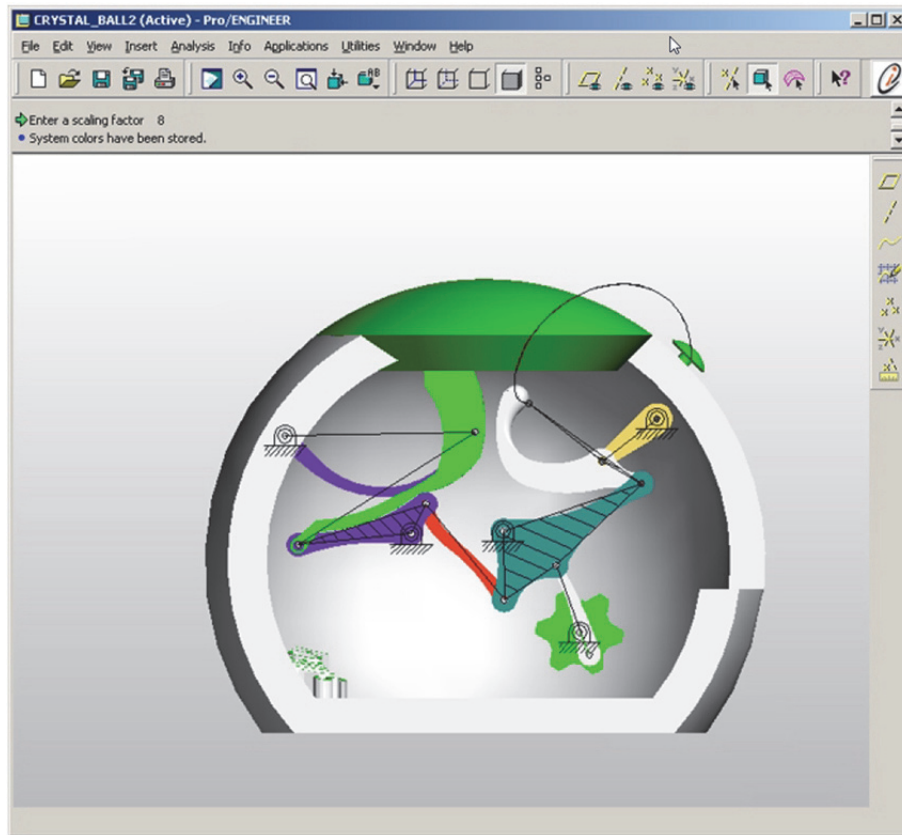


Figura 6.4.- Imagen con una ventana de Pro/Engineer tras haber seleccionado un mecanismo solución con el programa SYMECH<sup>40</sup>.

### 6.4.1 Ventajas e inconvenientes

Esta es seguramente la herramienta más automática de todas las aquí listadas, pues únicamente dibujando tres posiciones en el programa CAD, y tras especificar el tipo de máquina buscada, se obtiene una de las infinitas soluciones al problema indicado, así creemos que esto es muy ventajoso pues:

- Genera un resultado rápida y directamente integrado en PRO/Engineer: es un concepto muy dinámico.
- Su uso es muy agradable y fácil si se dispone de dicho programa CAD.

En cambio, y por el mismo dinamismo y rapidez que genera su concepto, destacamos los siguientes inconvenientes:

- Su uso es exclusivo con y para PRO/Engineer.

<sup>39</sup> Dirección consultada a 7 de julio de 2011.

<sup>40</sup> Ilustración extraída de siguiente página de SyMech: <http://www.symech.com/container/00100.html>. Dirección visitada por el investigador el 8 de julio de 2011.

## Algunas herramientas de síntesis de mecanismos

---

- *No permite decidir de antemano una zona para los anclajes, pues el programa no mapea el plano de soluciones. Así, la única manera en que el usuario puede ver otras alternativas a un diseño propuesto, es “probar suerte” arrastrando algún punto del mecanismo a otra coordenada y ver el nuevo comportamiento. Esto es de hecho un proceso que el diseñador ha de hacer a ciegas, cosa que convierte a SyMech en un rapidísimo generador de alternativas y que permite que su usuario desconozca totalmente los conceptos asociados a la materia de la síntesis de mecanismos, pero que en ningún caso garantiza que el diseñador se decida por la mejor máquina posible para un determinado problema. De la misma manera, este proceso iterativo a ciegas puede ser algo lento para acabar llegando a una solución razonablemente buena. Y además implica hacer comparativas a posteriori entre posibles soluciones.*

*Estas características tan especiales hacen que no sea una buena herramienta para la docencia, pues el programa es demasiado automático. En cambio, debido a su dinamismo, sí que puede ser un buen programa para la industria, aunque ésta ha de ser extremadamente cuidadosa al decidirse por un diseño final, pues puede estar ignorando una zona del plano con soluciones interesantes para su problema. Cabe comentar que su uso está asociado a disponer de licencias de PRO/Engineer.*

## 6.5 Synthetica

*En este caso nos hallamos frente a un programa que se usa para sintetizar, analizar y simular mecanismos espaciales, siendo así de utilidad en el entorno de la síntesis de robots.*

*Esta herramienta[48] está escrita en JAVA, y esto le permite que se pueda ejecutar indistintamente en los sistemas operativos Windows, Mac y Linux. Actualmente el programa es propiedad del Robotics and Automation Laboratory, de la Universidad de California, en Irvine. Institución en la que trabajan múltiples investigadores, el más conocido de los cuales es el Professor J. Michael McCarthy<sup>41</sup>, del Departamento de Ingeniería Mecánica y de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de California.*

*Esta es de hecho una herramienta en la que se requiere al usuario considerables conocimientos sobre la cinemática de mecanismos espaciales y está concebida para ser usada según los siguientes pasos:*

1. *Especificar las posiciones de paso deseadas mediante matrices.*
2. *Seleccionar el tipo de máquina que se busca*
3. *Escoger de entre los tipos de posibles problemas a resolver*
4. *Calcular*
5. *Evaluar los resultados mediante una serie de órdenes que permiten al usuario decidir cual de las soluciones prefiere.*

---

<sup>41</sup> El Profesor McCarthy es uno de los investigadores más famosos y reconocidos hoy en día en el mundo de la síntesis de mecanismos, y más concretamente en la parcela de los mecanismos espaciales, así muchas de sus aportaciones a esta rama de conocimiento se centran en la síntesis de robots. De entre sus obras más conocidas queremos nombrar a Kinematics of Robot Manipulators [18] y a Geometric Design of Linkages [19], cuya primera edición data de 2000, y de la que se publicó una segunda edición más recientemente en 2010, se puede saber mucho más de su prolífica e interesante obra en <http://synthetica.eng.uci.edu:16080/~mccarthy/>, visitada por quien escribe estas líneas a 7/7/2011.

6. Animar y visualizar la máquina seleccionada

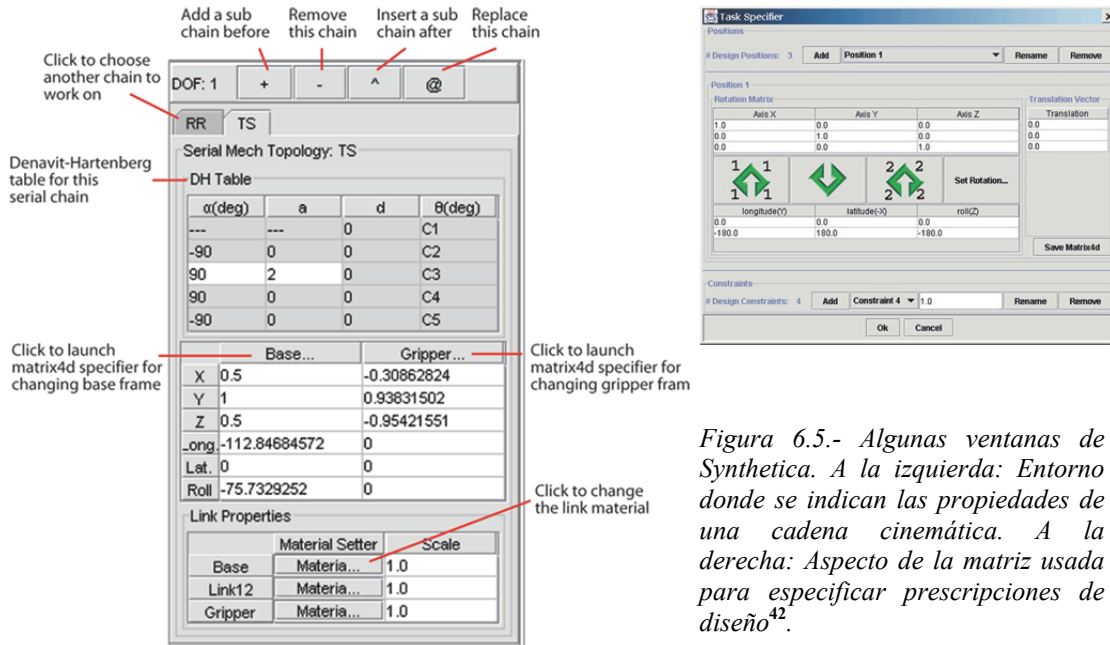


Figura 6.5.- Algunas ventanas de Synthetic. A la izquierda: Entorno donde se indican las propiedades de una cadena cinemática. A la derecha: Aspecto de la matriz usada para especificar prescripciones de diseño<sup>42</sup>.

Así, Synthetic resuelve los siguientes problemas:

- Síntesis dimensional de mecanismos espaciales de guiado de sólido rígido
- Análisis cinemática
- Síntesis dimensional de mecanismos espaciales de trayectoria

Además esta herramienta permite ser ampliada por el usuario, pues los autores permiten que los usuarios creen software a modo de desarrolladores. Especificamos aquí que Synthetic permite a los usuarios ampliar sus funcionalidades añadiendo rutinas externas creadas por estos, y que no brinda, por tanto, la posibilidad de modificar su código fuente.

No tiene mucho sentido el hecho de hablar en este caso de número máximo de barras y posiciones que este programa puede abordar, pues de hecho hemos de decir que la herramienta afronta en algún tipo de mecanismo, como los de cadena cinemática abierta, tantas barras y posiciones como se deseen, pues la matemática asociada a dichas máquinas lo permite. Si podemos decir que si se sintetiza aquí un mecanismo de cuatro barras articulado, con movimiento plano, el programa va a poder resolver como mucho 5 posiciones de manera exacta, pues las ecuaciones que gobiernan dicho problema así lo obligan.

<sup>42</sup> Imágenes procedentes del manual de la versión 3.0 del programa de síntesis de mecanismos Synthetic [<http://www.umbc.edu/engineering/me/vrml/research/software/synthetic/document/references/SyntheticUserGuide.pdf>], documento consultado el 8 de julio de 2011.



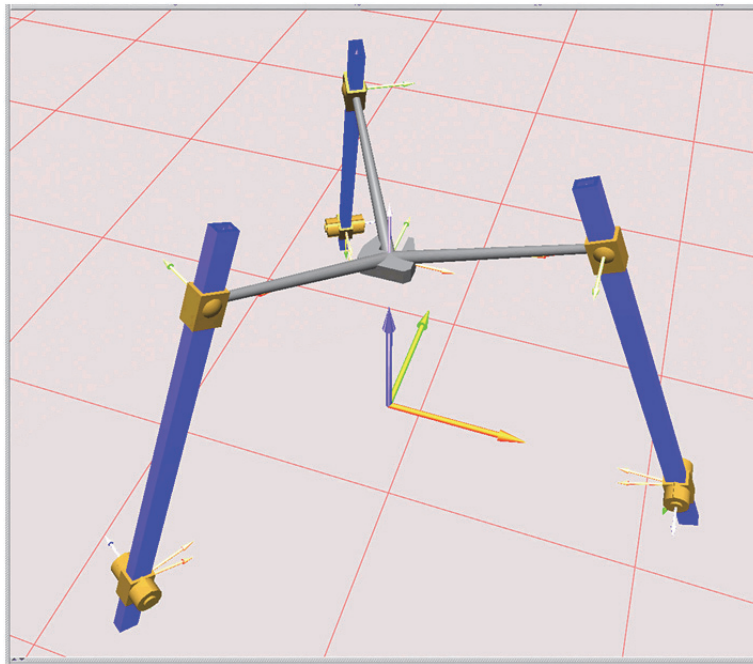


Figura 6.6.- Resultado final de un mecanismo espacial diseñado íntegramente con Synthetica<sup>43</sup>.

Si así lo desea, el lector podrá hallar las fuentes del programa, manuales, ejemplos y literatura diversa relacionada con Synthetica en la siguiente dirección: <http://www.umbc.edu/engineering/me/vrml/research/software/synthetica/><sup>44</sup>

### 6.5.1 Ventajas e inconvenientes

Synthetica ha supuesto un cambio de concepto en el campo de programas informáticos dedicados a la síntesis de mecanismos, pues es de los pocos que permite resolver mecanismos espaciales, así de entre sus ventajas destacamos:

- Permite abordar mecanismos con barras que describan movimientos no contenidos en un plano.
- Se puede ejecutar en múltiples sistemas operativos, aclaramos aquí que los autores advierten sobre los más que probables problemas de configuración con las diversas librerías de Java, pues estas pueden ser dependientes de navegadores concretos, etc.
- Brinda la posibilidad de que el usuario lo amplíe con nuevas subrutinas.

Aunque esta es una fantástica herramienta, creemos que posee algunos puntos que se podrían mejorar:

- Se requiere ser buen conocedor de la cinemática de mecanismos para poder usarse, y más concretamente del comportamiento y la cinemática de los mecanismos espaciales.

---

<sup>43</sup> Ilustración procedente de la siguiente página del sitio oficial del programa Synthetica: [http://www.umbc.edu/engineering/me/vrml/research/software/synthetica/gallery/images/3RPS2\\_jpg.gif](http://www.umbc.edu/engineering/me/vrml/research/software/synthetica/gallery/images/3RPS2_jpg.gif), que el autor del presente documento visitó el 8 de julio de 2011.

<sup>44</sup> Dirección consultada a 7 de julio de 2011.

- *La información se ha de introducir en forma de matrices numéricas, de bastante difícil interpretación.*
- *El resultado final, aunque visualizando la máquina en tres dimensiones, se da en forma de matrices numéricas de difícil interpretación.*

*Así, y debido a lo que acabamos de escribir, indicamos que Synthetica puede ser interesante para realizar investigación en el campo de la síntesis de mecanismos espaciales, por ejemplo a la hora de diseñar robots con propiedades y usos un tanto especiales, véase cinemática de manipuladores paralelos<sup>45</sup>, etc. Por tanto puede ser útil para investigadores o empresas que realicen investigación sobre estos campos.*

*Es posible llevar esta herramienta a las aulas, pero los conocimientos requeridos para su uso la restringen a asignaturas de elevado nivel, másteres específicos, o quizás a trabajos de fin de grado o similares. En ningún caso se puede usar para introducir a los estudiantes en la materia de síntesis de mecanismos.*

## **6.6 RR Constraint Synthesis + Mechanism Generator(RRCS+MG)**

*Precisamente uno de los autores de Synthetica, el Professor McCarthy, publicó en 2010 en el sitio web <http://mechanicaldesign101.com/linkage-synthesis/><sup>46</sup>, -que el que escribe estas líneas considera muy interesante y que recomienda al lector su visita -, diversas hojas[40] escritas en el entorno Mathematica, en las que ofrece la posibilidad de resolver los siguientes problemas de síntesis de mecanismos articulados de cuatro barras:*

- *5 posiciones con orientación*
- *Generación de función en 5 posiciones.*

*El usuario ha de tener instalado el software Mathematica en su ordenador, y su tarea consiste en especificar coordenadas y orientaciones en forma numérica, véase la Figura 6.7 para leer las instrucciones de uso de esta herramienta, instrucciones que el autor ha colocado al principio de dicho documento.*

---

<sup>45</sup> Nos referimos aquí a un grupo de mecanismos que normalmente poseen 6 grados de libertad y que están formados por múltiples cadenas en serie. En este grupo podemos encontrar mecanismos diversos como por ejemplo máquinas andantes, dedos mecánicos manipulando un objeto, plataformas que simulan estar sobre determinados vehículos, etc.

<sup>46</sup> Dirección consultada a 7 de julio de 2011.

## Algunas herramientas de síntesis de mecanismos

**Instructions:**

- The input data consists of
  - (i) Five task positions in the list `TaskP[[1]] = {θ[[1]], Bpt[[1,1]], Bpt[[1,2]]}` using the format {θ in degrees, x coordinate, y coordinate};
  - (ii) an existing RR chain defined by the fixed pivot `Opt` and the moving pivot `Apt` in the first task position.
- Execute Part 1 to obtain a list of four-bar linkages `SynthResults` that move through five task positions that are within the tolerances specified.
- Select one of these linkages for animation by assigning a number to `sol`, then execute Part 2 to animate the movement of the selected four-bar linkage.
- Execute Part 3 to obtain the data to cut and paste into **Mechanism Generator** to draw the four-bar linkage.

**Requirements: Five Task Positions and the Main RR Chain**

The fixed pivot of the existing RR chain.

`Opt = {0, 0}`  
{0, 0}

Five positions of the moving pivot.

`APT = {{-15.832, 12.221}, {-1.984, 19.901}, {11.762, 16.176}, {18.767, 6.915}, {19.836, 2.554}}`  
{-15.832, 12.221}, {-1.984, 19.901}, {11.762, 16.176}, {18.767, 6.915}, {19.836, 2.554}

Identify the moving pivot in the first position.

Figura 6.7.- Aspecto de la hoja de Mathematica escrita por McCarthy en el que se pueden leer las instrucciones para su uso.

Una característica interesante de dicha herramienta es que una vez ejecutado todo, y si existe solución al problema especificado por el usuario, la hoja de Mathematica genera información interpretable por otra herramienta, también creada por el mismo autor, llamada *Mechanism Generator*, de la que explicamos su funcionamiento a continuación.

*Mechanism Generator* es un ejecutable que genera la geometría de los siguientes mecanismos:

- Mecanismos planos articulados de 4 y 6 barras
- Mecanismos esféricos de 4 barras

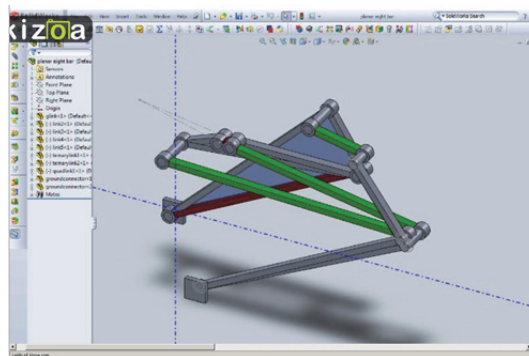


Figura 6.8.- Aspecto de un mecanismo generado con la herramienta *Mechanism Generator*<sup>47</sup>

Esta herramienta funciona de modo independiente pero también lo hace asociada con *SolidWorks*, así, tras la ejecución de la hoja de Mathematica, el usuario puede exportar muy fácilmente los resultados a *SolidWorks*, donde se dibuja la máquina al detalle en forma de conjunto con todas las piezas en su interior.

<sup>47</sup> Imagen extraída de la página del Professor McCarthy [<http://mechanicaldesign101.com/linkage-synthesis/>] consultada por el autor el 8 de julio de 2011.

### 6.6.1 Ventajas e inconvenientes

Bajo nuestro punto de vista, las principales ventajas de esta aplicación son:

- *Que brinda la posibilidad de resolver un problema de síntesis de exactamente cinco posiciones muy rápidamente en el caso de que dicho problema tenga solución. Hemos de recordar aquí lo escrito en el apartado 4.1.1 , donde se dice que la matemática asociada a este problema, para el caso de cinco posiciones, genera un número de soluciones finitas, de las que es posible que todas ellas sean soluciones imaginarias, en ese caso deberíamos concluir que nuestros requerimientos no se pueden realizar con un mecanismo de cuatro barras. Allí también se comentó que aunque se logre encontrar alguna solución no imaginaria, es posible que ninguna de ellas se comporte como el diseñador desea, pues las máquinas obtenidas, en el caso de haberlas, pasarán por las posiciones con las orientaciones indicadas, pero se deberá comprobar si lo hacen en el orden deseado y sin invadir zonas del plano que contengan obstáculos*
- *Que permite al usuario editar completamente el código de la parte de síntesis de esta aplicación. Aclaramos que esto no es así en el caso de la herramienta Mechanisms Generator, pues este es un archivo ejecutable que el diseñador sólo puede usar.*

En cuanto a los aspectos que creemos se debieran mejorar indicamos:

- *La introducción de datos en el programa entraña una cierta dificultad: han de escribirse valores numéricos con el formato y signos adecuados para que el programa los interprete correctamente.*
- *El hecho de que el resultado se exporte a SolidWorks a través de Mechanisms Generator es muy ágil, pero a la vez obliga a tener una licencia de este programa CAD, creemos que sería interesante que la salida fuese universal y que esta se pudiera leer desde muchos otros programas CAD.*
- *Tal como hemos indicado unas líneas más arriba, el hecho de resolver el caso de exactamente 5 posiciones muy frecuentemente puede no tener ninguna solución, y en el caso de haberlas, puede que ninguna de ellas sea válida para el diseñador. Sería interesante que el código resolviese el mismo problema con menos posiciones prescritas.*

*Esta no es una herramienta interesante para la industria, pues a pesar de ser de un uso muy ágil, el problema matemático que resuelve no va a tener solución, o no va a tener una solución satisfactoria en numerosas ocasiones.*

*Puede ser interesante para que los investigadores que quieran desarrollar otros programas con utilidades similares tengan la posibilidad de ver el flujo de trabajo y de toma de decisiones de este código.*

*El uso en las aulas de esta aplicación queda muy restringido, pues va a ser prácticamente imposible que los estudiantes resuelvan a mano este problema, -se trata de una tarea muy larga y tediosa-, esto sería de otra manera si el código resolviese otros ejercicios más simples o asequibles. Sí que se nos ocurre que en algún curso de nivel avanzado, se podría pedir a los estudiantes que realizasen otros programas partiendo de éste, con otros objetivos o con otra cantidad de restricciones. Así, no creemos que esta sea una buena herramienta para introducir al alumno en las tareas de síntesis de mecanismos, sino que más bien sería para desarrollar algoritmos similares en cursos avanzados de síntesis de mecanismos.*

## 6.7 LINKAGES

El autor de este software es el Professor Robert L. Norton, del Worcester Polytechnic Institute, sobre el que ya se han escrito algunas líneas en este mismo documento (reléase por ejemplo la nota al pie de página número 7 en la página 21).

Así, como ya se comentó allí, Norton es muy conocido en el mundo de la Mecánica y Teoría de Mecanismos por muchos motivos, entre otros por haber generado publicaciones con indudable interés, como el libro *Design of Machinery* [25] del que acaba de publicarse en 2011 la quinta edición. Uno de los aspectos que han causado el éxito de ventas de sus obras, es que el autor acostumbra a incluir con sus libros programas y archivos diversos la mayoría de ellos muy útiles e ilustrativos. Así, en las ediciones más antiguas de este documento, el autor proporcionaba un programa llamado FOURBAR, que realizaba síntesis de mecanismos de dos y tres posiciones, que en las últimas ediciones de esa obra se ha unido a otros de sus programas para pasar a ofrecer una herramienta unificada llamada LINKAGES[13] que es justamente la que tratamos aquí.

Cabe decir que todos los programas que se distribuyen con este libro tienen capacidades limitadas, y que si los lectores quieren adquirir una versión completa, lo pueden hacer en la web de Norton Associates Engineerign <http://www.designofmachinery.com/>.<sup>48</sup>

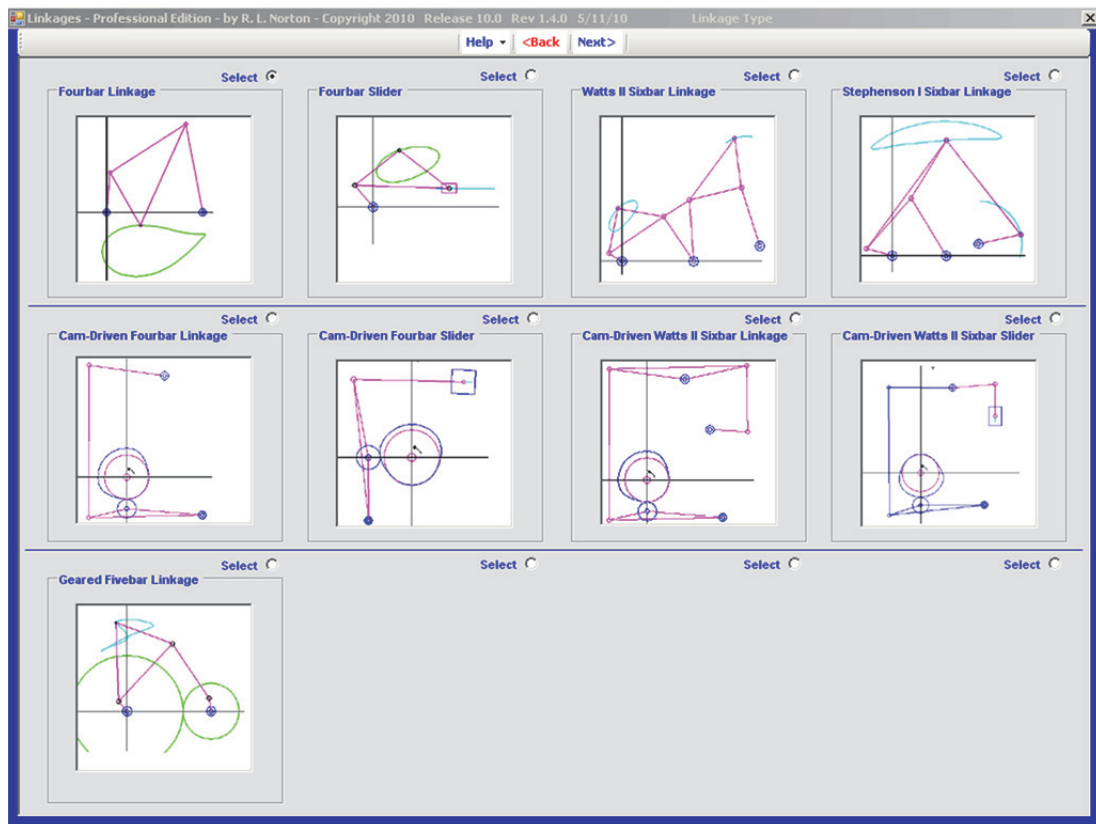


Figura 6.9.- Una de las pantallas de trabajo del software Linkages<sup>49</sup>

<sup>48</sup> Dirección consultada a 7 de julio de 2011.

Este software está concebido mayoritariamente para realizar análisis de mecanismos, aunque posee alguna pincelada de síntesis, así de entre sus capacidades destacamos:

- Análisis de mecanismos de manivela-biela-corredera, de 4,5 y 6 barras.
- Permite animación y obtención de su curva de acoplador.
- Realiza gráficos cartesianos y polares de diversas magnitudes.
- Calcula también parámetros dinámicos
- Balanceo y sacudida de mecanismos
- Síntesis de posición con orientación de mecanismos articulados de 4 barras (2 y 3 posiciones).

En la Figura 6.10, mostramos la parte de LINKAGES que se dedica a la síntesis de mecanismos: se trata de una imagen estática de uno de estos mecanismos, con recuadros que el usuario ha de rellenar con los valores numéricos y signos adecuados para un determinado problema de síntesis de guiado de sólido rígido, así, tras ejecutar esta herramienta, el usuario obtiene el resultado también en forma de valores numéricos, que además este software permite exportar a una hoja de cálculo.

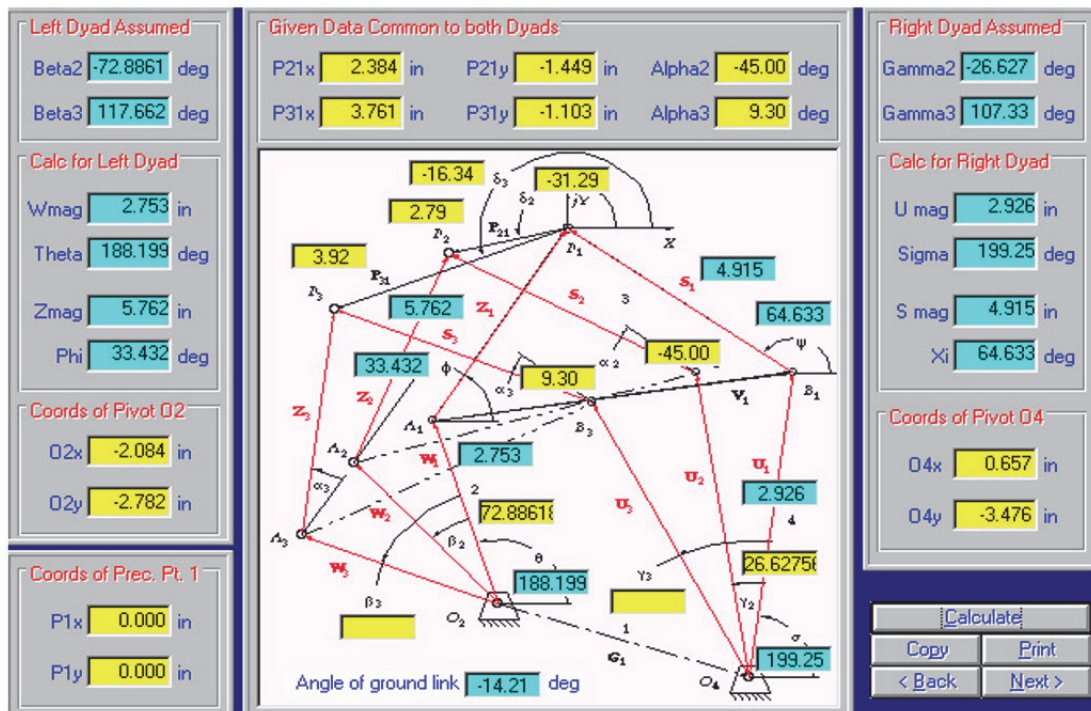


Figura 6.10.- La ventana de la herramienta Linkages que resuelve síntesis de mecanismos articulados de 4 barras para 2 y 3 posiciones con orientación<sup>50</sup>.

<sup>49</sup> Ilustración procedente de la dirección <http://www.designofmachinery.com/Linkage/index.html>, visitada por el investigador el 8 de julio de 2011.

<sup>50</sup> Figura extraída del sitio web <http://www.designofmachinery.com/>, visitada el 8 de julio de 2011.

## Algunas herramientas de síntesis de mecanismos

---

### 6.7.1 Ventajas e inconvenientes

*Esta es una aplicación de la que destacamos a su favor que permite resolver problemas de un nivel de dificultad simple, y que por tanto puede ser interesante para iniciar a los estudiantes en dicha materia.*

*En cuanto a aspectos que creemos se podrían mejorar comentamos que el hecho de que el usuario deba introducir valores numéricos, con sus signos correspondientes, puede fácilmente conducir a equivocaciones. Del mismo modo los resultados pueden ser difíciles de interpretar por usuarios no relacionados con la materia.*

*Así, y siendo este programa uno de los más modestos que comentamos en este apartado, si que creemos que puede ser de utilidad para ser implantado en las aulas, pues tal como hemos comentado anteriormente, permite abordar problemas de relativa simplicidad, posibilitando así que se puedan comprobar cálculos a mano previamente realizados por los estudiantes.*

*En cambio no vemos que la industria pueda estar interesada en su uso, pues el hecho de resolver como mucho el problema de tres posiciones, puede ser insuficiente para ésta.*

## 6.8 CIMEC

*CIMEC son las siglas de Centro Internacional de Métodos Computacionales en Ingeniería<sup>51</sup> con sede en Santa Fe (Argentina) y dependiente entre otros de la Universidad Nacional del Litoral.*

*Desde este Centro, dos investigadores: Martín Pucheta y Alberto Cardona publicaron en Noviembre de 2004 en la revista Mecánica Computacional, un artículo en el que daban a conocer un software para síntesis de mecanismos planos [35], -que se basaba en una publicación anterior [34] también de los mismos autores-, y que surgía como uno de los frutos de su trabajo en el proyecto europeo SYNAMEC<sup>52</sup>.*

*Dicha herramienta, -que a posteriori de su creación ha sido usada en interesantes investigaciones como [36], en la que se aborda el diseño de mecanismos con miembros elásticos-, está programada en C++ e integrada completamente en el software multifísico Oofelie, e interactúa con el CAD para elementos finitos SAMCEF FIELD v5. Así, esta herramienta puede usarse para enfrentarse a problemas de:*

- *Síntesis de trayectoria.*
- *Síntesis de guiado de cuerpo rígido.*
- *Síntesis de generación de función.*

---

<sup>51</sup> Puede hallarse más información sobre esta institución en el siguiente sitio web: <http://venus.ceride.gov.ar/twiki/bin/view/Cimec/WebHome>, consultado por quien escribe estas líneas a 8 de Julio de 2011.

<sup>52</sup> Acrónimo del inglés SYNthesis tool for Aeronautical MECHANisms usado para referirse a un proyecto europeo, que finalizó en el 2004, y cuyos frutos pretendían ser de utilidad para la Industria Aeronáutica Europea y para el Sistema de Educación Europeo. Así, su objetivo principal era el de desarrollar una aplicación que asistiera en el diseño y la síntesis de mecanismos útiles para la industria aeronáutica. Se puede saber más de él en la siguiente dirección: <http://www.ist-world.org/ProjectDetails.aspx?ProjectId=277aa956f1da4252afc2c11e7aac973c>. Sitio web visitado por el autor de la presente investigación a 8 de Julio de 2011.

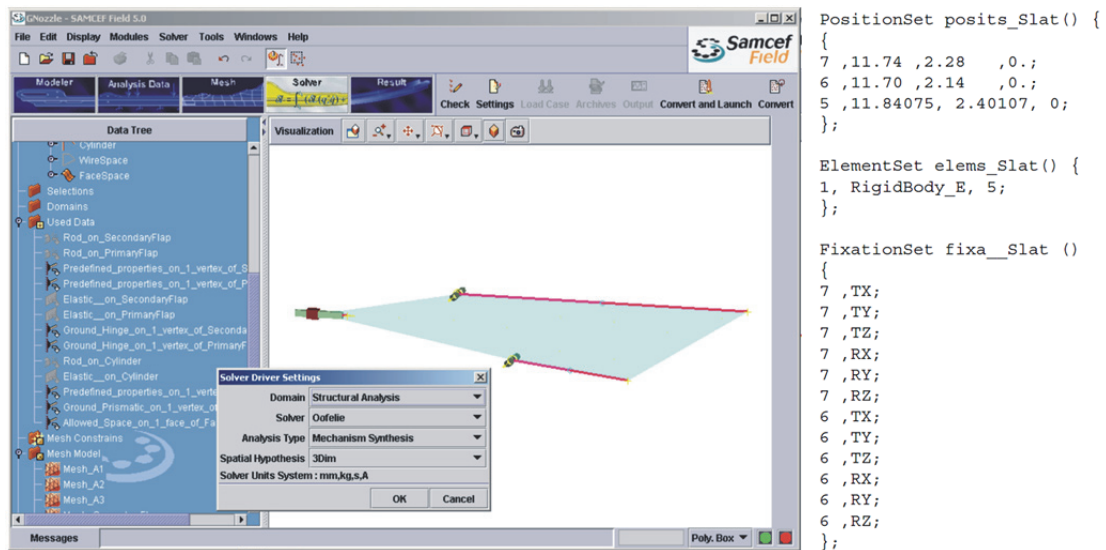


Figura 6.11.- Izquierda: Aspecto de la interfaz de usuario de la herramienta del CIMEC. Derecha: Coordenadas y articulaciones fijas debidamente codificadas para importar información desde un archivo de texto a esta herramienta<sup>53</sup>.

El usuario puede especificar hasta cuatro posiciones prescritas, y el software es capaz de proporcionar una lista de mecanismos de entre 4 y 8 barras que satisfacen las necesidades de diseño. Así, si el programa no encuentra ninguna solución aceptable con mecanismos de cuatro barras, busca una alternativa en mecanismos más complejos de cinco o más barras.

Esta aplicación ofrece la posibilidad de dibujar las restricciones o alternatively de especificarlas a través de archivos de texto codificados según una estructura concreta, ver parte derecha de la Figura 6.11.

Además discrimina o selecciona automáticamente entre máquinas candidatas según los siguientes criterios:

- Minimización de la longitud de las barras.
- No inversión del ángulo de transmisión
- Contención del movimiento en un área permitida concreta

### 6.8.1 Ventajas e inconvenientes

Destacamos aquí que esta es una herramienta considerablemente novedosa pues introduce el concepto de auto-discriminación entre alternativas, o sea, el programa tiene programados unos criterios para clasificar los mecanismos de mejor a peor.

Creemos que esta herramienta presenta algunos aspectos que pudieran mejorarse:

- Es de uso exclusivo con el programa Oofelie, sería interesante pudiera funcionar también en otros entornos.
- No brinda la posibilidad al usuario de editar o ampliar sus capacidades o aplicaciones.

<sup>53</sup> Figura compuesta de diversas imágenes extraídas del artículo “Software para síntesis de mecanismos planos”, de los investigadores del CIMEC Pucheta y Cardona [35], que se puede consultar en su totalidad en la siguiente dirección de internet: [http://www.cab.cnea.gov.ar/enief/dirjobs/S29/MPucheta\\_final.pdf](http://www.cab.cnea.gov.ar/enief/dirjobs/S29/MPucheta_final.pdf). Sitio visitado el 8 de julio de 2011.



## Algunas herramientas de síntesis de mecanismos

---

- *Sería interesante que los criterios de auto-discriminación fueran des activables, pues en determinados casos pueden ocultar mecanismos interesantes al diseñador. Así, al buscar automáticamente mecanismos de más de cuatro barras que satisfagan las especificaciones, no permite que el usuario vea las opciones “malas” más simples.*

*Nos encontramos ante una herramienta que sin duda es excelente para la industria, pues ahorra mucho tiempo al usuario, y siempre aporta una buena solución, aunque el usuario ha de ser consciente de que el programa puede haber dejado en el tintero alguna máquina interesante para sus necesidades. Así, pudiera discutirse si la solución propuesta por el programa es la mejor, pero no puede negarse que ésta seguro va a ser una buena solución.*

*Vemos también posible el hecho de llevar su uso a las aulas, pues permite abordar problemas de variada dificultad y utilidad. El único aspecto a tener en cuenta aquí es que se ha de usar en un entorno Oofelie, y que por tanto, se deberá realizar algún tipo de formación previa para su uso o aprovechamiento. Sólo aclarar aquí que los docentes deberán ser muy cuidadosos con los enunciados propuestos, pues el hecho de que la herramienta discrimine automáticamente entre máquinas, puede llegar a confundir a los estudiantes a la hora de comparar sus cálculos o resultados con los proporcionados por el programa.*

## 6.9 Comparativa

*Acabamos de mostrar diversas herramientas, seguramente las más destacables, representativas e interesantes en la actualidad por uno u otro motivo, pues algunas de ellas sin ser especialmente novedosas sí que fueron las pioneras, mientras que otras, sin aún estar en el mercado son muy prometedoras.*

*También aprovechamos para escribir que estos programas no son los únicos, pues aunque existen más herramientas para realizar síntesis de mecanismos que las únicamente tratadas aquí, sí que las aquí tratadas representan a la gran mayoría de herramientas existentes hoy en día.*

*Aclaramos también que nos es imposible afirmar taxativamente que una aplicación es mejor que otra, pues creemos que cada una de ellas presenta unos posibles usos que pueden ser muy interesantes para unas personas y muy poco para otras, nos referimos con esto al hecho de que una herramienta interesante para el universo investigador puede ser muy poco útil para usarse en la industria y/o en las aulas, así con la presente comparativa no pretendemos decir cuál de las herramientas es la mejor o las más potente, pues creemos que tal afirmación se ha de hacer pensando en el tipo de usuario al que puede servir.*

*Teniendo en cuenta lo anterior, nos atrevemos a esbozar una tabla resumen en la que concentramos lo que son a nuestro juicio ventajas, inconvenientes y usuarios potenciales de cada una de los anteriores programas.*

*Así, los campos de la Tabla 6.1 son los siguientes y proporcionan la información que aquí se indica:*

- *Numero de barras: se indica aquí la cantidad de barras que formarán el mecanismo solución.*
- *Posiciones prescritas: la cantidad de posiciones indicadas por el usuario que el programa es capaz de recibir.*
- *Trayectoria: indica si el programa realiza síntesis de posición.*
- *Guiado: indica si el software realiza síntesis de guiado de sólido rígido.*
- *G. Función: cuando el programa realiza síntesis de generación de función.*
- *A favor: resumen de los puntos fuertes de la aplicación.*
- *En contra: resumen de los puntos que se podrían mejorar.*
- *Útil para: indica el tipo de usuario al que puede ser útil.*

	Número de barras	Posiciones Prescritas	Trayectoria	Guiado	G. Función	A favor	En contra	Útil para
<b>LINCAGES</b>	4 y 6	3 y 4	SI	SI	SI	<p>-Fue la pionera</p> <p>-Mapea el espacio de soluciones, describiendo automáticamente zonas del plano donde ubicar las barras.</p>	<p>-Insertar un entorno en forma de imagen es muy laborioso y peligroso.</p> <p>-Resultado en formato de texto y/o imagen.</p> <p>-El código no es editable ni ampliable por el usuario.</p>	<p>-Industria</p> <p>-Docencia</p>
<b>WATT</b>	4,5,6 u 8	∞	SI	SI	NO	<p>-Inserción de fondo en dxf</p> <p>-Permite forzar posición de pivotes fijos y móviles</p> <p>-Pasa de síntesis exacta a aproximada automáticamente</p> <p>-Exporta a Excel</p>	<p>-La indicación de la orientación es laboriosa</p> <p>-No realiza síntesis de generación de función</p>	<p>-Industria</p> <p>-Docencia</p>

Capítulo 6

	Número de barras	Posiciones Prescritas	Trayectoria	Guiado	G. Función	A favor	En contra	Útil para
<b>SAM</b>	4	3 (6 para gen. Func.)	SI	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite Importar fondo en dxf</li> <li>-Permite exportar bocetos de mecanismos en dxf</li> <li>-Optimización en la versión profesional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Este es mayormente un programa de análisis</li> <li>-Los problemas de síntesis se resuelven mediante asistentes, así el usuario se puede ver muy limitado a un tipo de problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Docencia básica.</li> <li>-Industria con necesidades esporádicas.</li> </ul>
<b>SYMECH</b>	4,6 (hasta 32 en la versión comercial)	3	SI	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Muy fácil uso si se dispone de PRO/Engineer</li> <li>-Diseño de mecanismos directo, interactivo y dinámico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Su uso es exclusivo en y con PRO/Engineer</li> <li>-Excesivamente automático.</li> <li>-El usuario ha de ir probando "a ciegas" entre alternativas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Industria</li> </ul>

Algunas herramientas de síntesis de mecanismos

	Número de barras	Posiciones Prescritas	Trayectoria	Guiado	G. Función	A favor	En contra	Útil para
<b>SYNTHETICA</b>	$\infty$	$\infty$	SI	SI	NO	<p>-Es la única herramienta de las aquí nombradas que permite trabajar con contenidos en el plano</p> <p>-Puede ejecutarse en diversos sistemas operativos sin ninguna modificación</p> <p>-Permite ser ampliada (no editada) por los usuarios.</p>	<p>-Complejidad de uso elevada.</p> <p>-El diseño final se proporciona a modo de coordenadas y longitudes que posteriormente el diseñador ha de traducir a su sistema CAD.</p>	<p>-Investigación</p> <p>-Docencia con alto nivel de contenidos.</p>
<b>RRC5+MG</b>	4	Exactamente 5 (no menos)	NO	SI	SI	<p>-Si se introduce correctamente la información, y si el sistema de ecuaciones tiene solución, el usuario resuelve muy rápidamente su problema y llega a una representación en un entorno CAD absolutamente clara y aprovechable.</p> <p>-Permite edición de las líneas de código relacionadas con la síntesis de mecanismos.</p>	<p>-Es complicado entender el formato en que se han de introducir las restricciones del usuario.</p> <p>-En caso de no disponer de SolidWorks, el usuario deberá traducir longitudes y coordenadas a mano. Sería interesante que el resultado se pudiese leer desde otras aplicaciones CAD.</p> <p>-Resolver 5 posiciones, y no menos, puede conducir fácilmente a no obtener solución.</p>	<p>-Docencia de algoritmos orientados a la síntesis de mecanismos.</p>

	Número de barras	Posiciones Prescritas	Trayectoria	Guiado	G. Función	A favor	En contra	Útil para
<b>LINKAGES</b>	4	2 o 3	NO	SI	NO	-Muy interesante para estudiantes que quieran comprobar un cálculo previamente realizado a mano	-Difícil interpretación de los signos y valores a introducir en la interfaz de usuario -Al resolver 3 posiciones como mucho puede ser poco valorado por la industria.	-Docencia
<b>CIMEC</b>	8	4	SI	SI	SI	-Es la única herramienta de las aquí citadas que discrimina por sí misma entre tipos de mecanismos para presentar una solución al usuario	-Requiere ser usuario de la herramienta Oofelie. -No es editable ni ampliable. -Los criterios que los autores han programado para discriminar entre posibles soluciones pueden ser discutibles para algunos usos o aplicaciones concretas.	-Excelente herramienta para la industria. -Docencia con previa formación en Oofelie.

Tabla 6.1.- Resumen de características de los programas informáticos más representativos y relacionados con la síntesis de mecanismos.

## 6.10 Conclusiones

*Tras observar la anterior tabla con detenimiento, podemos opinar que actualmente existe una oferta considerablemente limitada de programas o aplicaciones informáticas que intentan asistir al diseñador de mecanismos en la tarea de síntesis de mecanismos.*

*Sólo RRCS+MG es editable, -aunque no en su totalidad pues Mechanisms Generator es un ejecutable-, cosa que puede ser interesante para que el usuario amplíe su potencial o alcance, sucede que esta herramienta presenta el inconveniente de tener que introducir datos mediante valores numéricos debidamente codificados, cosa que obliga al usuario a tener nociones básicas de los conceptos asociados a los datos que se han de introducir, aspecto que entro otros imposibilita que esta herramienta se pueda usar en las aulas desde el primer día de clase. Además el uso de esta aplicación está asociado más o menos exclusivamente al programa SolidWorks.*

*Sólo el programa SyMech permite liberar al usuario de la tediosa y peligrosa tarea de introducción de coordenadas y datos numéricos con sus correspondientes signos. Esto consideramos es importante, pues a parte de ocupar un cierto tiempo, requiere que el usuario deba colocar un origen de coordenadas en su problema para poder dar la información que necesita la aplicación de destino. El problema es que SyMech sólo trabaja con PRO/Engineer, y que por tanto restringe su uso a personas que conocen dicha herramienta. Por otro lado, bajo el punto de vista de la síntesis de mecanismos, y tal como hemos dicho unas páginas antes, SyMech decide automáticamente demasiados parámetros, con lo que no creemos que esta sea una aplicación que pueda interesar al mundo docente.*

*En cuanto a la obtención de resultados, sólo cuatro de las ocho herramientas estudiadas aquí son capaces de evitar al usuario la tarea de traducir los resultados obtenidos a un programa CAD, en el que realizar el diseño mecánico final que resuelve una determinada problemática. El hecho de tener que traducir el mecanismo resultante a un sistema CAD, puede generar considerable errores, pues igual que introduciendo valores al programa, se deberá establecer un origen de coordenadas que deberá coincidir con el que el programa de síntesis haya trabajado. Así tenemos la siguiente lista de programas de síntesis que exportan resultados de una u otra manera a un entorno CAD:*

- SAM permite exportar bocetos de mecanismos en formato dxf.
- SyMech trabaja sólo en el entorno de PRO/Engineer
- RRCS+MG permite exportar a SolidWorks
- La herramienta del CIMEC está integrada con el CAD para elementos finitos SAMCEF FIELD v5

*Así, y tal como hemos comentado anteriormente, SAM es un programa eminentemente de análisis de mecanismos, y por tanto poco adecuado para enfrentarse a problemas algo complejos de síntesis de mecanismos. En los otros tres casos la exportación es perfecta pero hacia una marca comercial concreta, hecho que obliga a disponer y a conocer el producto asociado correspondiente.*

*Por tanto, después de entender todo lo anterior, concluimos que sería interesante disponer de una herramienta con las siguientes características:*

1. *Que pueda ser editada y ampliada por el usuario en su totalidad.*
2. *Que esté integrada en un programa CAD (o más de uno).*

3. *Que evite la introducción numérica de información por parte del usuario.*
4. *Que el resultado de la cual sea exportable a todos, o como mínimo a un gran numero de programas CAD.*
5. *Que resuelva problemas de diversas dificultades para poder ser interesante para el mundo docente. Permitiendo así que se puedan enfrentar a ella usuarios con diversos niveles de conocimiento de síntesis de mecanismos, desde conceptos muy básicos hasta los más complejos. Esto posibilitaría que los estudiantes trabajasen desde el primer día de clase con esta aplicación.*
6. *Que no sea solo una herramienta para la docencia, y que interese por tanto también al mundo industrial. Así, debiera suponer un uso relativamente ágil e intuitivo.*





# 7

---

## CAMS<sub>4</sub>

*El título de este capítulo proviene del acrónimo del inglés Computer Aided Mechanisms Synthesis, pues así hemos querido bautizar al que es uno de los principales resultados de nuestra investigación: un software que aborda el problema de síntesis exacta de guiado de sólido rígido para mecanismos planos articulados de cuatro barras, -de ahí el subíndice 4 -, con este acrónimo hemos buscado que el nombre de nuestra herramienta se asemeje al del archiconocido CAD, - Computer Aided Design -, pues una de las características que se han perseguido desde el principio de esta investigación, es que nuestro programa informático esté muy ligado a esta última familia de herramientas, tan usadas hoy en día en muchísimos ámbitos, y en especial en el del proceso de diseño de maquinaria.*

*Así, nuestro programa va a resolver los problemas de síntesis para 3, 4 y 5 posiciones prescritas con especificación de orientación, justificamos aquí el hecho de no resolver el problema para dos posiciones bajo diversos puntos de vista, el primero es que este caso se puede substituir muy fácilmente por el procedimiento para tres posiciones, y en segundo lugar el problema de dos posiciones se usa muy poco en la industria, pues suele ser demasiado poco restrictivo.*

*Hemos desarrollado nuestra aplicación como dos programas que se comunican entre sí, así, hemos creado un grupo de algoritmos para trabajar con un núcleo de cálculo científico, Mathematica en este caso, y hemos elaborado otro grupo de rutinas para que se ejecutan en un programa CAD 3D paramétrico (CatiaV5). Efectivamente, el núcleo de cálculo lo utilizamos para resolver sistemas de ecuaciones no lineales de matemática imaginaria, y el CAD se utiliza fundamentalmente para dos finalidades: introducir geometrías y en segundo lugar para mostrar resultados. De esta manera el diseñador mecánico sólo percibe el entorno gráfico del programa de CAD 3D, en ningún momento ha de salir de este entorno, y además toda la información que ha de proporcionar a CAMS<sub>4</sub> es de tipo gráfico, no ha de introducir ningún valor numérico o similar.*

### 7.1 El núcleo de cálculo

*Existen diversas aplicaciones matemáticas que satisfacen nuestros requerimientos de cálculo, entre ellos destacamos Matlab, Mathematica y Python [37], en los dos primeros casos se tienen herramientas comerciales, de elevadísima potencia y precio considerable, aunque se ha de decir que estas son herramientas que las facultades acostumbran a poner al alcance de sus estudiantes, de todas maneras, y si no fuera ese el caso, los fabricantes de éstas disponen de versiones estudiantiles a precios muy económicos. En el caso de Python, hablamos de software libre, o sea, una herramienta totalmente gratuita.*

*Aunque la opción de Python es muy atractiva por el simple hecho de su gratuidad, y su libre acceso, ha sido descartada por requerir conocimientos considerablemente elevados de programación al usuario. Esta es una herramienta muy parecida al C, de hecho está construida en lenguaje C, muy potente e interesante, pero que requeriría al usuario de nuestra aplicación elevados conocimientos de programación para poder añadir o eliminar líneas de código.*

*De entre Matlab y Mathematica hemos escogido Mathematica principalmente por dos motivos:*

- *Ofrece esta última una interfaz de usuario muy intuitiva y una ayuda extensísima, tanto en modo local como a través de la red.*
- *Mathematica dispone de órdenes del tipo Dynamic o Manipulate, dedicadas a la creación de interfaces de usuario a partir de funciones y rutinas programadas, de esta manera, y gracias a este tipo de órdenes, escogemos una herramienta que efectivamente hay que saber utilizar, pero que ofrece posibilidades de uso y modificación de código con relativamente pocas horas de aprendizaje, pues nuestra intención es facilitar al máximo la interacción con el usuario final, de tal manera, que si se desea, éste puede escribir líneas de código adicional o modificar las existentes.*

## 7.2 La herramienta CAD

*En el caso del CAD, disponemos también de diversas herramientas de esta familia que incorporen simuladores cinemáticos, ya sea en forma de módulo adicional del mismo fabricante, ya sea como programa o porción de programa externo que ha sido adquirido por parte del fabricante del CAD. Opinamos que es importante que el programa de diseño con el que nos comuniquemos disponga de la anteriormente citada capacidad de analizar mecanismos, pues esto permitiría que el diseñador pudiera refinar o comprobar a posteriori los resultados obtenidos con nuestra aplicación.*

*Así, destacamos SolidWorks, ProEngineer, NX y CatiaV5. De entre ellos nos decantamos por CatiaV5 por diversos motivos:*

- *La mayoría de escuelas en Europa disponen de licencias de uso académico: nos permite llegar a un gran número de estudiantes.*
- *La Industria Europea lo ha adoptado como estándar: Esto nos brinda la posibilidad de que un gran número de empresas europeas puedan utilizar nuestra herramienta.*
- *Presenta un comportamiento considerablemente estable: frente a otras herramientas, y del mismo modo que NX o ProEngineer, ofrece una considerable estabilidad de uso en ordenadores relativamente modestos, incluso con conjuntos mecánicos con gran cantidad de piezas.*
- *Es una garantía de continuidad en lo referente al cambio de versión: las mutaciones que se producen entre cambios de versión son, en la mayoría de ocasiones, razonables, de hecho este es uno de los motivos por el que la Industria Europea lo adopta como estándar. Con esto intentamos que nuestra aplicación continúe funcionando aun cuando CatiaV5 cambie la revisión.*
- *Ofrece un módulo cinemático propio: Es interesante que el módulo cinemático de la aplicación CAD sea del propio fabricante, ya que de esta manera, hay menos problemas de comunicación entre el CAD y la cinemática, además, y de manera indirecta se busca con esto una estabilidad para cuando se pase de una versión a*

otra. Se intenta perseguir con esto la independencia respecto a terceros programas o fabricantes.

## 7.3 Metodología

Tal como acabamos de explicar, vamos a utilizar dos aplicaciones: un núcleo de cálculo y un CAD 3D paramétrico. Efectivamente, el núcleo de cálculo lo utilizamos para resolver sistemas de ecuaciones no lineales de matemática compleja, y el CAD va a utilizarse fundamentalmente para dos finalidades: introducir geometrías con las restricciones especificadas por el usuario, y en segundo lugar para mostrar resultados.

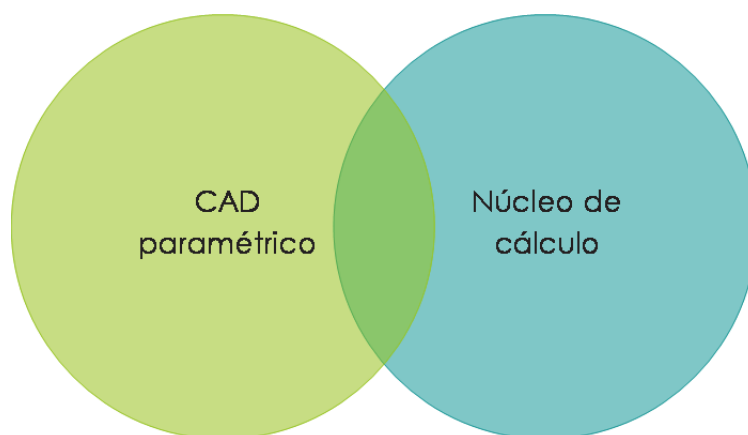


Figura 7.1.-Concepto de desarrollo para nuestra aplicación: Se trata de dos rutinas independientes, una en un programa CAD 3D paramétrico comercial y otra en una herramienta de cálculo matemático. Ambas herramientas pueden comunicarse entre sí.

Dicho sea de paso, los resultados obtenidos van ser un conjunto de mecanismos, que se mostraran en pantalla del programa CAD.

A partir de ahí es el usuario quien decide qué hacer con esta información: puede simplemente aceptarla, analizarla, refinarla, quizás desee realizar análisis de cinemática para comprobar resultados, o cualquier otra tarea, como por ejemplo realizar una animación, simulación por elementos finitos, o detectar posibles impactos o interferencias con el entorno donde se deba implantar la máquina.

Con este objetivo, vemos que hemos de programar las dos herramientas: el CAD y el núcleo de cálculo. En esta línea vamos a programar código en el programa CAD, en VBScript<sup>54</sup>, uno de los lenguajes de programación con el que podemos automatizar el programa CAD 3D paramétrico escogido. Estas líneas van brindar al CAD la posibilidad de comunicarse con la otra aplicación, esto es enviar y recibir información entre CAD y núcleo de cálculo. De esta manera, el usuario va a poder, mediante un protocolo a especificar, generar

<sup>54</sup> VBScript es de hecho un fragmento del antiguamente conocido Visual Basic, ahora llamado en sus últimas versiones Visual Net. Ambos son de hecho productos de Microsoft. La diferencia principal entre uno y otro estriba en que VBScript está orientado a la creación de Macros de MS Office y de otros programas, mientras que Visual Net está pensado para crear ejecutables, DLLs, etc. Así, se puede decir que de hecho son el mismo lenguaje con la única diferencia que VBScript está limitado por el fabricante a la hora de realizar determinadas tareas, entre ellas la conocida multithreading o multihebra, esto es la posibilidad de lanzar dos o más procesos de cálculo “simultáneamente”.

## CAMS<sub>4</sub>

geometría en tres dimensiones para que el programa de resolución matemática lo pueda interpretar y sea capaz de resolver las diversas expresiones matemáticas que su resolución comporta. A continuación, el núcleo de cálculo va a resolver dichas expresiones y va a generar valores numéricos que el programa CAD va a ser capaz de entender y mostrar en pantalla. Todo ello en tres dimensiones.

### 7.4 Uso habitual de la herramienta

Por defecto, el usuario deberá iniciar los dos programas: el CAD y el núcleo de cálculo (ver Figura 7.2 y Figura 7.4 respectivamente).

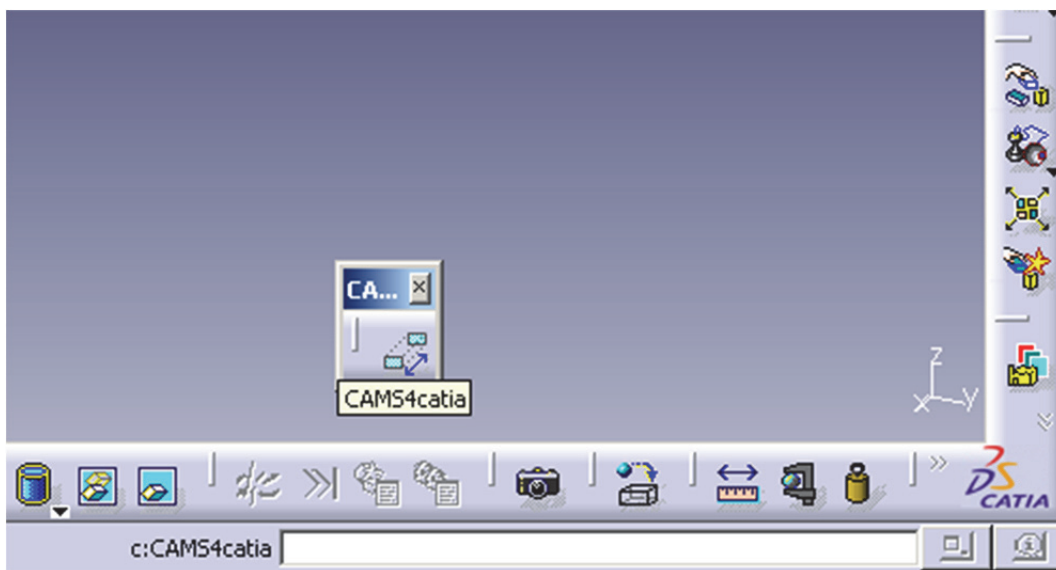


Figura 7.2 Aspecto de una zona de la pantalla de CatiaV5 en la que se observa el icono de la aplicación CAMS<sub>4</sub>.

#### 7.4.1 Configurando CatiaV5

En el caso de la plataforma CAD, el usuario deberá haber instalado la macro CAMS4catia.catvba<sup>55</sup>, que en la figura superior podemos identificar según el icono mostrado.

El proceso de instalación de dicho archivo se puede realizar desde el entorno pieza (Part Design) y/o producto (Assembly Design), y en ambos casos los pasos son los mismos:

1. En el menú de CatiaV5 seleccionar Tools/Macro/Macros [Alt+F8], para que aparezca el cuadro de diálogo "Macros" mostrado en la Figura 7.3
2. Apretar el botón "Select", - tal como indica dicha figura-, para que surja el cuadro de diálogo "Select a macro file" que nos permitirá indicar a la plataforma CAD la ubicación concreta de la macro que queremos instalar.

<sup>55</sup> El lector podrá encontrar el código completo de la macro CAMS4catia y de CAMS<sub>4</sub> en los anexos B y C respectivamente.

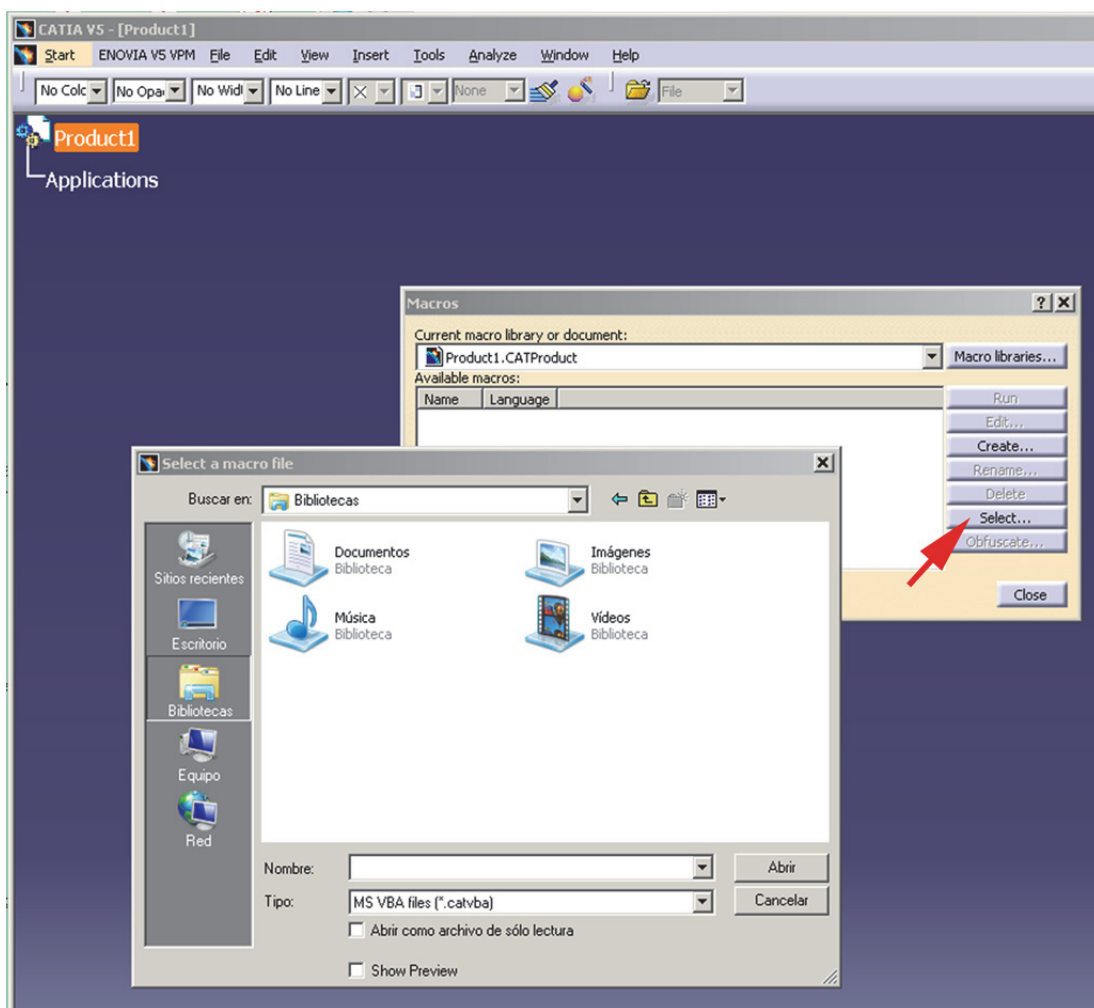


Figura 7.3 Pantalla de CatiaV5 en que se reproduce el proceso de instalación de una macro.

Puede interesar al lector saber que la instalación realizada es de tipo permanente, esto quiere decir que, a no ser que el usuario modifique la ubicación del archivo de macro, dicho complemento queda instalado hasta que el usuario lo desinstale.

### 7.4.2 Iniciando el núcleo de cálculo

En el caso de Mathematica se trata de ejecutar el archivo CAMS4.nb, ver siguiente figura, que presenta una interfaz basada en secciones y que ofrece las posibilidades de cálculo siguientes:

- Tres posiciones con orientación prescrita (Three positions)
- Cuatro posiciones con orientación prescrita (Four positions)
- Cinco posiciones con orientación prescrita (Five positions)

Además la interfaz del núcleo de cálculo ofrece una sección para acceder a la configuración de variables y declaración de funciones (Initialization functions and variables). Entre otras acciones, aquí el usuario puede modificar la dirección del disco duro local o de la ubicación de red donde ha de ir a buscar la información que exporta la plataforma CAD, y donde el núcleo de cálculo guarda los resultados obtenidos.

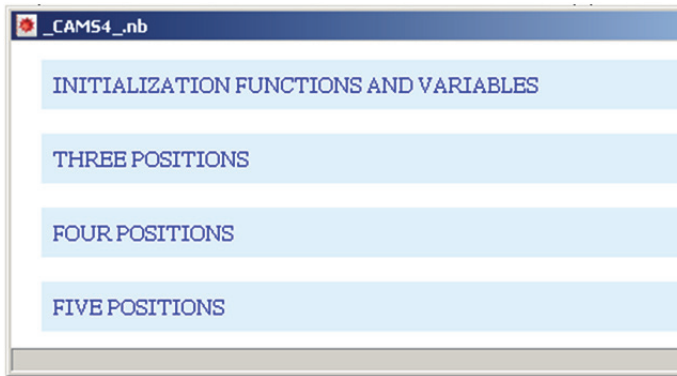
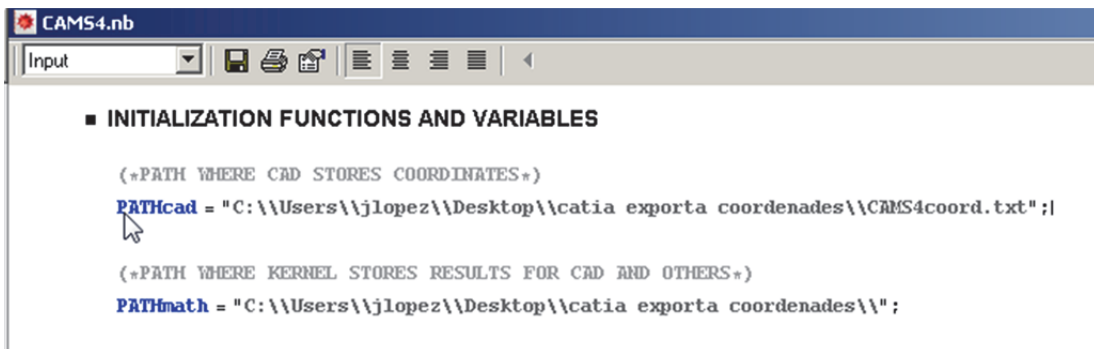


Figura 7.4 Arriba: Aspecto inicial de la pantalla de CAMS<sub>4</sub> en el entorno Mathematica. Abajo: Parte del contenido de la sección de inicialización de variables y funciones del núcleo de cálculo



## 7.5 Flujo de trabajo

Una vez todo instalado e inicializado, en el programa CAD el usuario podrá generar geometría según la estructura de la Figura 7.6, -que comentaremos en profundidad más adelante en el apartado 7.6-. Geometría que mediante un protocolo establecido y a través de líneas de código programadas en la aplicación CAD, se transformarán en un archivo de texto que contendrá entre otros, la información codificada tal como se muestra en la Figura 7.5, en la que se puede ver una matriz de  $n$  filas, correspondientes a las  $n$  posiciones prescritas, y de tres columnas, donde  $x_i$  e  $y_i$  representan las coordenadas cartesianas de los puntos de paso de la posición  $i$ , y donde  $\Psi_i$  representa la orientación deseada de la barra acopladora en dicha posición.

$$\begin{pmatrix} x_i & y_i & \Psi_i \\ x_{i+1} & y_{i+1} & \Psi_{i+1} \\ \dots & & \\ x_n & y_n & \Psi_n \end{pmatrix}$$

Figura 7.5 Estructura de la información codificada que el CAD3D exporta al núcleo de cálculo. Se trata de una matriz con  $n$  filas correspondientes a  $n$  posiciones prescritas con orientación.

A su vez, y cuando el usuario seleccione el tipo de problema a resolver según la parte superior de la Figura 7.4, el núcleo de cálculo recogerá la información generada por CatiaV5 según el valor de la variable de inicialización **PATHcad**, ver parte inferior de la Figura 7.4, archivo que contendrá la información que el programa de cálculo necesita para poder realizar la resolución del problema seleccionado por el usuario. Finalizado el proceso de resolución matemática, el núcleo de cálculo generará otros archivos de texto también codificados, en este caso se tratará de dos archivos de extensión **wrl**<sup>56</sup>, de tal manera que estos puedan ser interpretados por la otra aplicación, y así de esta manera podremos importar los datos al CAD, que a su vez descodificará dicha información para poder mostrar en pantalla el conjunto de soluciones halladas.

## 7.6 La estructura requerida del archivo CAD

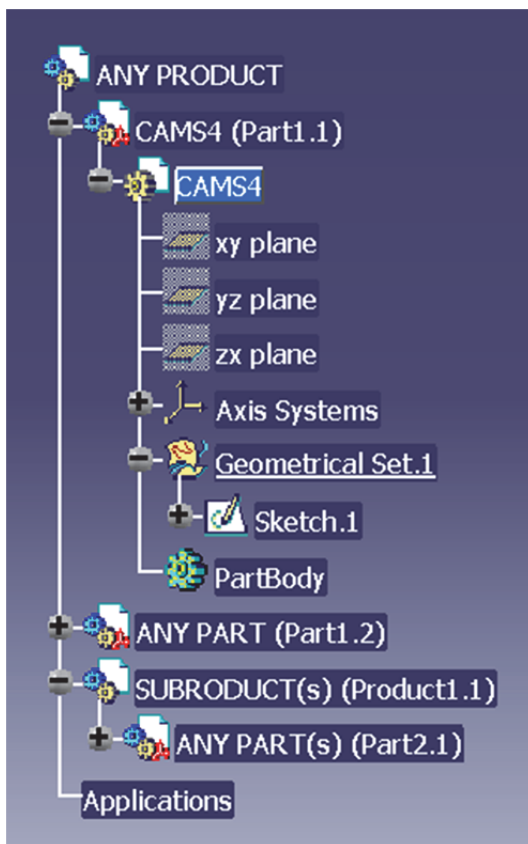


Figura 7.6 Estructura general del archivo de CatiaV5 ya preparado para exportar información al núcleo de cálculo

Tal como ya hemos escrito en el inicio del presente capítulo, hemos perseguido en todo momento que el uso de CAMS<sub>4</sub> no conlleve ninguna dificultad a la hora de usarse. Así hemos diseñado la estructura de trabajo con CAMS<sub>4</sub> pensado principalmente en la situación habitual de trabajo de un diseñador mecánico, que normalmente se enfrenta a un conjunto mecánico con una determinada problemática ante la pantalla de su plataforma CAD.

Así, para poder utilizar la potencia de CAMS<sub>4</sub>, lo único que se deberá hacer es insertar una pieza nueva en cualquier parte de la estructura del conjunto donde se esté trabajando. Eso es justamente lo que muestra la figura de la izquierda: sea cual sea la estructura del conjunto o subconjunto que se esté diseñando hemos de insertar una pieza que se ha llamar “CAMS4.CatPart” y que ha de estar anidada dentro del conjunto o subconjunto mecánico que queremos abordar (ver Figura 7.6).

Una vez aquí el usuario ha de dibujar las diversas posiciones con orientación a modo de líneas en un boceto (sketch en CatiaV5).

<sup>56</sup> Los archivos \*.wrl son archivos de texto con un formato concreto y estandarizado (Web 3D Consortium) que contienen información geométrica en forma vectorial, colores, texturas, brillos, etc. Habitualmente estos archivos se conocen como WRML, acrónimo anglosajón de Virtual Reality Modelling Language, algo así como Lenguaje de Modelado de Realidad Virtual. La primera versión de este formato surgió a finales de 1994, con la intención de servir para generar realidades virtuales en tres dimensiones a través de internet. Así estos archivos pueden visualizarse a través de navegadores web, la mayoría de plataformas CAD3D, y otros programas preparados para interpretar geometría vectorial en tres dimensiones. Cabe comentar que este formato está en proceso de ser sustituido por el nuevo tipo de archivo \*.X3D, que de hecho es una evolución del \*.wrl, justificamos aquí el uso del más antiguo en nuestra aplicación pensando en maximizar la compatibilidad de CAMS<sub>4</sub> con otros programas, pues en la actualidad la mayoría de plataformas CAD3D todavía no aceptan el nuevo formato.



## CAMS<sub>4</sub>

---

*Es importante aquí destacar que no se ha de especificar ningún ángulo concreto, sino que simplemente se ha de dibujar líneas con la orientación deseada que representaran las diversas posiciones con orientación de la barra acopladora del mecanismo de cuatro barras articulado buscado. De lo anterior se deduce que el orden de dibujo es importante, pues éste va a influir en la interpretación que el software haga de la geometría que el usuario proporcione.*

*En la Figura 7.7 podemos ver un ejemplo de uso en que se han prescrito dos<sup>57</sup> posiciones con orientación: fíjese el lector que, a la izquierda de la imagen, desplegando el contenido del boceto “Sketch.1”, se tienen dos líneas y cuatro puntos, habiéndose dibujado por este orden:*

- *Point.1*
- *Point.2*
- *Point.3*
- *Point.4*

*Que corresponden respectivamente a los puntos inicial y final de las dos líneas. Así, sólo con esta información, CAMS<sub>4</sub> es capaz de interpretar dicha geometría como las restricciones de paso prescritas de un problema de síntesis de mecanismos articulados de 4 barras de dos posiciones especificadas. Y concretamente lo que interpreta dicha herramienta es que se busca un mecanismo articulado de cuatro barras que pase por los puntos Point.1 y Point.3 y que lo haga según los ángulos u orientaciones Alfa<sub>1</sub> y Alfa<sub>2</sub> respectivamente. Ángulos que, dicho sea de paso, el usuario no ha de especificar, pues el propio CAMS<sub>4</sub> calculará según la posición de los otros dos puntos especificados: Point.2 y Point.4.*

*Aprovechamos aquí para advertir al lector de dos consecuencias de lo que acabamos de escribir:*

1. *CAMS<sub>4</sub> siempre buscará un mecanismo que pase por los puntos Point.1, Point.3, Point.5, Point.7, Point.9,- en la imagen sólo por los dos primeros, pues en ese caso se trata de un problema de sólo dos posiciones-, pues estos serán siempre los primeros puntos dibujados de las posibles líneas que el usuario puede trazar para los problemas de 3, 4 o 5 posiciones prescritas. O sea, la máquina tendrá un punto de su barra acopladora que transcurrirá por los puntos iniciales de las líneas trazadas por el usuario.*
2. *Los puntos finales de las líneas dibujadas por el diseñador o diseñadora, estos son como máximo Point.2, Point.4, Point.6, Point.8 y Point.10, sólo sirven para calcular la orientación de la línea o barra buscada. Así esto permite que el usuario no deba introducir ningún ángulo numérico concreto.*
3. *Así como la precisión en el trazo o concreción de los primeros puntos de las líneas dibujadas es importante para que el mecanismo buscado transcurra exactamente por estos, no sucede exactamente lo mismo con los puntos finales de las rectas dibujadas, pues no nos importa la longitud exacta de la línea, ya que el segundo*

---

<sup>57</sup> Aclaremos aquí que en la Figura 7.7 se han trazado únicamente dos posiciones con la intención de simplificar la comprensión al lector, pues en estos párrafos se está explicando cómo el programa interpreta la información gráfica generada por el usuario, sin ser de gran importancia la cantidad de posiciones impuestas por éste, pues el protocolo de interpretación es el mismo e independiente de la cantidad de imposiciones. Sólo recordar que nuestra herramienta no resuelve el caso de dos posiciones, tal como ya se ha indicado en el apartado 7.4.2 y al comienzo del presente capítulo, sino que aborda los problemas de 3, 4 y 5 posiciones prescritas.

punto que define la recta puede ser cualquiera siempre que defina la dirección deseada.

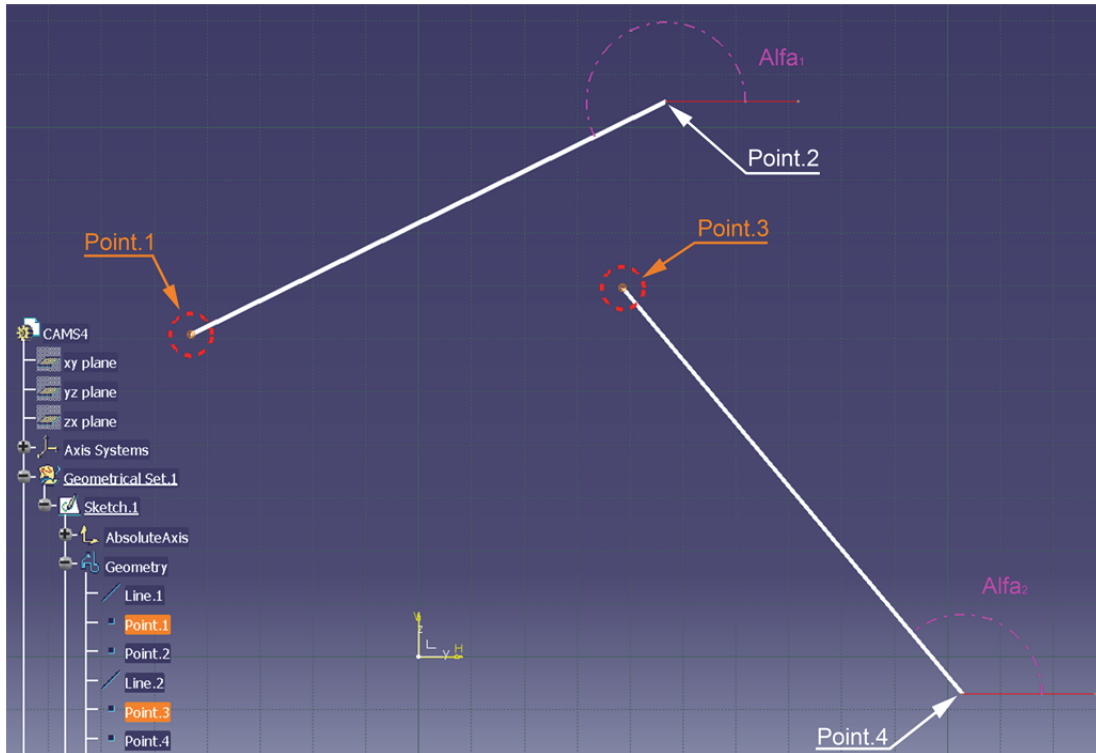


Figura 7.7 Dos posiciones de la barra acopladora dibujadas en un boceto de CatiaV5

Comparando la imagen superior con la de la Figura 4.1 (en la página 68 del presente documento), podemos comprender algo mejor el tratamiento matemático que se ilustra en esa figura, así el vector  $\delta_j$  de allí, que representa el desplazamiento de cada una de las posiciones prescritas respecto a la primera, correspondería aquí al vector que va del punto Point.1 al Point.3, mientras que el ángulo girado por la posición  $j$  respecto a la posición inicial, que en aquella figura hemos representado mediante  $\alpha_j$ , correspondería aquí a la diferencia entre  $\text{Alfa}_2$  y  $\text{Alfa}_1$ . Justamente estos dos parámetros: el vector  $\delta_j$  y el ángulo girado  $\alpha_j$ , son los valores conocidos por el diseñador mecánico a la hora de afrontar su problema de síntesis.

## 7.7 Tras ejecutar CAMS<sub>4</sub>

El resultado de la computación de CAMS<sub>4</sub>, y tal como ya hemos escrito anteriormente son dos archivos \*.wrl:

- *Mlines.wrl*: Contiene la ubicación de los puntos  $M$ , -recuérdese el apartado 4.1.1 -, o sea todas las ubicaciones posibles de articulaciones fijas, o unidas a la bancada de todos los posibles mecanismos articulados de cuatro barras que satisfagan las restricciones del usuario. Está formateado de tal manera que contiene una curva formada a base de pequeños cilindros<sup>58</sup>, que transcurre por todos y cada uno de los puntos  $M$  hallados.

<sup>58</sup> Se ha utilizado la función cilindro en lugar de la línea, pues aunque el lenguaje WRML permite trazar líneas en el espacio, la geometría tridimensional como por ejemplo el cilindro, posee propiedades adicionales como la transparencia o la textura que hemos creído muy interesantes y que nos han hecho decantar por esta opción.

## CAMS<sub>4</sub>

- *MKlines.wrl*: Contiene cada una de las posibles barras que nacen en una articulación fija (punto M) y acaban en su correspondiente punto K, o sea, representan directamente todas y cada una de las posibles barras que tienen contacto con el bastidor del mecanismo buscado. Del mismo modo que en el caso anterior las barras son representadas mediante cilindros.

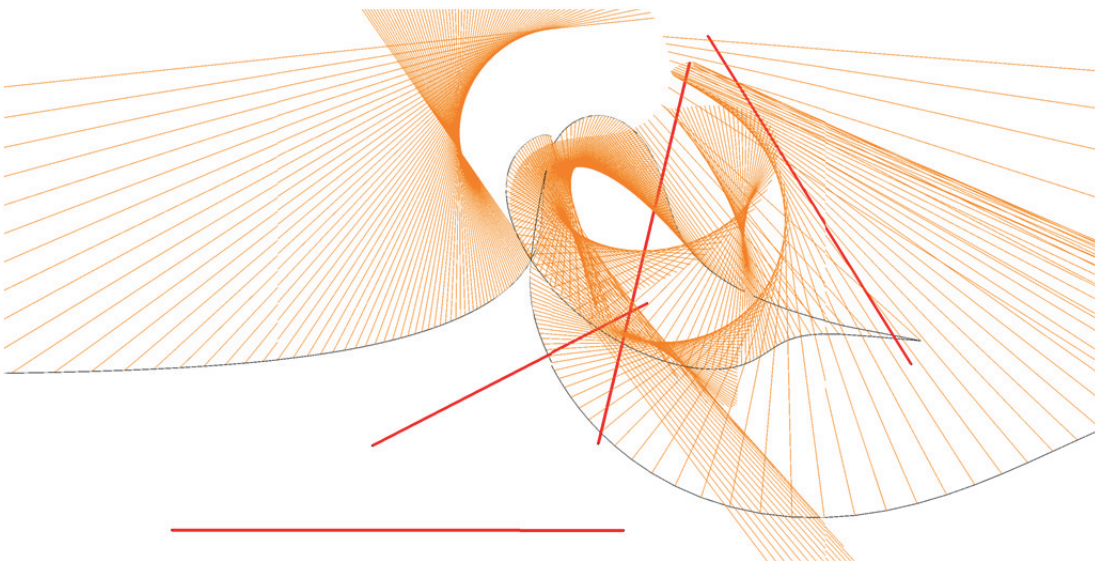
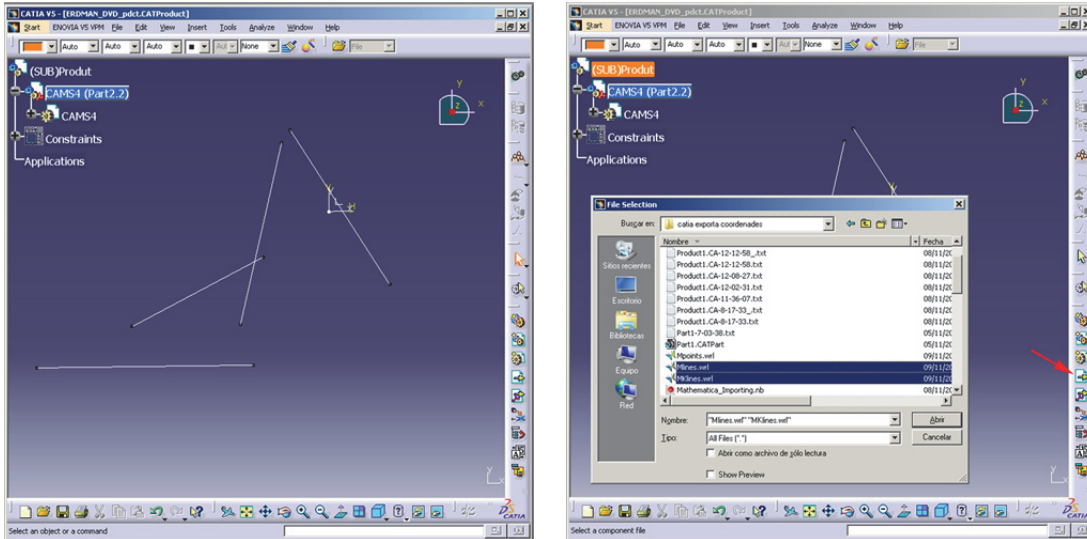


Figura 7.8 Proceso de diseño con CAMS<sub>4</sub> de un problema con 4 posiciones con orientación prescrita. Arriba a la izquierda: Restricciones de paso impuestas por el usuario. Arriba a la derecha: insertando los archivos \*.wrl contenedores del conjunto de soluciones. Abajo: entorno de diseño final en que el usuario tiene a su disposición todas las posibles barras articuladas al bastidor del mecanismo de cuatro barras buscado, representadas aquí mediante trazos finos de color naranja. Recomendamos al lector que para una correcta interpretación de estos resultados, lea más adelante el apartado 7.9 del presente documento, donde hallará un ejemplo mucho más concreto del uso e interpretación de nuestra herramienta.

Así, y visto el resultado obtenido, el usuario ha de insertar dichos archivos en su sub/conjunto, con lo que va a continuar inmerso en su entorno habitual de trabajo, con la única diferencia de que ahora, además de ver su diseño o pre diseño mecánico, va a tener un par de “piezas” adicionales, -los archivos acabados de insertar-, que va a poder usar a

*modo de papel vegetal para poder trazar un boceto (sketch) sobre él, y de esta manera poder diseñar posibles mecanismos solución a su problema.*

*Dichos archivos contienen la representación del conjunto de mecanismos solución a un determinado problema, y el programa los almacena en la ruta especificada mediante la variable configurable **Pathmath**, recuérdese la Figura 7.4 en la página 118 de la presente investigación. Aprovechamos ahora para comentar que estos archivos se van sobrescribiendo a medida que el usuario va calculando cada problema, cosa que obliga al diseñador a guardar una copia de los resultados obtenidos con CAMS<sub>4</sub> tras cada ejecución en caso de que éste crea que son de su interés o dignos de un posterior estudio.*

## **7.8 Modificaciones de código por parte del usuario**

*CAMS<sub>4</sub> es un software de código abierto con herramientas comerciales, esto es, aunque estamos utilizando en todo momento un CAD y un programa de cálculo simbólico totalmente comerciales, o sea con licencia no gratuita, queremos brindar la posibilidad de que el usuario pueda modificar o añadir líneas de código a voluntad.*

*Por eso en ningún momento pensamos en aportar un solo archivo ejecutable, que el usuario pueda utilizar sin saber qué esconde éste en su interior. De buen principio hemos buscado su posible edición o modificación.*

*Tanto es así, que va a ser posible editar el diálogo entre CAD y núcleo de cálculo de igual modo que la propia resolución matemática en el interior de dicho núcleo. Las únicas restricciones que van a existir al respecto son:*

- *El usuario va a tener que disponer de dichas aplicaciones comerciales.*
- *El usuario va a tener que ser conocedor de la programación de ambas herramientas.*

*Aunque el hecho de que presentemos una herramienta editable sea primordialmente útil para la docencia o la investigación, creemos que también es posible que esta característica de nuestro software puede ser también útil en un entorno industrial, pues ofrece a las empresas posibles post-desarrollos, o quizás personalizaciones a medida de un determinado proceso o producto industrial.*

## **7.9 Ejemplo de uso: Tren de Aterrizaje**

*Hemos querido ilustrar el uso y los resultados de nuestra aplicación mediante un caso de diseño real: hemos diseñado un tren de aterrizaje de una aeronave, y más concretamente nos hemos inspirado en las medidas y capacidades del AIRBUS 380 [8][50], uno de los proyectos de ingeniería más importantes de la industria aeroespacial europea, pues entre algunos de sus gigantescos datos, podemos nombrar que tiene capacidad para transportar 555 pasajeros, o que su longitud total es de 72,75 m*

Un avión de este tipo posee 5 sistemas de trenes de aterrizaje diferentes:

- *El principal: colocado en la parte central de la nave. Es el más robusto de todos, pues es el primero en tocar la pista de aterrizaje y es por tanto el que más sollicitaciones mecánicas recibe. Este sistema está duplicado, pues hay uno a cada costado de la parte central de la nave, ambos incorporan 6 ruedas, de las cuales sólo 4 de ellas llevan freno hidráulico. Los diámetros de las ruedas rondan los 1,5 m.*
- *Alas: en cada ala, se incorpora otro tren de aterrizaje, en este caso algo menos robusto que el anterior. En cada uno de estos sistemas encontramos 4 ruedas, en este caso las 4 llevan sistema de freno hidráulico.*
- *Frontal o de nariz: El menos robusto de todos, pues es el último en aterrizar. Estamos hablando del sistema de tren de aterrizaje que se coloca a la altura de la cabina de pilotaje, en la nariz de la nave. En este caso tenemos sólo dos ruedas, sin sistema de freno. Cabe destacar de este tren que seguramente sea este uno de los más complejos de diseñar bajo el punto de vista cinemático, pues en este mecanismo se incorporan los sistemas de dirección hidráulica del aparato, -este es el único de los 5 trenes de aterrizaje capaz de girar, de hecho la hace en un rango de  $\pm 70^\circ$ -, cosa que implica unos requerimientos de espacio y de posibles interferencias entre elementos considerable, además se ubica bajo la cabina de pilotaje, donde hay muy poco espacio para que este sea colocado en posición retraída.*

*Así, en nuestro ejemplo vamos a sintetizar un mecanismo de 4 barras que permita al tren de aterrizaje de nariz aterrizar y retraerse correctamente, esto es cumpliendo el paso y la orientación en cuatro posiciones, de tal manera que las articulaciones fijas y móviles se coloquen en zonas factibles para el caso concreto, y de tal manera que el mecanismo una vez retraído se pueda ubicar fuera de una zona prohibida según las necesidades concretas de este diseño.*

*Podemos ver en las figs. 9(a y b) cómo el diseñador de mecanismos, estando inmerso en el entorno de trabajo de CatiaV5 en este caso, ha especificado las diversas posiciones y orientaciones de la barra acopladora del mecanismo de 4 barras buscado, se puede apreciar en estas imágenes el espacio que ocupa el sistema de dirección de la aeronave, y el espacio total de que dispone el diseñador para ubicar el tren de aterrizaje en posición retraída.*

*Después de que CAMS<sub>4</sub> resuelva los diversos sistemas de ecuaciones no lineales de matemática imaginaria, y tras aplicar las restricciones de contorno que el diseñador ha especificado, el usuario se encuentra con el resultado de la computación en su pantalla de CAD3D, ver fig. 9c., aparece una curva continua, -en naranja en esta imagen-, conocida como la curva de puntos M, que es donde el diseñador puede ubicar articulaciones fijas del mecanismo. Como hemos ya comentado en 4.1.1, cada punto M tiene otro punto asociado, éste se conoce como punto K, que es donde el usuario ha de colocar la articulación móvil para un punto M ya previamente escogido, para facilitar la interpretación de la computación, el resultado no traza sólo los puntos K, si no que lo que hace es trazar la línea MK, o sea, cada una de las líneas de color gris de la imagen 9c es una línea MK, que una cada punto M calculado con su punto K asociado, se ha hecho esto porque justamente estas líneas son ya barras posibles del mecanismo buscado, pues en un extremo se tiene una articulación fija y en otro una móvil, así, el resultado de la ejecución de CAMS<sub>4</sub> es la curva de puntos M, articulaciones fijas, más todas las posibles barras de mecanismos que parten de M y acaban en K. Esto quiere decir que en la práctica lo único que ha de hacer el*

diseñador es escoger dos de estas barras para hallar un mecanismo concreto, pues el mecanismo de 4 barras buscado estará formado por:

- Las 2 barras escogidas por el usuario, líneas MK.
- 1 barra ya implícita en la selección anterior, que se podrá trazar uniendo los dos puntos K de cada línea MK previamente escogida, y que será justamente la barra acopladora del mecanismo buscado, o sea la que tendrá un punto que pasa por las cuatro posiciones y con las 4 orientaciones especificadas por el diseñador.
- 1 barra que se formará uniendo los dos puntos M, pertenecientes a cada una de las dos líneas MK escogidas anteriormente, que será la barra de referencia o bastidor, esto es, la barra que se considera unida rígidamente a tierra, pues estará generada mediante dos puntos M, puntos de articulación fija

Hemos trazado sobre el resultado generado por CAMS<sub>4</sub>, unas barras, - líneas discontinuas de color verde-, para ilustrar el proceso de interpretación que deberá realizar el diseñador: Las dos barras MK,  $M_1K_1$  y  $M_2K_2$ , son dos de las infinitas líneas MK elegibles, si el diseñador se decanta por estas dos barras, entonces la barra acopladora del mecanismo buscado será la que pasa por los puntos K,  $K_1$  y  $K_2$  en la imagen. Esta barra  $K_1K_2$  será justamente la que pasará por los 4 puntos y con las orientaciones especificadas por el diseñador antes de realizar el cálculo, del mismo modo pero uniendo ahora  $M_1$  y  $M_2$ , obtenemos la barra bastidor o de referencia, unida rígidamente a la aeronave en este caso.

CAMS<sub>4</sub> todavía no está suficientemente desarrollado para asistir al diseñador en el proceso de selección de las barras MK, pues esta es una tarea sujeta a muchos puntos de vista, que quedaría dentro del campo de la optimización de mecanismos, esto es, escoger un o diversos puntos de vista para decidir que un determinado mecanismo es mejor que otro. Por ejemplo un diseñador puede estar interesado en buscar mecanismos de bajo peso, otro puede perseguir un accionamiento de mínima potencia, o quizás se busque una máquina que en alguna de las posiciones especificadas realice una aportación de fuerza o par máximos, etc.

Así, nosotros en este caso hemos escogido uno que sea muy robusto en la posición extendida o de aterrizaje, justamente hemos seleccionado el que anteriormente se ha trazado en líneas discontinuas de color verde sobre el resultado proporcionado por nuestra aplicación, - recordar la Figura 7.9c-. Fíjese el lector que precisamente este mecanismo, posee una alineación total entre la barra  $M_1K_1$ , y la barra acopladora  $K_1K_2$  sobre la que ensamblar las ruedas y el pie del tren de aterrizaje, esta alineación provoca un comportamiento excelente bajo el punto de vista de los efectos dinámicos que sufre el mecanismo cuando el avión aterriza, entre otros, gracias a esta alineación se minimizan los esfuerzos sufridos por  $M_2K_2$  en el momento del aterrizaje.

Puede verse el diseño final en la Figura 7.10, donde el usuario ha utilizado dos de las infinitas barras MK proporcionadas por CAMS<sub>4</sub> para pasar del diseño conceptual al diseño final concreto, podemos ver aquí como se cumplen plenamente todas las restricciones impuestas por el diseñador, y que no se aprecia ninguna interferencia entre los diversos componentes del propio tren de aterrizaje. Ahora el usuario está en disposición de contrastar este diseño bajo otros puntos de vista: tamaño y ubicación de accionamiento, cálculo de esfuerzos, simulación cinemática o dinámica, fabricación mecánica, etc.

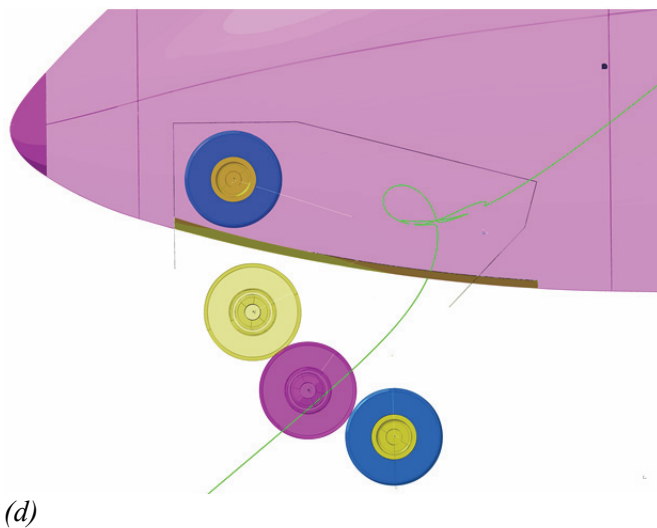
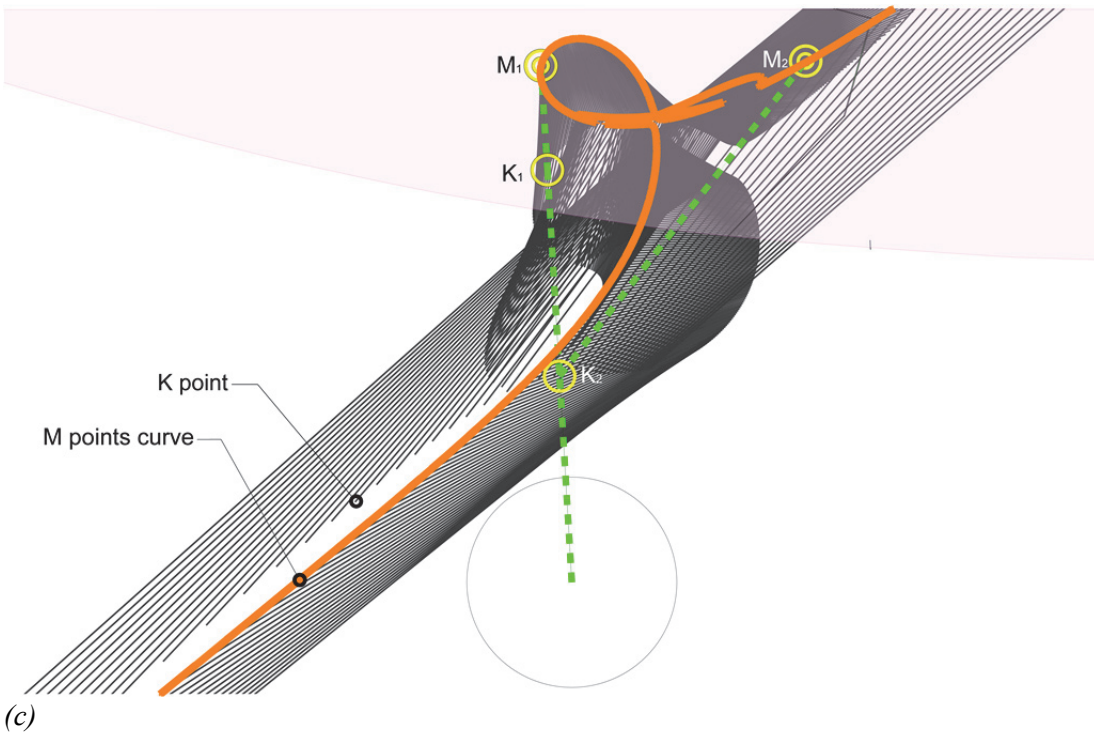
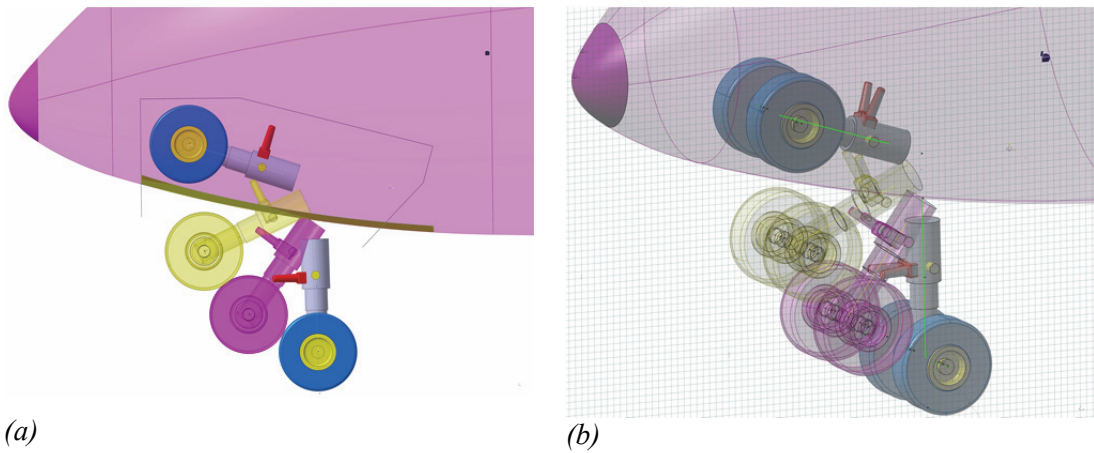


Figura 7.9.- Fases de diseño del tren de aterrizaje. Podemos ver en (a) las cuatro posiciones con orientación especificadas: El usuario ha trazado cuatro líneas, y las ha usado como soporte para insertar en su pre-diseño la rueda y parte del tren. En (b) tenemos la misma información que anteriormente vista bajo un punto vista 3D. En (c) vemos ya la solución propuesta por CAMS<sub>4</sub> insertada en el entorno de diseño CAD del usuario. En (d) el entorno de diseño con la curva de puntos M, -archivo Mlines.wrl-, ya insertada.

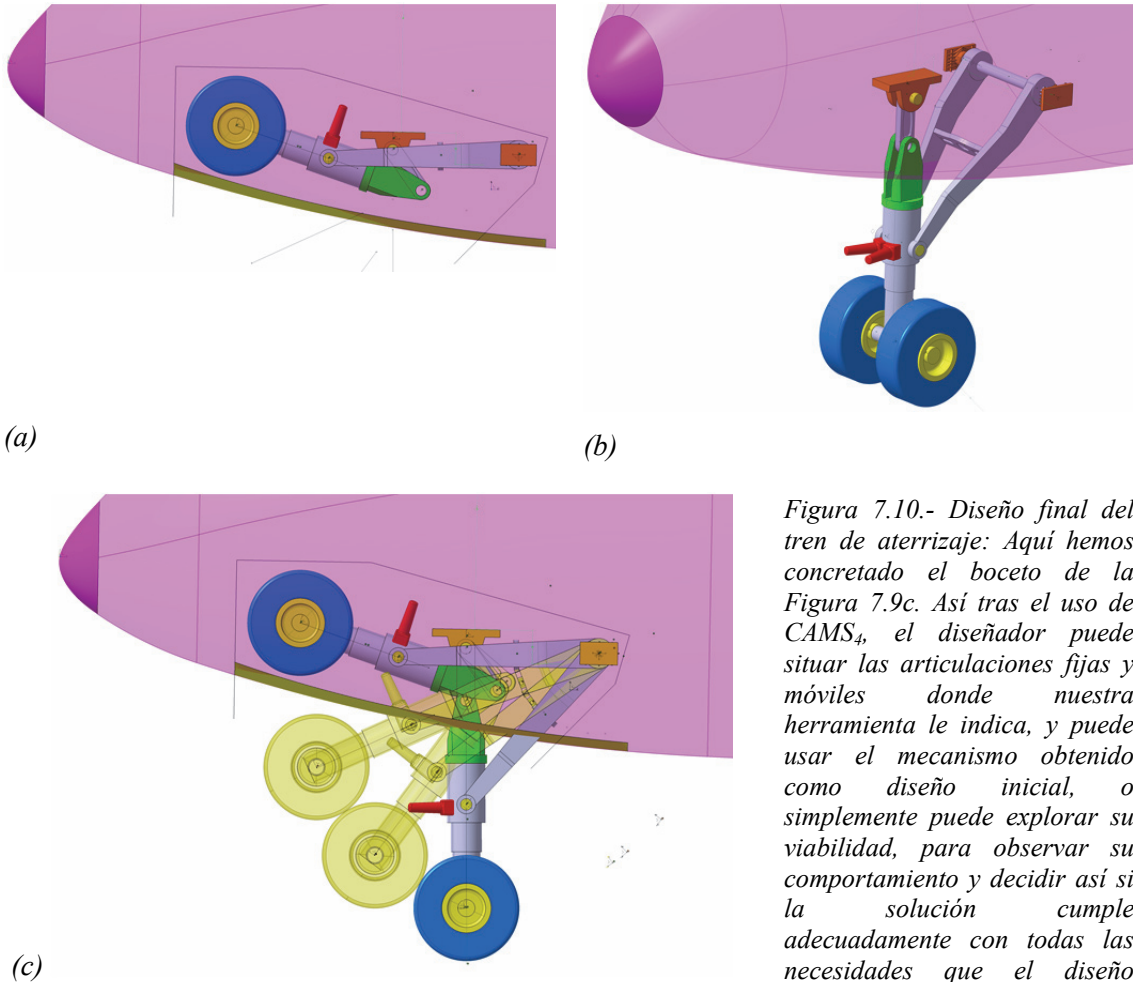


Figura 7.10.- Diseño final del tren de aterrizaje: Aquí hemos concretado el boceto de la Figura 7.9c. Así tras el uso de CAMS<sub>4</sub>, el diseñador puede situar las articulaciones fijas y móviles donde nuestra herramienta le indica, y puede usar el mecanismo obtenido como diseño inicial, o simplemente puede explorar su viabilidad, para observar su comportamiento y decidir así si la solución cumple adecuadamente con todas las necesidades que el diseño requiera.

## 7.10 Conclusiones

La herramienta que nosotros presentamos aquí resuelve el problema de síntesis dimensional analítico-exacta de guiado de cuerpo rígido con puntos de precisión, permitiendo especificar al usuario hasta 5 puntos de paso con sus correspondientes. De momento CAMS<sub>4</sub> sólo busca soluciones del tipo de mecanismo de 4 barras articulado, aunque estamos trabajando para reforzar este punto, y poder dotar así a nuestra herramienta de la capacidad de aportar otros tipos de mecanismos. Las principales ventajas que ofrece respecto a las herramientas y trabajos ya existentes son diversas:

1. Todas sus partes son enteramente editables y/o personalizables: El usuario puede modificar el código a voluntad. Que nosotros sepamos, a día de hoy, CAMS<sub>4</sub> es la única herramienta que lo permite.
2. Está integrada en el programa de CAD3D CatiaV5, de tal manera que el usuario sólo ha de abandonar este entorno de trabajo para ejecutar el núcleo de cálculo de CAMS<sub>4</sub>, - la parte escrita en Mathematica-. Hemos evitado así que el usuario se vea obligado a aprender terceros programas, y además esta característica agiliza el proceso de diseño, y por tanto acorta el tiempo que se ha de dedicar a un determinado proceso de diseño. Actualmente sólo SyMech, y la herramienta



*propuesta por el CIMEC, son las únicas aplicaciones que posibilitan un tipo de interfaz tan simple y amigable como la que nosotros proponemos.*

- 3. Evita la introducción de cualquier tipo de valor numérico por parte del usuario, pues éste sólo ha de trazar puntos y orientaciones para posteriormente exportar dicha información al núcleo de cálculo. Se logra así gran agilidad, y se evitan los más que probables errores de introducción e interpretación de datos. Pues dicha introducción de información obliga a realizar interpretaciones, a veces nada obvias, de los diversos sistemas de coordenadas y signos pueda haber en un determinado problema. Esto actualmente sólo lo posibilitan SyMech y la aplicación del CIMEC.*
- 4. Al haber creado una estructura de comunicación, -entre el software CAD y el núcleo de cálculo-, tan concreta como la que nosotros hemos diseñado para CAMS<sub>4</sub>, estamos de hecho facilitando enormemente la posibilidad de que cualquier programador puede generar un controlador para un CAD concreto: En la versión que presentamos aquí hemos programado CatiaV5 para que envíe los datos introducidos gráficamente por el usuario al núcleo de cálculo<sup>59</sup>. De la misma manera, se puede automatizar este mismo procedimiento en cualquier otro CAD que permita ser programado. Este aspecto brinda la posibilidad de que CAMS<sub>4</sub> pueda trabajar con casi cualquier CAD del mercado, a la vez que convierte a nuestra aplicación en la única, -al menos que nosotros sepamos-, que ofrece esta ventajosa característica.*
- 5. Los resultados se exportan a un archivo \*.wrl, o sea, son directamente visibles en la gran mayoría de programas CAD3D existentes, y totalmente visibles en cualquier navegador web (dependiendo del navegador y versión se deberá instalar un controlador gratuito). Que nosotros sepamos, la nuestra es la única herramienta de sus características que realiza una exportación de este tipo, y que por tanto posibilita un espectro tan amplio de posibles “clientes” CAD.*
- 6. Es de utilidad para resolver problemas de 3,4 y 5 posiciones, con lo que brinda la posibilidad a docentes y a estudiantes de plantear o enfrentarse a problemas de menor o mayor dificultad en función del nivel de los alumnos o de la altura del curso a que se use.*
- 7. Se perfila también como buena compañera de profesionales en la industria, pues resuelve problemas de considerable dificultad de un modo ágil, práctico e intuitivo.*

---

<sup>59</sup> Recuérdese la estructura del protocolo de datos usada para transferir información entre las dos partes de la aplicación: según lo indicado en el apartado 7.5, para poder exportar adecuadamente los datos desde CAD al núcleo de cálculo, se han de programar unas líneas de código en el programa CAD para que éste pueda crear un archivo de texto con el formato especificado en la Figura 7.5 de dicho apartado.

# 8

---

## *Experiencias en el aula*

*Con la intención de observar y escuchar las opiniones de hipotéticos futuros usuarios, hemos creído muy interesante llevar nuestra herramienta de síntesis de mecanismos a las aulas. A través de este medio vamos a ser capaces de detectar anomalías, o problemas con la interfaz entre otros, que nos van a servir para mejorar CAMS<sub>4</sub>.*

*Así, se plantea intervenir en asignaturas relacionadas con esta materia y tras unos meses de concreción de fechas y contenidos logramos poder acceder a 72 estudiantes de las siguientes tres asignaturas entre noviembre y diciembre de 2011<sup>60</sup>:*

*Asignatura: Teoría de Máquinas*

*Tipo: Obligatoria*

*Cuatrimestre: 3º*

*Titulación: Ingeniería Industrial*

*Universidad: Universidad Ramón Llull*

*Centro: IQS (Barcelona)*

*Asignatura: Introducción al diseño mecánico*

*Tipo: Optativa del itinerario curricular tecnológico mecánico*

*Cuatrimestre: 5º*

*Titulación: Ingeniería Industrial*

*Universidad: Universidad Politécnica de Cataluña*

*Centro: ETSEIAT (Terrassa)*

---

<sup>60</sup> Fíjese el lector que la presentación de nuestra herramienta se hizo durante el tramo final de estas asignaturas, persiguiendo en todo momento que los estudiantes y docentes hubieran tenido tiempo de sentar las bases de conocimiento para poder comprender la utilidad y/o relevancia de nuestra investigación.

## Experiencias en el aula

---

*Asignatura: Mecánica y Teoría de Mecanismos*

*Tipo: Obligatoria*

*Cuatrimestre: 5*

*Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica*

*Universidad: Universidad Politécnica de Cataluña*

*Centro: EPSEM (Manresa)*

### **8.1 El contenido de la sesión**

*La jornada de presentación de CAMS<sub>4</sub> que se realizó en todos los casos fue idéntica y se pensó para poderse realizar en una única sesión de dos horas de duración, así fundamentalmente dicha sesión constó de tres partes principales:*

- 1. Introducción en la materia*
- 2. Presentación y uso de la herramienta CAMS<sub>4</sub>*
- 3. Realización de una encuesta de opinión sobre la sesión y CAMS<sub>4</sub>*

*En concreto a continuación mostramos parte del guion que se utilizó para realizar cada una de las tres sesiones:*

#### *PRIMERA HORA*

- 1- Definición de la síntesis de mecanismos.*
- 2- Tipos de síntesis de mecanismos según necesidades industriales.*
- 3- Resolución mediante CAD de un problema de guiado de sólido rígido de sólo dos posiciones con orientación prescrita (método gráfico)*

#### *SEGUNDA HORA*

- 1- Presentación de la herramienta CAMS<sub>4</sub>: Computer Aided Mechanisms Synthesis (4 bar).*
- 2- Resolución de un problema real de la industria de guiado de sólido rígido con cuatro posiciones prescritas con orientación.*
- 3- Interpretación de los resultados obtenidos con CAMS<sub>4</sub>: posibles mecanismos solución*
- 4- Ruegos y preguntas*
- 5- Encuesta de opinión sobre la sesión y CAMS<sub>4</sub>*

*Hemos de decir que en todos los casos la herramienta tuvo un muy buen recibimiento, y que algunos estudiantes se interesaron por saber donde aprender más sobre la materia.*

## 8.2 La encuesta presentada a los estudiantes

A continuación mostramos la encuesta de 20 preguntas que se facilitó a cada uno de los estudiantes para que pudieran valorar u opinar sobre la utilidad de lo explicado y sobre el uso de CAMS<sub>4</sub>:

1.-Cree que la síntesis de mecanismos le puede aportar algo útil a su formación como ingeniero/a

1	2	3	4	5

2.-Cree que la síntesis de mecanismos le puede ser útil en su vida profesional

1	2	3	4	5

3.-La interfaz de usuario de CAMS<sub>4</sub>/CATIA es clara y concisa

1	2	3	4	5

4.-¿Qué 2 aspectos mejoraría de la interfaz CAMS<sub>4</sub>/CATIA?

a)

b)

5.-La interfaz de usuario de CAMS<sub>4</sub>/MATHEMATICA es clara y concisa

1	2	3	4	5

## Experiencias en el aula

---

6.-¿Qué 2 aspectos mejoraría de la interfaz CAMS<sub>4</sub>/ MATHEMATICA?

a)

b)

7.-Los resultados que proporciona el programa son de fácil interpretación

1	2	3	4	5

8.-¿Qué 2 aspectos mejoraría al respecto de la claridad de los resultados obtenidos?

a)

b)

9.-Cree que CAMS<sub>4</sub> le puede ayudar a familiarizarse con la síntesis de mecanismos

1	2	3	4	5

10.-Ve posible el uso de esta herramienta en las clases de teoría

1	2	3	4	5

11.-Ve posible el uso de esta herramienta en las clases de prácticas

1	2	3	4	5

12.-*Ve posible el uso de este software como herramienta de autoaprendizaje*

1	2	3	4	5

13.- *¿Es conocedor de algún lenguaje de programación? ¿Cual/es?*

14.-*Considera que sus conocimientos como programador/a son de nivel*

- a) *Bajo*
- b) *Medio*
- c) *Alto*

15.- *Ha usado ud. antes....*

- a) *Mathematica*
- b) *Matlab*
- c) *Otro soft de cálculo:*

16.-*Teniendo en cuenta sus conocimientos de programación, ¿se vería capaz de modificar el código de CAMS<sub>4</sub> para mejorar/modificar su comportamiento?*

- a) *Si*
- b) *No*

17.-*¿Con qué otro/s programa de CAD cree que CAMS<sub>4</sub> debiera ser compatible?*

18.-*¿Qué cree que la aplicación no hace y debiera hacer?*

## Experiencias en el aula

---

19.- Dos aspectos positivos de destacar de la aplicación

-

-

20.- Dos aspectos negativos que destacaría de la aplicación

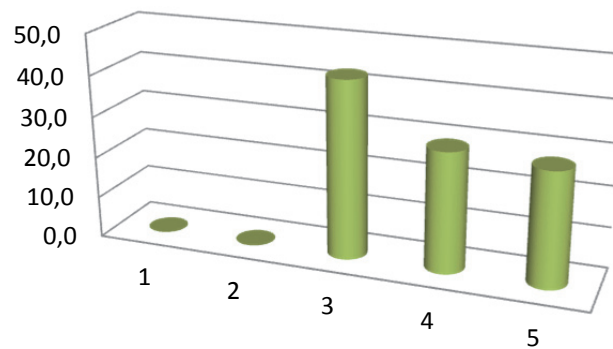
-

-

### 8.3 Resultados de la encuesta

Mostramos a continuación un resumen de las opiniones de los estudiantes después de asistir a la sesión de presentación de CAMS<sub>4</sub>:

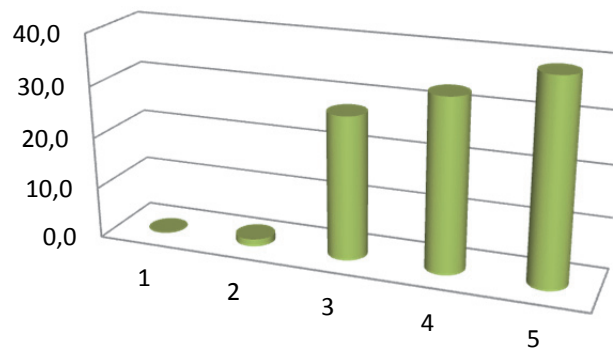
1.- Cree que la síntesis de mecanismos le puede aportar algo útil a su formación como ingeniero/a



	1	2	3	4	5
■ Frecuencia[%]	0,0	0,0	43,1	29,2	27,8

Media=3.84

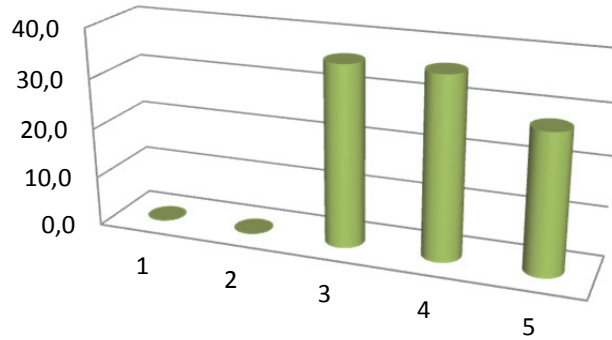
2.- Cree que la síntesis de mecanismos le puede ser útil en su vida profesional



	1	2	3	4	5
■ Frecuencia[%]	0,0	1,4	27,8	33,3	38,9

Media=3.83

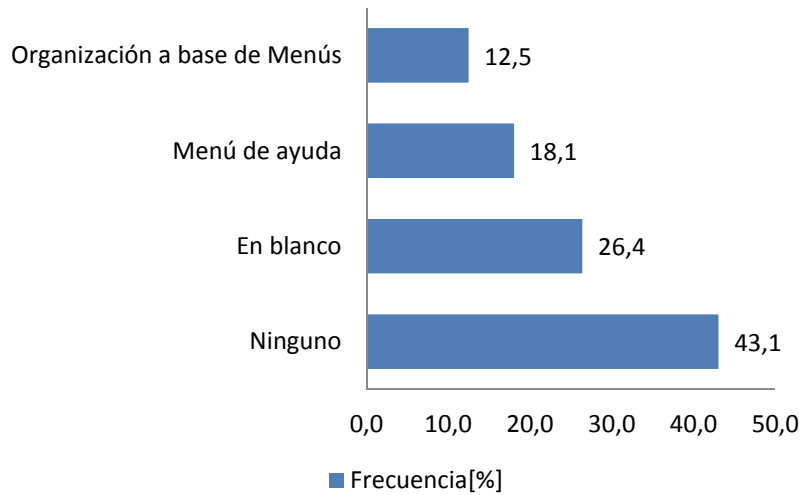
3.-La interfaz de usuario de CAMS<sub>4</sub>/CATIA es clara y concisa



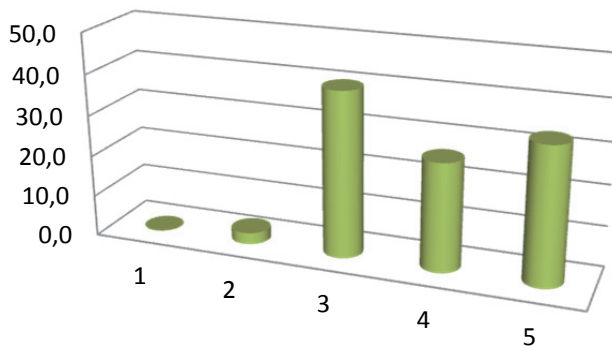
	1	2	3	4	5
■ Frecuencia[%]	0,0	0,0	36,1	36,1	27,8

Media=3.91

4.-¿Qué 2 aspectos mejoraría de la interfaz CAMS<sub>4</sub>/CATIA?



5.-La interfaz de usuario de CAMS<sub>4</sub>/MATHEMATICA es clara y concisa



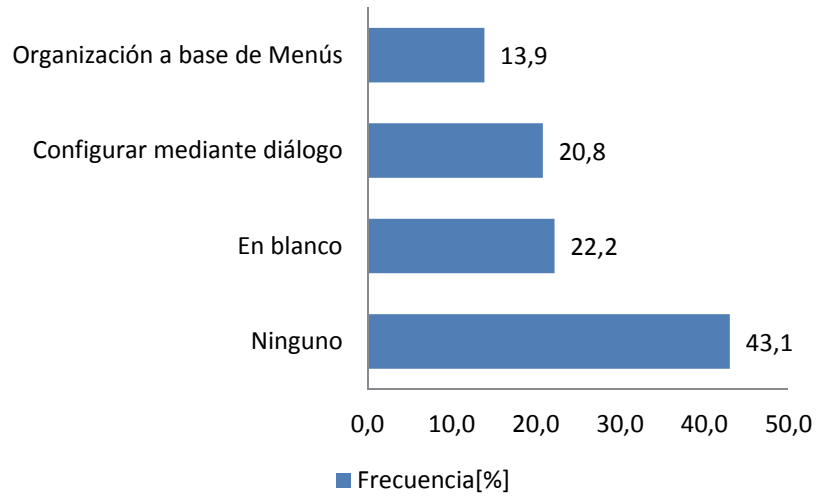
	1	2	3	4	5
■ Frecuencia[%]	0,0	2,8	40,3	26,4	33,3

Media=3.93

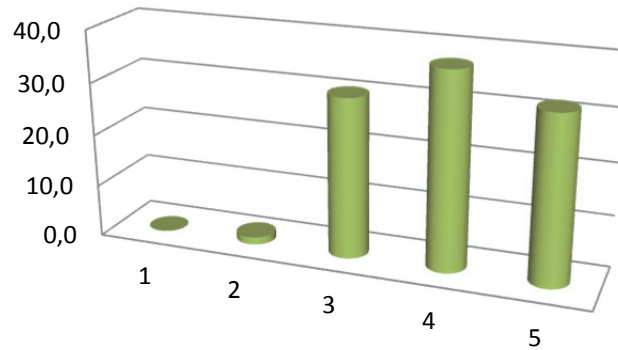


## Experiencias en el aula

6.-¿Qué 2 aspectos mejoraría de la interfaz CAMS<sub>4</sub> / MATHEMA-TICA?



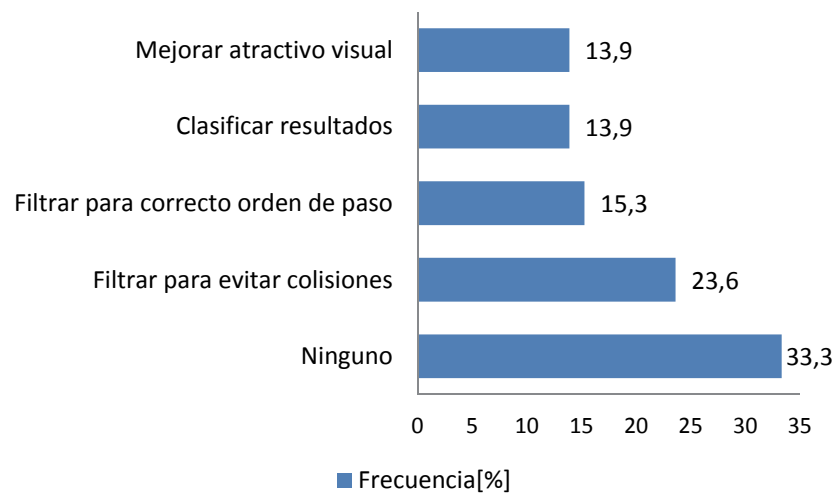
7.-Los resultados que proporciona el programa son de fácil interpretación



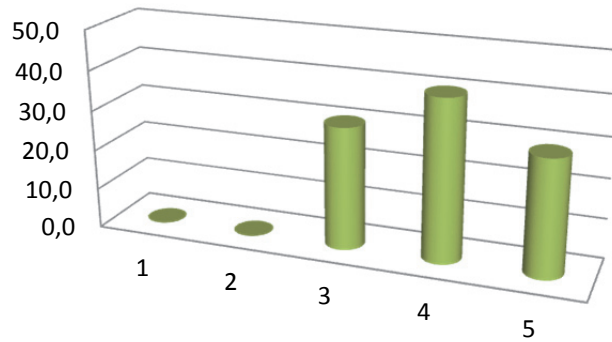
	1	2	3	4	5
■ Frecuencia[%]	0,0	1,4	30,6	37,5	31,9

Media=3.93

8.-¿Qué 2 aspectos mejoraría al respecto de la claridad de los resultados obtenidos?



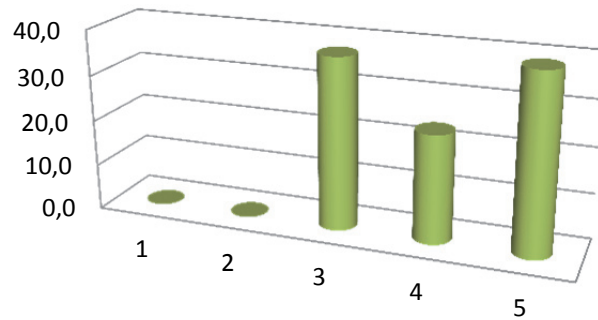
9.- Cree que CAMS<sub>4</sub> le puede ayudar a familiarizarse con la síntesis de mecanismos



	1	2	3	4	5
■ Frecuencia[%]	0,0	0,0	30,6	40,3	29,2

Media=4

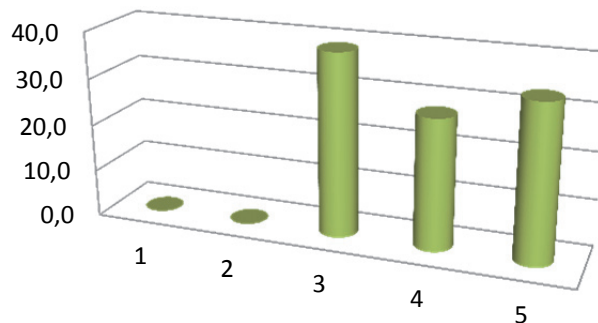
10.- Ve posible el uso de esta herramienta en las clases de teoría



	1	2	3	4	5
■ Frecuencia[%]	0,0	0,0	37,5	23,6	38,9

Media=4,01

11.- Ve posible el uso de esta herramienta en las clases de prácticas

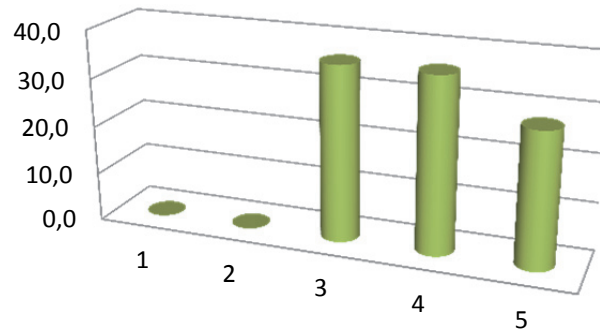


	1	2	3	4	5
■ Frecuencia[%]	0,0	0,0	38,9	27,8	33,3

Media=4.12

## Experiencias en el aula

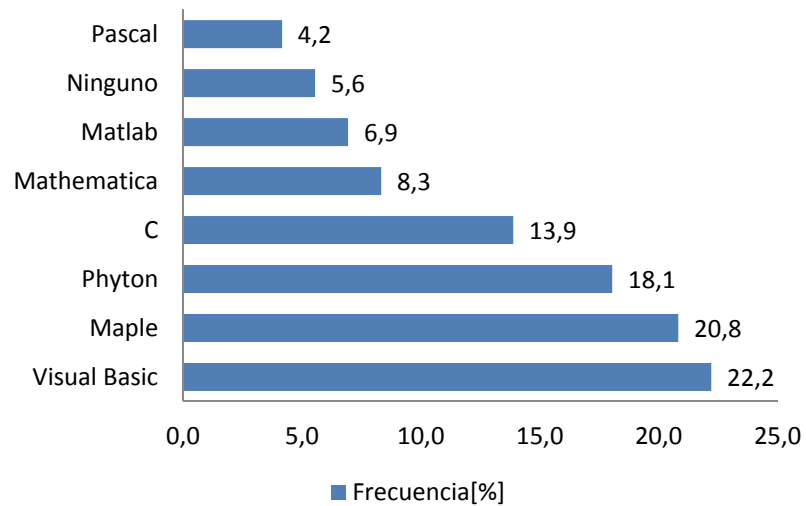
12.-Ve posible el uso de este software como herramienta de autoaprendizaje



	1	2	3	4	5
Frecuencia[%]	0,0	0,0	36,1	36,1	27,8

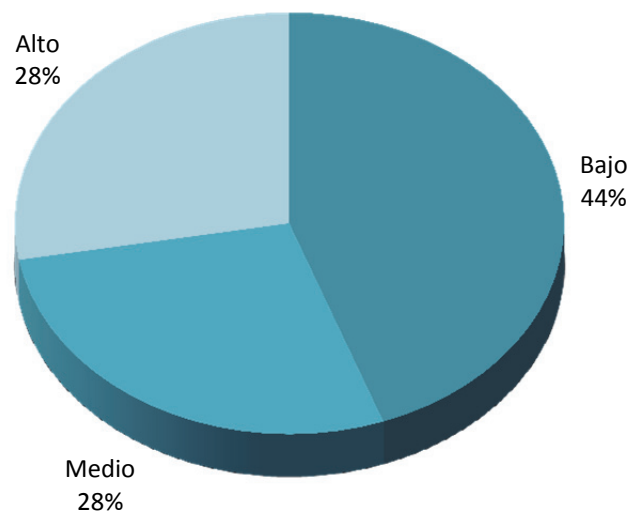
Media=3.91

13.-¿Es conocedor de algún lenguaje de programación?  
¿Cual/es?



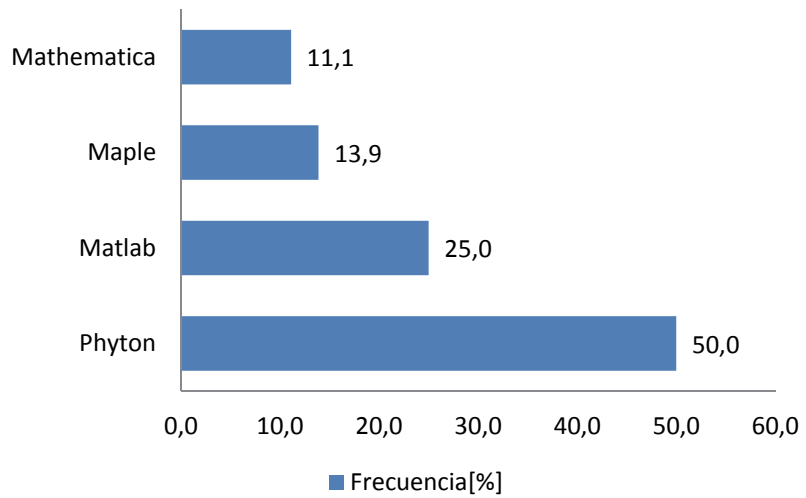
14.- Considera que sus conocimientos como programador/a son de nivel

- a) Bajo
- b) Medio
- c) Alto



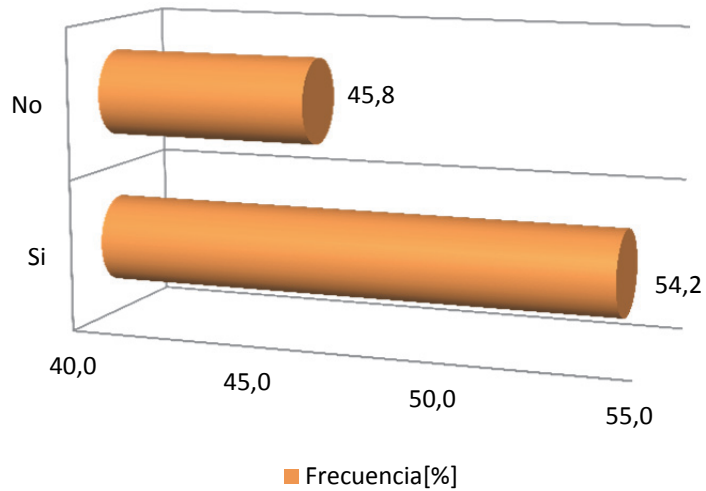
15.- Ha usado ud. antes....

- a) Mathematica
- b) Matlab
- c) Otro soft de cálculo:

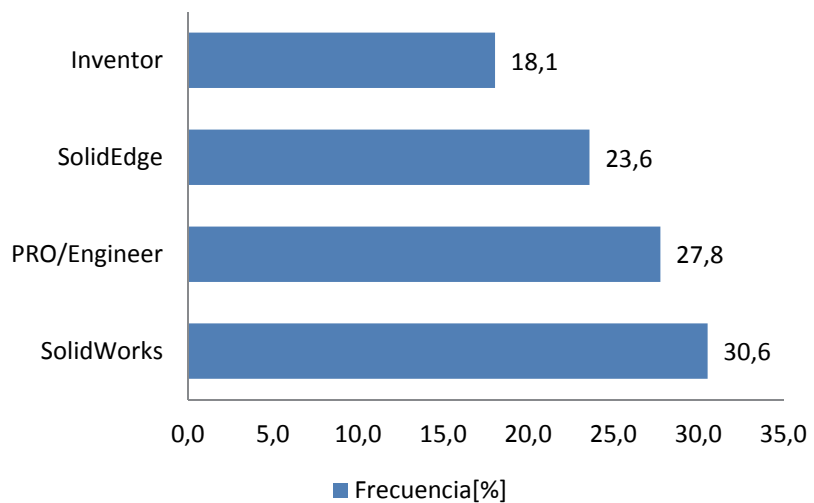


16.-Teniendo en cuenta sus conocimientos de programación, ¿se vería capaz de modificar el código de CAMS<sub>4</sub> para mejorar/modificar su comportamiento?

- a) Si
- b) No



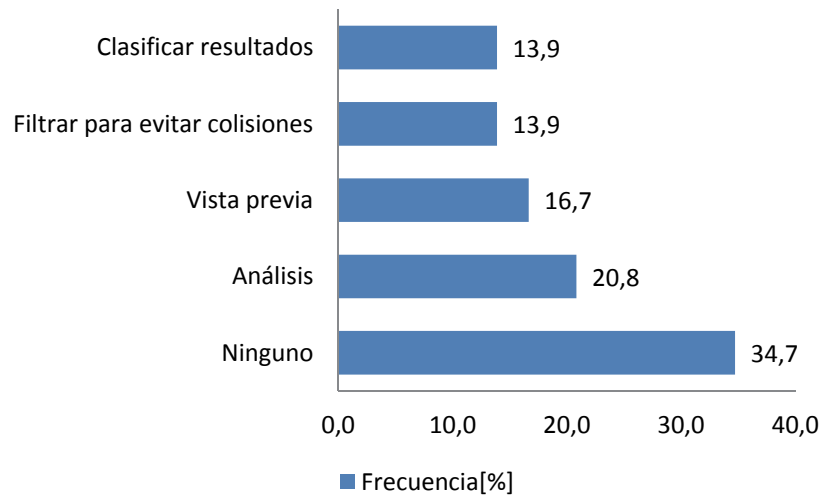
17.-¿Con qué otro/s programa de CAD cree que CAMS<sub>4</sub> debiera ser compatible?



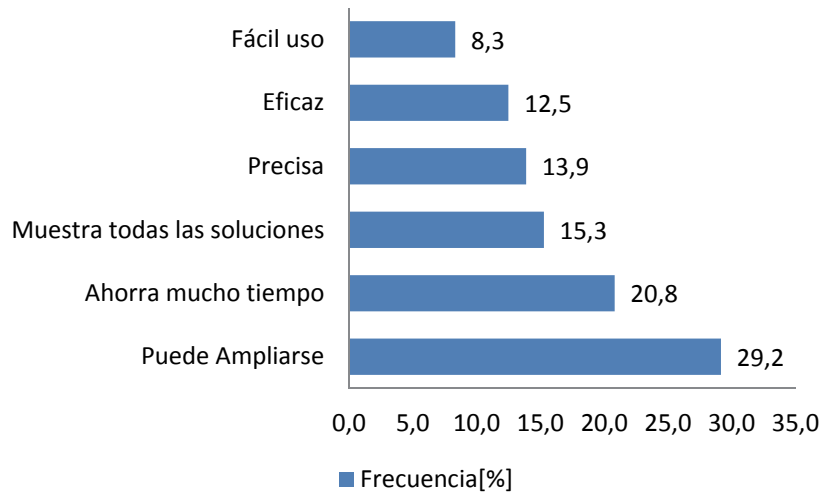
## Experiencias en el aula

---

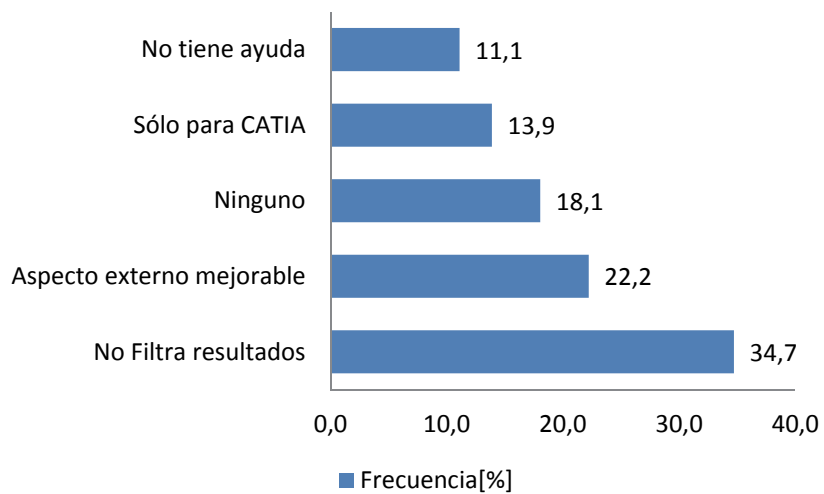
18.-¿Qué cree que la aplicación no hace y debiera hacer?



19.-Dos aspectos positivos de destacaría de la aplicación



20.-Dos aspectos negativos que destacaría de la aplicación



### 8.4 Conclusiones

*La mayoría de estudiantes opina que la síntesis de mecanismos puede ser útil tanto para su formación como para su futura vida profesional, esto creemos es interesante para hacer reflexionar a la comunidad docente sobre la necesidad de incluir esta materia o algunas de sus partes en asignaturas o planes de estudios.*

*En lo referente a la interfaz de la herramienta CAMS<sub>4</sub>, tanto en la vertiente relacionada con CatiaV5 como en la que trabaja con Mathematica, los usuarios la valoran de media con un 3,91 y con 3,93 respectivamente, y proponen diversas mejoras, siendo las mayoritarias las siguientes: crear un menú de ayuda en la interfaz con CatiaV5 y configurar el programa mediante un cuadro de diálogo. Comentamos que efectivamente, los estudiantes han echado en falta una parte del programa que les asista e indique sobre los pasos que han de seguir para realizar una determinada tarea, -tal como aparece en los resultados de la encuesta “un menú de ayuda”-, creemos muy interesante esta observación, y sin duda queremos en la fase final de implantación de CAMS<sub>4</sub>, generar una documentación que cumpla con las solicitudes características, y que además incorpore ejemplos resueltos con los que los usuarios puedan practicar. Así, sólo hacer notar al lector que aún no hemos generado dicha capacidad por estar nuestro software todavía en fase de pruebas. En lo referente a que el programa se pueda configurar mediante un cuadro de diálogo, y no mediante variables programadas, opinamos que efectivamente esta debiera ser una mejora que debiéramos incorporar en posteriores revisiones de nuestra aplicación, pues evitaría a quien lo quisiera, el hecho de tener que entender y/o modificar los diversos códigos que conforman nuestra aplicación.*

*En la parte de la encuesta que se refiere a la valoración de los resultados obtenidos por CAMS<sub>4</sub>, preguntas 7 y 8, los alumnos contestan con una nota media de 3.93 sobre 5 que están de acuerdo con la afirmación de que los resultados son de fácil interpretación, y proponen algunas mejoras principalmente centradas en el ámbito del filtraje de resultados proporcionados por CAMS<sub>4</sub>. Así, tomamos nota de estas recomendaciones para intentar usarlas en posteriores trabajos, no sin antes aclarar que a veces no tiene sentido realizar algún tipo de filtraje automático, puede releerse el apartado 6.8.1, en la página 103 del presente documento, para recordar un caso de filtraje que a veces puede ocultar información interesante al diseñador.*

*A continuación, comentando las respuestas a las preguntas que tantean la opinión del alumno sobre la posible implantación de dicha herramienta en su proceso de aprendizaje, vemos que los estudiantes están bastante de acuerdo, valorando con 4 sobre 5 la afirmación de que CAMS<sub>4</sub> puede ayudarles a familiarizarse con la síntesis de mecanismos, ya sea en las clases de teoría o de prácticas, con una valoración media de 4,01 y 4,12 respectivamente. Dicha valoración disminuye ligeramente en el caso de pensar esta herramienta como compañera de autoaprendizaje, pues aquí las respuestas rondan el 3,91 de media. Así pues, opinamos que el alumno ve mayoritariamente a esta herramienta como una buena aliada para su formación.*

*Cuando sondeamos a los usuarios sobre la posible programación de CAMS<sub>4</sub>, vemos que ellos se auto-valoran mayoritariamente como programadores de nivel medio o alto, y se declaran conocedores de Visual Basic, Maple y Phyton, habiendo antes practicado mayormente con Phyton y Matlab. Así, el 54.2 % de los encuestados contestan que se atreverían a programar para mejorar o modificar CAMS<sub>4</sub>. Estas respuestas nos confirman que el hecho de que nuestra herramienta sea programable a voluntad tiene, en general, buena acogida por parte de la comunidad estudiantil.*

*En lo referente a las herramientas CAD con las que se opina que CAMS<sub>4</sub> debiera ser compatible, los estudiantes nombran mayormente a SolidWorks y a PRO/Engineer. Este es*

## Experiencias en el aula

---

*un aspecto en el que ya habíamos pensado en la fase de concepción de nuestra aplicación, y que vamos a tener muy en cuenta para, en futuras investigaciones, ampliar el uso de CAMS<sub>4</sub> a estos y otros programas, o lo que es lo mismo, no ligarse a un único programa CAD para poder usar nuestra herramienta: de hecho la parte de CAMS<sub>4</sub> que trabaja con CatiaV5, se podría convertir en múltiples programas que trabajasen con sus correspondientes CADs, para acabar exportando la información gráfica introducida por el usuario al núcleo de cálculo. Así, para su correcto funcionamiento, todos estos programas CAD-CAMS<sub>4</sub>, deberían culminar en la escritura de un archivo de texto que debiera tener el formato que se explicó en la Figura 7.5, pues de esta manera, el núcleo de cálculo los podría interpretar sin problema alguno.*

*En el tramo final de la encuesta se persigue captar una opinión general de lo que le ha parecido la herramienta al usuario, así, la mayoría de estudiantes contesta, -cuando se les pregunta sobre lo que la herramienta no hace y debiera hacer-, que creen que la aplicación debiera realizar análisis de mecanismos además de síntesis. Nosotros aclaramos aquí que esta es una opinión lógica de quien acaba de conocer la herramienta y no conoce las posibilidades del programa CatiaV5, software que posee un simulador cinemático de mecanismos: DMU Kinematics, que realiza simulaciones y proporciona análisis de trayectoria, velocidades y aceleraciones de mecanismos de un grado de libertad. De todas maneras aprovechamos aquí para comentar que aunque CatiaV5 posea un módulo de análisis de mecanismos bastante completo, seguramente sí sería interesante que CAMS<sub>4</sub> incorporase algún tipo de subrutina dedicada al análisis embrionario de mecanismos, con la intención de agilizar la tarea de descarte y toma de decisiones del diseñador.*

*Para finalizar la encuesta preguntamos sobre aspectos positivos y negativos de la aplicación, aquí los estudiantes responden mayoritariamente como aspectos positivos el hecho de que la herramienta sea editable o ampliable y el hecho de que ahorra mucho tiempo en el proceso de diseño de mecanismos. En lo referente a los aspectos que ellos opinan se debieran mejorar, destacan que CAMS<sub>4</sub> debería filtrar los resultados obtenidos y que el aspecto visual podría ser mejorable. Efectivamente hemos de confesar que no se ha cuidado mucho la apariencia de la aplicación, ya sea en la faceta en que se pregunta información al usuario, como en la que proporciona los resultados, este es un punto que sin duda mejoraremos en posteriores revisiones de CAMS<sub>4</sub>. De la misma manera comprendemos que el usuario desee que el programa reduzca el abanico de posibles mecanismos solución, pues efectivamente el resultado que se obtiene tras la ejecución de nuestra herramienta está formado por un conjunto muy numeroso de máquinas. Cabe aclarar aquí, como ya hemos comentado unas líneas más arriba que esta es una tarea de difícil concreción, no tanto por su dificultad, que efectivamente es considerable, si no que más bien por su variedad de criterios, pues a un usuario le puede interesar que el tamaño de un mecanismo sea mínimo, -por ejemplo haciendo que la suma de las longitudes de las barras que lo conforman sea la menor posible-, mientras que otro diseñador puede buscar máquinas con características dinámicas óptimas en determinadas posiciones sin importarle el tamaño de la solución, así pues, la tarea de discriminación es demasiado abierta a múltiples criterios, todos ellos muy lógicos y justificables. Hemos de escribir aquí que además el hecho de discriminar entre máquinas puede ser un obstáculo para su uso en las aulas, pues un estudiante que quiera comparar sus cálculos con el resultado obtenido mediante CAMS<sub>4</sub>, deberá, no sólo entender el problema matemático asociado al ejercicio que desee abordar, sino que además deberá aprender, y hacer suya, la lógica que el programa utiliza para discriminar entre las diferentes alternativas posibles.*

*Así, para finalizar estas conclusiones, hemos de confesar que estamos muy satisfechos de los resultados y de la acogida que CAMS<sub>4</sub> ha recibido por parte de los estudiantes de ingeniería encuestados, pues en las tres sesiones realizadas hemos percibido un gran entusiasmo e interés por la temática tratada y por la utilidad de nuestra aplicación.*

# 9

---

## Conclusiones

*De manera consecuente con los objetivos propuestos al principio de nuestra investigación, nos disponemos a redactar las consideraciones finales de este trabajo:*

### ***1.- Ámbito industrial***

***Aportar una herramienta de síntesis de mecanismos, de uso intuitivo y de utilidad rápida y directa para el diseñador mecánico.***

*Tras investigar y analizar las más representativas herramientas informáticas que existen a día de hoy para abordar las diversas problemáticas de diseño relacionadas con la Síntesis de Mecanismos<sup>61</sup>, concluimos que no tenemos constancia de la existencia de una herramienta que cumpla con la totalidad de las siguientes características o propiedades:*

- Que pueda ser editada y ampliada por el usuario en su totalidad: esto es interesante porque con esta característica se brinda la posibilidad de personalizar una aplicación para un tipo de problema o necesidad concretos, -por ejemplo para un entorno industrial con restricciones o características propias-, así como para ampliar la capacidad de la herramienta.*
- Que esté integrada en un CAD (o más de uno): hecho de extrema practicidad, pues habitualmente el proceso de diseño de máquinas se realiza en este entorno. Esta característica posibilita que el usuario final, ya sea en un entorno docente o industrial, no se vea obligado a tener que aprender terceros programas ni a tener que abandonar su entorno de trabajo habitual para poder resolver problemáticas relacionadas con la Síntesis de Mecanismos.*
- Que evite la introducción numérica de información por parte del usuario: propiedad muy práctica y que posibilita un ágil e intuitivo uso de una aplicación. El proceso de introducción de posiciones y de orientaciones en forma de coordenadas numéricas, a parte de ser laborioso, -pues obliga a crear un origen de coordenadas desde el que proporcionar componentes de vectores y orientaciones-, es tremendamente peligroso, pues el usuario puede, -sin darse cuenta-, introducir valores con módulos y/o signos erróneos, hecho que claro está, provocaría obtener resultados falseados. Evitar este proceso manual es por tanto muy práctico y atractivo para todos los*

---

<sup>61</sup> Véase la Tabla 6.1, en la página 114, donde se realiza una comparativa entre las más representativas herramientas relacionadas con la Síntesis de Mecanismos existentes a día de hoy.



## Conclusiones

---

*potenciales usuarios de una aplicación, pues ahorra tiempo y posibles errores de diseño.*

- *Que el resultado de la cual sea exportable a todos, o como mínimo a un gran número de programas CAD: de igual modo que la característica anterior, la interpretación de los resultados obtenidos en el programa de Síntesis de Mecanismos, debiera evitar la introducción de valores numéricos por parte del usuario, pues de ese modo éste se ahorraría considerable tiempo y sobretodo posibles errores de interpretación de coordenadas y/o signos.*
- *Que resuelva problemas de diversas dificultades: el ámbito docente necesita una herramienta elástica, que permita abordar problemáticas de dificultad variada, esto es desde un nivel iniciático, -para abordar ejercicios a principio de curso-, hasta un nivel medio o alto, con el que plantear ejercicios a medida que el curso académico va avanzando.*
- *Que no sea sólo una herramienta para la docencia, y que interese por tanto también al mundo industrial. Así, debiera suponer un uso relativamente ágil, práctico e intuitivo a la vez que debiera tener la capacidad de resolver problemáticas de nivel o interés industrial.*

### **2.- Ámbito docente:**

***Incorporar al aula una herramienta informática con la que el docente pueda impartir síntesis de mecanismos de manera ágil e intuitiva***

***Dotar al alumno de una aplicación con la que poder auto-aprender síntesis de mecanismos.***

*Sólo se imparte la materia de Síntesis de Mecanismos en 20 de las 54 asignaturas obligatorias posibles de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica que a día de hoy se ofrecen en las 38 universidades españolas que imparten esta titulación<sup>62</sup>.*

*Únicamente en 10 de estas 20 asignaturas se utiliza algún tipo de herramienta informática para reforzar o complementar los conocimientos adquiridos por los estudiantes. Y en ninguno de estos casos se usan programas informáticos directa y claramente relacionados con la Síntesis de Mecanismos<sup>63</sup>. Cabe decir que en 6 de estas 10 asignaturas se declara el uso de programas informáticos sin aportar ningún nombre concreto, por tanto, no podemos asegurar que hoy en día no se utilice ninguna herramienta informática directamente relacionada con la síntesis de mecanismos, pero sí que podemos decir que no tenemos*

---

<sup>62</sup> Véase en el apartado 2.2.4, -página 34 del presente documento-, un resumen de los resultados obtenidos fruto de la búsqueda exhaustiva realizada a lo largo de todas las universidades españolas que imparten la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica, con el objetivo de hallar asignaturas obligatorias con contenidos relacionados con la materia de la Síntesis de Mecanismos. El lector puede encontrar mucha más información en el Anexo D, donde se encuentran todas los registros de la base de datos creada para gestionar la totalidad de la información recabada en dicha búsqueda.

<sup>63</sup> La Tabla 2.6, en la página 48, lista las herramientas informáticas que tenemos constancia se están usando a día de hoy en la docencia de asignaturas obligatorias con algún contenido de Síntesis de Mecanismos y que forman parte de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica.

constancia alguna de que hoy en día se estén usando este tipo de herramientas en las aulas españolas.

*La Síntesis de Mecanismos es útil para la formación de nuestros estudiantes de ingeniería, pues les proporciona competencias para hallar un mecanismo que se comporte de un modo preestablecido. En cambio, sucede que mayoritariamente nuestros alumnos y alumnas tratan casi exclusivamente análisis de mecanismos en las aulas, -materia por otro lado imprescindible, pues para poder abordar la síntesis, previamente hay que dominar el análisis de máquinas-, situación que les obliga, en su futura vida profesional, a resolver con un mal tanteo o casi a ciegas problemas en los que se deba encontrar una máquina que se comporte de un determinado modo. Así nos parece que los docentes debieran hacer un esfuerzo para incluir dentro de los temarios de sus asignaturas contenidos de Síntesis de Mecanismos, y para hacer esto, los profesores y profesoras de estas asignaturas pueden recibir de los programas informáticos una gran ayuda, pues estos pueden contribuir a la dinamización y a la motivación de su aprendizaje, a la vez que seguro posibilitarán una reducción drástica del tiempo que sin ellos se debiera invertir en la docencia de esta densa materia.*

*Los docentes pueden apoyarse en herramientas informáticas, tradicionalmente asociadas en exclusiva al mundo del CAD, -que en esta investigación llamamos herramientas CAX-, para que los estudiantes comprueben cálculos manuales, o como medio para dar entrada a ejercicios de elevada complejidad, a la vez que cercanos a la realidad, y sobretodo elevadamente motivadores para nuestros alumnos, recuérdese el ejemplo mostrado en el apartado 3.1.1.*

### **3.- Ámbito institucional**

***Facilitar y fomentar la transformación al Espacio Europeo de Educación Superior de las facultades de ingeniería a través de la incorporación de herramientas informáticas.***

*Con la intención de cumplir dicho objetivo y de dar cabida a contenidos importantes y/o útiles para la futura vida profesional de nuestros estudiantes, -como es el caso de la Síntesis de Mecanismos-, las instituciones universitarias debieran:*

- *Implantar herramientas informáticas de soporte, -como las que aportamos en la presente investigación-, para facilitar a los docentes la introducción de contenidos de considerable densidad, sin las que algunas materias como la Síntesis de Mecanismos, serían prácticamente imposibles tratar a fondo en las aulas.*
- *Crear asignaturas optativas específicas, estudios de postgrado y másteres en los que dar cabida a la materia de Síntesis de Mecanismos, brindando así el tiempo necesario para impartir y aprender materias que de otro modo, -debido entre otros a su dificultad y a la falta de tiempo material-, costaría mucho incluir en los temarios de las asignaturas obligatorias de estudios de grado.*
- *Usar herramientas informáticas de uso interactivo, rápido e intuitivo, -como las presentadas en nuestra tesis-, que el alumno pueda usar de manera cuasi-autónoma a modo de herramientas de autoaprendizaje. Haciendo esto se conseguiría*

## Conclusiones

---

*disminuir la cantidad de tiempo que los docentes debieran dedicar a la impartición de materias como la Síntesis de Mecanismos en sus clases magistrales.*

*Los programas CAD3D, tradicionalmente de uso exclusivo como herramientas de diseño, y gracias a las posibilidades de combinación con herramientas de programación, están dando como fruto en el mundo docente a una serie de aplicaciones didácticas interactivas, el uso de las cuales comporta una mejora en la metodología docente así como en el proceso de aprendizaje, a la vez que sirven como herramientas de adaptación institucional a los requerimientos de la sociedad del conocimiento.*

## 9.1 Aportaciones

*Como principales aportaciones de nuestra investigación destacamos:*

*1.- El programa informático de análisis de mecanismos planos articulados de cuatro barras ATiCA<sub>4b</sub>, -Aplicación Trazadora e Interactiva de Curvas de Acoplador de mecanismos articulados de Cuatro Barras-, que está creado para ser usado en las aulas y facilitar de esta manera la comprensión de conceptos clave del ámbito de la cinemática de mecanismos como:*

- El movimiento de mecanismos de cuatro barras*
- Las tipologías de estos mecanismos según la longitud de sus miembros (criterio de Grashof)*
- La existencia o no de posiciones de agarrotamiento*
- Las tipologías de curvas de acoplador*
- El significado y utilidad de cada una de las tipologías de curvas de acoplador*
- La definición y uso de puntos característicos de estas curvas (cúspides, puntos dobles y puntos cíclicos)*

*Uno de los puntos fuertes de esta herramienta es que no requiere ningún conocimiento previo de cinemática de mecanismos al usuario, aspecto que posibilita al docente su uso en el aula desde el primer día de clase.*

*2.- La aplicación informática de Síntesis de Mecanismos planos articulados de cuatro barras CAMS<sub>4</sub>, - Computer Aided Mechanisms Synthesis-, que permite sintetizar mecanismos planos articulados de cuatro barras para problemas de 3, 4 y 5 posiciones con orientación, o lo que es lo mismo, realiza síntesis dimensional analítico-exacta de guiado de cuerpo rígido con puntos de precisión.*

*Se trata de una aplicación formada por dos bloques: (a) Un código programado en Visual Script e integrado en el programa CAD 3D CatiaV5; (b) Un algoritmo programado en entorno Mathematica. El primero de los bloques se encarga de interpretar la información gráfica trazada por el usuario (puntos de paso y orientaciones), mientras que el segundo, tras recibir la información proveniente del programa CAD, resuelve los sistemas de ecuaciones no lineales y realiza las operaciones matemáticas de transformación asociadas a un determinado problema de*

*síntesis para acabar generando la solución a un problema en un formato directamente insertable en la mayoría de programas CAD3D del mercado.*

*Así, CAMS<sub>4</sub> cumple con todas las propiedades o características que, tal como hemos escrito unas líneas más arriba, hemos echado en falta en las herramientas dedicadas a la síntesis de mecanismos más representativas de hoy en día, resultando que nuestra aplicación:*

- Es 100% editable por parte del usuario, aspecto que la hace extremadamente flexible y personalizable ante unas necesidades concretas. Además esta propiedad puede interesar a determinados docentes que pretendan que sus alumnos se familiaricen con los métodos computacionales asociados a la síntesis de mecanismos, a los que se les puede solicitar que amplíen o modifiquen el comportamiento de nuestra aplicación para que cumpla con determinados requisitos, por ejemplo de optimización, etc.*
- Está integrada en el programa CAD3D CatiaV5 de tal manera que el usuario sólo ha de abandonar este entorno de trabajo para ejecutar el núcleo de cálculo de CAMS<sub>4</sub>, - la parte escrita en Mathematica-. Hemos evitado así que el usuario se vea obligado a aprender terceros programas.*
- Evita la introducción de cualquier tipo de valor numérico por parte del usuario, pues éste sólo ha de trazar puntos y orientaciones para posteriormente exportar dicha información al núcleo de cálculo. Se logra así gran agilidad y se evitan los más que probables errores de introducción e interpretación de datos.*
- Genera un archivo de resultados en formato wrl, -directamente interpretable por la mayoría de plataformas CAD3D existentes a día de hoy-, que el usuario sólo ha de insertar en su entorno de trabajo, del mismo modo que si insertara una pieza en un conjunto. Con esto se consigue evitar posibles errores con orígenes de coordenadas, interpretación de resultados, etc., y además se dota de gran agilidad al proceso inherente de diseño.*
- Es de utilidad para resolver problemas de 3,4 y 5 posiciones, con lo que brinda la posibilidad a docentes y a estudiantes de plantear o enfrentarse a problemas de menor o mayor dificultad en función del nivel de los alumnos.*
- Se perfila también como buena compañera de profesionales en la industria, pues resuelve problemas de considerable dificultad de un modo ágil, práctico e intuitivo.*

*3.- Ejemplo de uso de la herramienta CAMS<sub>4</sub>. Se pretende con él:*

- Motivar y animar a los docentes a que diseñen problemas similares, y dotar de un “ejercicio tipo” para que éstos lo hagan suyo y lo usen con sus alumnos y alumnas, ya sea en sesiones magistrales, clases prácticas o como proyectos de autoaprendizaje.*
- Aportar un material con el que cualquier usuario, ya sea industrial o del mundo docente, pueda familiarizarse con el uso de nuestra herramienta de Síntesis de Mecanismos.*

### 9.2 Futuras investigaciones

*Una vez finalizado el presente trabajo, se detallan futuras líneas de investigación que se derivan de esta tesis doctoral:*

#### **La Síntesis de Mecanismos**

*Estudiar los diversos criterios de optimización de mecanismos para generar algoritmos que sean capaces de discriminar de entre un conjunto dado de máquinas de un modo ágil e interactivo.*

*Abordar el problema de síntesis dimensional de mecanismos con más de cuatro barras, con la intención de implementar un código informático capaz de resolver esta problemática. Este trabajo conlleva asociado otro problema previo o paralelo: el de programar algoritmos capaces de plantear síntesis de tipo, para hallar inicialmente el o los tipos de mecanismos capaces de resolver una determinada necesidad.*

*Trabajar en el terreno de la introducción de restricciones de velocidad y de aceleración con el objetivo de incorporarlas en la resolución de problemas de síntesis dimensional de mecanismos, ya sea de trayectoria, de guiado de sólido rígido o de generación de función.*

#### **CAMS<sub>4</sub>**

*Integrar CAMS<sub>4</sub> y ATiCA<sub>4b</sub> para que sean un mismo programa capaz de realizar análisis i síntesis de mecanismos, esto se enfocaría de tal manera que el resultado actual de CAMS<sub>4</sub> permitiese ser animado o analizado, antes de ser exportado en formato wrl a la plataforma CAD correspondiente, y por tanto de manera independiente de los posibles simuladores cinemáticos que el CAD proporcione.*

*Hacer nuestras las opiniones que los estudiantes han manifestado en las sesiones de presentación de CAMS<sub>4</sub> y así:*

- Dotar a nuestro programa de un menú de ayuda que proporcione información técnica y diversos ejemplos que ayuden al diseñador de mecanismos a tomar decisiones a la vez que a comprender el funcionamiento y uso de CAMS<sub>4</sub>.*
- Mejorar la interfaz de usuario final, dotándola de un más agradable e intuitivo aspecto visual.*
- Programar un cuadro de diálogo que sirva para modificar las diversas variables de configuración de nuestra aplicación, pues actualmente las variables de configuración se han de cambiar editando los diversos programas que conforman nuestra aplicación.*
- Dotar a CAMS<sub>4</sub> de la posibilidad de comunicarse con otros CADs del mercado. Esto sería programando cada una de las plataformas CAD de interés para que acaben exportando la información gráfica trazada por el usuario a un archivo de texto debidamente codificado según la estructura mostrada en la Figura 7.5 de la presente investigación. Haciendo esto se conseguiría dotar a CAMS<sub>4</sub> de múltiples programas de adquisición de datos, -uno para cada plataforma CAD-, que en todos los casos se sincronizarían a la perfección con el núcleo de cálculo de nuestra aplicación.*

- *Investigar sobre los algoritmos necesarios para poder resolver problemas de síntesis de trayectoria y de generación de función con la intención de implementarlos en nuestra aplicación.*

***Docencia de Síntesis de mecanismos en España***

*Estudiar todos los contenidos de todas las asignaturas susceptibles de tratar en mayor o menor medida alguna pincelada de la materia de Síntesis de Mecanismos, esto se haría de una manera mucho más exhaustiva de lo que se ha hecho en la presente investigación, pues no se restringiría la búsqueda a sólo asignaturas obligatorias de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica, sino que dicho estudio se realizaría para todas las asignaturas del total de titulaciones que se imparten en nuestro país y que pudieran estar relacionadas con dicha materia. La intención de este trabajo sería la de obtener una instantánea lo más fidedigna posible del grado de impartición de esta materia en España para posteriormente poder realizar hipótesis, tomar conclusiones sobre las posibles causas de dicha realidad, así como para recomendar posibles acciones que se pudieran derivar de dicha investigación. Comentar que para poder realizar esta investigación, el o los interesados debieran esperarse a que se acabasen de implantar en su totalidad las titulaciones a estudiar, pues de lo contrario no se dispondría de las correspondientes guías docentes o documentaciones equivalentes necesarias para llevarla a cabo.*



# *10*

---

## ***Bibliografía y Referencias***



## Bibliografía y Referencias

---

- [1] *ADAMS: Herramienta de MSC corp. Destinada a la realización de simulaciones de cinemática y dinámica de mecanismos en tres dimensiones. Una de las aplicaciones más prestigiosas, potentes y complejas de usar del mercado.*  
[\[http://www.mscsoftware.com/Contents/Products/CAE-Tools/Adams.aspx\]](http://www.mscsoftware.com/Contents/Products/CAE-Tools/Adams.aspx), visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [2] Bourrelle J S. [et al.]. *Graphical User Interface to Solve the Burmester Problem. IFToMM World Congress, Besançon : France (2007)*
- [3] *CatiaV5: Programa CAD 3D paramétrico con múltiples módulos opcionales, entre ellos DMU kinematics para realizar análisis cinemáticos. Este es un módulo directamente creado desde el propio fabricante de CATIA (Dassault Systèmes).*  
[\[http://www.3ds.com/es/products/catia/portfolio/catia-v5/catia-v5r21/\]](http://www.3ds.com/es/products/catia/portfolio/catia-v5/catia-v5r21/), visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [4] Cebrián, M. *Análisis, Prospectiva y descripción de las nuevas competencias que necesitan las instituciones educativas y los profesores para adaptarse a la sociedad de la información. Revista Pixel-bit. N°20, Enero 2003.*
- [5] CIMEC: *Centro Internacional de Métodos Computacionales en Ingeniería, Santa Fe, Argentina: En esta institución se abordan múltiples problemas relacionados con los métodos numéricos y su aplicación al mundo de la Ingeniería.*  
[\[http://venus.ceride.gov.ar/twiki/bin/view/Cimec/WebHome\]](http://venus.ceride.gov.ar/twiki/bin/view/Cimec/WebHome), visitada a 8 de Julio de 2011]
- [6] Cinelli. *Diseñador italiano de cuadros de bicicletas para ciclismo profesional.* [\[http://www.cinelli.it/EN/\]](http://www.cinelli.it/EN/), visitada a 12 de Junio de 2008]
- [7] Erdman, Sandor. *Mechanism Design: Analysis and Synthesis*, vol. 1. Prentice-Hall, New Jersey 1997, 3rd edition, pp. 584-604.
- [8] Esteban Oñate, A. (2007). *Conocimientos del avión (6ª ed.)*. Madrid: Thomson-Paraninfo.
- [9] Hartenberg, Denavit. *Kinematic Synthesis of Linkages*, McGraw-Hill.1964.
- [10] Hernanz, M. LL.; Roselló, G.; Canela, E.; Carbonell, J.; Estelrich, P.; Grifoll, J.; Urbano, L; Naik, A. R.; Úbeda, E. *Marc general per a la integració europea., Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari de Catalunya, 2003.*
- [11] Hrones, J. A. y Nelson, G. L. (1951). *Analysis of the Fourbar Linkage*. MIT Technology Press: Cambridge, Mass.
- [12] *LINCAGES: Linkage INteractive Computer Assisted Geometrically Enhanced Synthesis. Herramienta orientada a la síntesis de mecanismos, desarrollada por el Dr. Erdman, de la Universidad de Minnesota. Fue la primera herramienta que*

- asistía en el terreno de la síntesis de mecanismos, y su primera versión data de los años 70 del siglo pasado.  
[\[http://www.me.umn.edu/labs/linkages/\]](http://www.me.umn.edu/labs/linkages/), visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [13] LINKAGES: Programa Informático dedicado a la síntesis de mecanismos y desarrollado por el Professor R. L. NORTON del Worcester Polytechnic Institute.  
[\[http://www.designofmachinery.com/\]](http://www.designofmachinery.com/), visitada a 7 de julio de 2011].
- [14] Mallik, Ghosh, Dittrich. *Kinematic Analysis and synthesis of Mechanisms*: – CRC Press 1994.
- [15] Mallik, Ghosh. *Theory of Machines and Mechanisms*, Affiliated East-West Press – 1998.
- [16] Mathematica: Aplicación comercial de reconocido prestigio internacional asociada a la resolución de problemas matemáticos de carácter simbólico. Es utilizada por matemáticos e ingenieros entre otros como herramienta de álgebra computacional y como poderoso lenguaje de programación.  
[\[http://www.wolfram.com/products/mathematica/index.html\]](http://www.wolfram.com/products/mathematica/index.html), visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [17] Matlab: Software matemático habitualmente usado como herramienta de cálculo numérico, ofrece un lenguaje de programación propio, lenguaje M. Es una herramienta de uso muy extendido, que puede asociarse de entre otros, con la herramienta Simulink: plataforma para simulación multi-dominio habitualmente usada para estudiar el comportamiento de sistemas variables en el tiempo: sistemas dinámicos.  
[\[http://www.mathworks.es/index.html\]](http://www.mathworks.es/index.html), visitada el 28 de octubre de 2011].
- [18] McCarthy, J. M., (Editor), *Kinematics of Robot Manipulators*, MIT Press, Cambridge, MA, 1987
- [19] McCarthy, J. M., *Geometric Design of Linkages*, (Interdisciplinary Applied Mathematics Series), Springer-Verlag, New York, 2000
- [20] Ministerio de Educación y Ciencia: Comisión para la Renovación de las Metodologías Educativas en la Universidad Propuestas para la renovación de las metodologías educativas en la universidad, Ministerio de educación y ciencia, 2007.
- [21] Myszka D H, *Machines & Mechanisms Applied Kinematics Analysis* , Pearson Education New Delhi, 2002.
- [22] Nieto, J., *Síntesis de mecanismos*. Madrid, Ed. AC, 1978, pp. 1-11.
- [23] Norton, R. L., *Cam Design and Manufacturing Handbook*, NY, Industrial Press, 2nd ed., 2009.

## Bibliografía y Referencias

---

- [24] Norton, R. L, *The Decline of Kinematics Education in the U.S*, conferencia en la ASME Machine Design Award, 2002, [[http://www.designofmachinery.com/editorials/asme\\_speech.html](http://www.designofmachinery.com/editorials/asme_speech.html)], visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [25] Norton, R. L. *Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines*. 5th ed., McGraw-Hill, 2011.
- [26] NX: Originalmente de Unigraphics, esta es actualmente una herramienta propiedad de SIEMENS. NX es otra de las herramientas CAD 3D paramétricas con más prestigio del mercado, como sus competidoras dispone de diversos módulos: PDM, CAE, CAM, etc. [[http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/products/nx/index.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/nx/index.shtml)], visitada el 1 de septiembre de 2010]
- [27] OECD-CERI, *The New Millenium Learners: Challenging our Views on ICT and Learning*, 2006. [<http://www.oecd.org/dataoecd/1/1/38358359.pdf>], visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [28] OECD-CERI, *New Millenium Learners in higher education: evidence and policy*, 2009. [<http://www.nml-conference.be/wp-content/uploads/2009/09/NML-in-Higher-Education.pdf>], visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [29] Open Enineering. *Oofelie Oriented Object Finite Elements Led by an Interactive Executor*. Se trata de un software de elementos finitos muy usado en las industrias aeroespaciales y de automoción. [<http://www.open-engineering.com/> visitada el 14 de junio de 2011].
- [30] Prensky, M. *Digital Natives, Digital Immigrants. On the Horizon*, Lincoln: NCB University Press, 2001. [<http://www.marcprensky.com/writing/Prensky%20-%20Digital%20Natives,%20Digital%20Immigrants%20-%20Part1.pdf>], visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [31] Prensky, M. *Digital Natives, Digital Immigrants, Part II: Do They Really Think Differently? On the Horizon*, Lincoln: NCB University Press, 2001 [<http://www.marcprensky.com/writing/Prensky%20-%20Digital%20Natives,%20Digital%20Immigrants%20-%20Part2.pdf>], visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [32] Prensky, M. *Don't bother me, Mom, I'm learning! How computer and video games are preparing your kids for 21st century success and how you can help*, NY, Paragon House Publishers, 2006.
- [33] Pro/ENGINEER: CAD 3D paramétrico de la empresa PTC. Se trata de otra de las grandes herramientas de diseño industrial a nivel internacional, del mismo modo que sus competidores,

- ofrece infinidad de módulos, entre ellos *Mechanica* o *Mechanism Dynamics* centrados en análisis cinemático y dinámico de mecanismos.  
[\[http://www.ptc.com/products/proengineer/mechanism-dynamics,](http://www.ptc.com/products/proengineer/mechanism-dynamics)  
visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [34] M. Pucheta, A. Cardona. *Síntesis de tipo y dimensional de mecanismos utilizando algoritmos genéticos y ecuaciones algebraicas exactas*. *Mecánica Computacional*, volumen XXII, pages 1200–1216, Bahía Blanca, Argentina, (Noviembre 2003)
- [35] M. Pucheta, A. Cardona. *Software para síntesis de mecanismos planos*. *Mecánica Computacional*, volumen XXIII, Bariloche, Argentina, (Noviembre 2004)
- [36] M. Pucheta, A. Cardona. *Design of bistable compliant mechanisms using precision–position and rigid-body replacement methods*. *Mechanism and Machine Theory*, 45(2), 304-326. (2010)
- [37] Python: Lenguaje de programación de alto nivel de código abierto –gratis–, basado en el lenguaje C. De entre sus descendientes destacamos SciPy y NumPy, se trata de paquetes para computación científica basados en Python. Habitualmente usados en la resolución de problemas relacionados con el universo matemático – científico. [\[http://www.python.org/](http://www.python.org/),  
visitada el 1 de septiembre de 2010]
- [38] Rattan, Tata. *Theory of Machines*, McGraw Hill, 1993.
- [39] Rotorbike. Empresa española (Madrid), que se dedica a la fabricación de componentes para ciclismo profesional.  
[\[http://www.rotorbike.com/](http://www.rotorbike.com/), visitada a 12 de Junio de 2008].
- [40] RR Constraint Generator. Se trata de una aplicación informática escrita íntegramente en Mathematica por el Professor McCarthy de la Universidad de California.  
[\[http://mechanicaldesign101.com/linkage-synthesis/](http://mechanicaldesign101.com/linkage-synthesis/), visitada a 7 de julio de 2011]-
- [41] SAM: Programa informático orientado principalmente a el análisis de mecanismos que ofrece un pequeño asistente para realizar síntesis. [\[http://www.artas.nl/](http://www.artas.nl/), visitada a 28 de octubre de 2011].
- [42] G. N. Sandor, A. G. Erdman. *Mechanism Design: Analysis and Synthesis*, vol. 2. Prentice-Hall, New Jersey 1984.
- [43] Shimano. Fabricante de componentes de bicicletas.  
[\[http://cycle.shimano-eu.com/](http://cycle.shimano-eu.com/), visitada a 12 de Junio de 2008]
- [44] SolidWorks: Uno de los programas CAD3D paramétrico de uso más extendido en la actualidad, propiedad Dassault Systèmes. [\[http://www.solidworks.com](http://www.solidworks.com), visitada el 1 de septiembre de 2010].

## Bibliografía y Referencias

---

- [45] *SolidWorks Simulation: Página de SolidWorks Simulation, esto son diversos paquetes enlazados con el CAD de SolidWorks, destinados a la simulación.*  
[<http://www.solidworks.es/sw/products/simulation-software-design-analysis.htm>, visitada el 1 de septiembre de 2010].
- [46] Svoboda, J., *Computing Mechanisms and Linkages*. Dover, Ed. Nueva York 1965, pp. 31-45.
- [47] *SyMech: Programa informático creado para resolver problemas de síntesis de mecanismos. Su uso está obligatoriamente ligado a el CAD3D Pro/ENGINEER.*  
[<http://www.symech.com/pi/product.htm>, visitada el 1 de setiembre de 2010].
- [48] *Synthetica: Herramienta creada por el Robotics and Automation Laboratory de la Universidad de California. Se aplica en la síntesis y en el análisis de mecanismos espaciales como robots, etc.*  
[<http://synthetica.eng.uci.edu:16080/~mccarthy/>, visitada el 7 de julio de 2011].
- [49] Uicker, Pennock, Shigley *Theory of Machines and Mechanisms*, Oxford Univ. Press, 2003.
- [50] Wagner, M., *Airbus A380: Superjumbo of the 21st Century*. Zenith Press, 2005, p 158.
- [51] *WATT: Herramienta informática que asiste en el análisis y en la síntesis de mecanismos.* [<http://www.heron-technologies.com/watt/helpw2/>, visitada el 7 de julio de 2011].
- [52] *Working Model: Programa informático específico para realizar análisis de mecanismos: simulaciones cinemáticas y dinámicas en el plano, con detección de colisiones.*  
[<http://www.design-simulation.com/wm2d/index.php>, visitada el 28 de octubre de 2011].

# ***Anexos***



# A

---

## **Código de ATiCA<sub>4b</sub>**

*Anexamos a continuación el código del simulador ATiCA<sub>4b</sub>, presentado mediante la comunicación oral “DOCENCIA DE CINEMÁTICA CON EL SIMULADOR DE MECANISMOS ATiCA<sub>4b</sub>” el pasado 1 de julio de 2010 durante el Congreso Internacional de Docencia Universitaria e Innovación (CIDUI 2010).*

*Dicha herramienta fue presentada en la categoría de “Planificación, estrategias y recursos docentes en el aula universitaria”.*

*Este simulador se ha programado íntegramente con la herramienta de cálculo simbólico Mathematica.*



## Código de ATiCA<sub>4b</sub>

---

### INITIALIZATION FUNCTIONS AND VARIABLES

(\*PATH WHERE RESULTS ARE STORED: IMAGES AND OTHERS\*)

```
PathCarpeta="C:\\Documents and Settings\\jlopez\\Escritorio\\CIDUI 2010\\imgs\\";
```

(\*CALCULATES A BAR'S LENGHT, ZCOORD IS OPTIONAL, IF NOT GIVEN IT GETS ZERO AS DEFAULT\*)

```
Modul[{xx_,yy_,zz_:0}]:= (N[ $\sqrt{\mathbf{xx}^2 + \mathbf{yy}^2 + \mathbf{zz}^2}$  ])
```

(\*CONVERTS A POLAR COORDINATE SYSTEM TO A CARTESIAN ONE; XX\_ IS LENGHT AND YY\_ IS ANGLE[DEG]\*)

```
PolarToCart[{xx_,yy_}]:=({xx*Cos[yy Degree],xx*Sin[yy Degree],0})
```

(\*CHECKS GRASHOF CONDITION → BOOL\*)

```
EsGrashof[{xx_,yy_,zz_,tt_}]:= (
  ModulOrd=Sort[Modul/@{xx,yy,zz,tt}];
  ModulOrd[[1]]+ModulOrd[[4]]<=ModulOrd[[2]]+ModulOrd[[3]]
);
```

(\*GETS THE ORIENTATION OF A GIVEN VECTOR FROM 0-360° → ANGLE[DEG]\*)

```
Fi[{xx_,yy_,zz_:0}]:= (
  (N[ArcTan[yy/xx]]+
  Which[
    xx>0 && yy>=0,0,
    xx<0 && yy>=0,Pi,
    xx<0 && yy<=0,-Pi,
    xx>0 && yy<=0,0
  ])*180/Pi
);
```

(\*INCREASES Z UNITS THE ZCOORD OF A GUVEN VECTOR→ VECTOR(X,Y,Z+z) \*)

```
IncValorZ[vect_,z]:=(vect+{0,0,1}*z);
```

(\*DRAWS A ROTATING AXIS FORMED BY FOUR DIFFERENT CYLINDERS\*)

(\*EIXCIL MUST BE A LIST LIKE: {{},{}}\*)

```
Pivot[Color1_,Color2_,eixCil_,radiCil1_,radiCil2_]:= (
  MeitatDelCilindre=eixCil[[1]]+(eixCil[[2]]-eixCil[[1]])/2;
  GruixZonaCentral={0,0,1}*1;
  ExcesCilindreCentral={0,0,1}*1;
  {Specularity[White,30],EdgeForm[],Opacity[1],
  Color1,Cylinder[{eixCil[[1]],MeitatDelCilindre-
  GruixZonaCentral/2},radiCil1],Black,Cylinder[{MeitatDelCilindre-
  GruixZonaCentral/2,MeitatDelCilindre+GruixZonaCentral/2},Min[radiCil1,radiCil2]+.1],
  Color2,Cylinder[{MeitatDelCilindre-
  GruixZonaCentral/2,eixCil[[2]],radiCil2],Black,Cylinder[{eixCil[[1]]-
  ExcesCilindreCentral,eixCil[[2]]+ExcesCilindreCentral},Min[radiCil1,radiCil2]/3]}
);
```

```
(*GIVES A COUPLER POINT COORDINATES*)
PuntsAcoplador[fi1First,fi1Last,step,PuntAcopladorL,PuntAcopladorA]:= (
    PuntsAcopladorLst={};
    inc=step;

    For[i=fi1First,i<=fi1Last,i=i+inc,
        fi1=i Degree;
        eq=R[[1]] {Cos[fi1],Sin[fi1]}+R[[2]] {Cos[fi2],Sin[fi2]}+R[[3]]
        {Cos[fi3],Sin[fi3]}==r4;
        rt=FindRoot[eq,{fi2,fi0r[[2]]},{fi3,fi0r[[3]]}];
        fii={fi1,fi2,fi3}/.rt;
        barra1=R[[1]] {Cos[fii[[1]]],Sin[fii[[1]]],0};
        barra2=R[[2]] {Cos[fii[[2]]],Sin[fii[[2]]],0};
        barra3=R[[3]] {Cos[fii[[3]]],Sin[fii[[3]]],0};
        barra4=r4;
        PuntAcopladorC=barra1+PolarToCart[{PuntAcopladorL,PuntAcopladorA+fii[[2]]
        ]*180/Pi};
        PuntsAcopladorLst=Append[PuntsAcopladorLst,PuntAcopladorC];
    ];
    PuntsAcopladorLst
);
```

```
(*PLOTS A GIVEN MECHANISM AND IT'S COUPLER POINTS*)
(*[ANGLE DRIVEN, COUPLER LENGHT, COUPLER ANGLE, POINT OF VIEW]*)
PlotMec[fi1,PuntAcopladorL,PuntAcopladorA,t]:= (
    eq=R[[1]] {Cos[fi1],Sin[fi1]}+R[[2]] {Cos[fi2],Sin[fi2]}+R[[3]] {Cos[fi3],Sin[fi3]}==r4;
    rt=FindRoot[eq,{fi2,fi0r[[2]]},{fi3,fi0r[[3]]}];
    fii={fi1,fi2,fi3}/.rt;
    radiBarra=.2;
    barra1=R[[1]] {Cos[fii[[1]]],Sin[fii[[1]]],0};
    barra2=R[[2]] {Cos[fii[[2]]],Sin[fii[[2]]],0};
    barra3=R[[3]] {Cos[fii[[3]]],Sin[fii[[3]]],0};
    barra4={r4[[1]],r4[[2]],0};
    PuntAcopladorC=PolarToCart[{PuntAcopladorL,PuntAcopladorA+fii[[2]]*180/Pi};
```

```
(*MECHANISMS + COUPLER POINT*)
o12={o[[1]],o[[2]],0}+barra1;
o23=o12+barra2;
o34=o23+barra3;
```

```
(*DEPTH EFFECT BETWEEN MOVING PLANES OF BARS*)
zBarra1=1;
zBarra2=2;
zBarra3=1;
zExcesPivot=.25;
radiPivot=radiBarra*1.5;
```

## Código de ATiCA<sub>4b</sub>

---

```
barra1Cyl={Specularity[White,30],EdgeForm[],Green,Cylinder[IncValorZ[#,zBarra1]&/@
{{o[[1]],o[[2]],0},o12},radiBarra]};
barra2Cyl={Specularity[White,30],EdgeForm[],Orange,Cylinder[IncValorZ[#,zBarra2]&/
@{o12,o23},radiBarra]};

barra3Cyl={Specularity[White,30],EdgeForm[],Blue,Cylinder[IncValorZ[#,zBarra3]&/@{o
23,o34},radiBarra]};

barra5Cyl={Specularity[White,30],EdgeForm[],Orange,Cylinder[IncValorZ[#,zBarra2]&/
@{o12,o12+PuntAcopladorC},radiBarra]};

barra6Cyl={Specularity[White,30],EdgeForm[],Orange,Cylinder[IncValorZ[#,zBarra2]&/
@{o12+PuntAcopladorC,o23},radiBarra]};

barresCyl={barra1Cyl,barra2Cyl,barra3Cyl,(*barra4Cyl,*)barra5Cyl,barra6Cyl};

pivot1=Pivot[Cyan,Green,{{o[[1]],o[[2]],0},{o[[1]],o[[2]],zBarra1+zExcesPivot}},radiPiv
ot*5,radiPivot*3];

pivot2=Pivot[Green,Orange,{IncValorZ[o12,zBarra1-
zExcesPivot],IncValorZ[o12,zBarra2+zExcesPivot]},radiPivot,radiPivot];

pivot3=Pivot[Blue,Orange,{IncValorZ[o23,zBarra3-
zExcesPivot],IncValorZ[o23,zBarra2+zExcesPivot]},radiPivot,radiPivot];

pivot4=Pivot[Cyan,Blue,{IncValorZ[o34,0],IncValorZ[o34,zBarra3+zExcesPivot]},radiPivo
t*4,radiPivot*2];

pivot5={Specularity[White,30],EdgeForm[],Magenta,Cylinder[{IncValorZ[o12+PuntAcopl
adorC,zBarra2-
zExcesPivot],IncValorZ[o12+PuntAcopladorC,zBarra2+zExcesPivot]},radiPivot]};

pivots={pivot1,pivot2,pivot3,pivot4,pivot5};

Graphics3D[{Opacity[0.5],Specularity[White,30],EdgeForm[],Blue,Polygon[IncValorZ[#,z
Barra2-.5]&/@PuntsAcoplador[{0,360,5,PuntAcopladorL,PuntAcopladorA}]]}],
Graphics3D[{PointSize[Large],Point[IncValorZ[#,zBarra2-
.5]&/@PuntsAcoplador[{0,360,5,PuntAcopladorL,PuntAcopladorA}]]}],

Graphics3D[barresCyl],

Graphics3D[pivots],

Graphics3D[Cuboid[{o[[1]],o[[2]],0}+{-2,-2,0},o34+{2,2,-2}],

Boxed->False,Axes->False,ImageSize->{800,600,PlotRange->{{-15,20},{-14,14},{-
4,4}},ViewPoint->Top

);
```

## PROGRAM BODY

(\*STARTING MECHANISM COORDINATES [MM]\*)

$o = \{0, 0\};$

$r1 = \{-.695, 3.939\};$

$r2 = \{10.671, 5.49\};$

$r3 = \{-3.331, -9.429\};$

$r4 = -(o + r1 + r2 + r3);$

$PuntAcopladorLong = 5; (*MM*)$

$PuntAcopladorAngle = 20; (*DEGREES*)$

(\*GENERATING MECHANISM\*)

$Mecanisme = \{r1, r2, r3, r4\};$

$R = Modul/@Mecanisme;$

$fi0 = Fi/@Mecanisme; (*DEGREES*)$

$fi0r = fi0 * Pi / 180; (*RADIAN*)$

$fii = fi0r;$

(\*FINAL DYNAMIC CONTROL INTERFACE\*)

$Manipulate[$

$PlotMec[AnguloMotriz, LongitudAcoplador, AnguloAcoplador, PuntoVista], \{AnguloMotriz, fi0$

$r[[1]], fi0r[[1]] + 2$

$Pi\}, \{LongitudAcoplador, 5, 9, 0.1\}, \{AnguloAcoplador, 0, 360, 2.5\}, \{PuntoVista, 0, 4 Pi, .1\}$

$]$



# B

---

## **Código de CAMS4catia**

*Mostramos aquí la parte de CAMS<sub>4</sub> que se ha programado para ser ejecutada por CatiaV5. Se trata de líneas de código que traducen la información gráfica trazada por el usuario a coordenadas y orientaciones numéricas, para a posteriori, generar un archivo de texto debidamente codificado para poder ser interpretado por el núcleo de cálculo de CAMS<sub>4</sub>.*

*El lector apreciará que el siguiente código está escrito en lenguaje VBScript, una variante de Visual Net.*

```
' SCRIPT FOR CATIA V5 R19 SP6
' WRITER : JOAN ANTONI LÓPEZ MARTÍNEZ
' THIS SCRIPT SCANS A GEOMETRICAL SET NAMED 'GEOMETRICAL SET.1' FOR A SKETCH NAMED 'SKETCH.1' IN AN
ACTIVE PART 'CAMS4' INSERTED IN A PRODUCT
' THEN GETS XYZ OF 10 POINTS (VALUES IN MM) ' AND STORES A REPORT AS A TEXT FILE (SPATH VARIABLE)
```

```
Sub CATMain()
```

```
    Dim oPartDoc As Part
    Dim oHBs As HybridBodies
    Dim oHSs As Object
    Dim TheSPAWorkbench As Workbench
    Dim oRef As Object
    Dim referenceObject As Reference
    Dim TheMeasurable As Variant
    Dim aCoordinates(2) As Variant
    Dim iNumberOfPoint As Integer
    Dim documents1 As Documents

    Dim partDocument1 As PartDocument
    Set documents1 = CATIA.Documents
    Set partDocument1 = documents1.Item("CAMS4.CATPart")
```

```
    'ERROR CONTROL IS ACTIVED
    On Error Resume Next
```

```
    Set oPartDoc = partDocument1.Part
    Set oHBs = oPartDoc.HybridBodies
```

```
    'EXITS SUB IF NO ACTIVE PART
    If Err.Number <> 0 Then
        Message = MsgBox("Sorry, This script works with a CATPart as Active document",
vbCritical, "Error")
        Exit Sub
    End If
```

```
    Dim hybridBodies1 As HybridBodies
    Set hybridBodies1 = oPartDoc.HybridBodies
```

```
    Dim hybridBody1 As HybridBody
    Set hybridBody1 = hybridBodies1.Item("Geometrical Set.1")
```

```
    Dim sketches1 As Sketches
    Set sketches1 = hybridBody1.HybridSketches
```

```
    Dim sketch1 As Sketch
    Set sketch1 = sketches1.Item("Sketch.1")
```

```

'CREATEREFERENCEFROMGEOMETRY IS USED TO GET COORDINATES
Set TheSPAWorkbench = CATIA.ActiveDocument.GetWorkbench("SPAWorkbench")

Dim MyString As String

For i = 1 To 10 'each point
    'GETITEM("POINT.I")
    Set oRef = sketch1.GeometricElements.Item("Point." & i)
    'SETS REFERENCE IN ORDER TO USE MEASURABLE
    Set referenceObject = oPartDoc.CreateReferenceFromGeometry(oRef)
    'SETS MEASURABLE WITH REFERENCE
    Set TheMeasurable = TheSPAWorkbench.GetMeasurable(referenceObject)
    'GETS COORDINATES FROM MEASURABLE
    TheMeasurable.GetPoint (aCoordinates)

    'TF REFERENCE IS POINT THEN
    If Err.Number = 0 Then
        ' COUNT THE NUMBER OF POINT
        iNumberOfPoint = i
        ' GET THE NAME OF POINT IN ARRAY
        aToExport(iNumberOfPoint, 3) = oRef.Name
        For U = 0 To 2
            ' GET COORDINATES IN ARRAY -->TO STRING
            aToExport(iNumberOfPoint, U) = CStr(aCoordinates(U))
        Next U

        MyString = MyString + "Point." & i & " " & CStr(aCoordinates(0)) & " " &
        CStr(aCoordinates(1)) & " " & CStr(aCoordinates(2)) & Chr(13)

    End If

    ' RESET ERROR TO 0
    Err.Clear
    'NEXT POINT
Next i

'CHANGES , PER . IN MYSTRING
MyString = Replace(MyString, ",", ".")

MsgBox MyString

WriteCoordToFile (MyString)
End Sub

```



## Código de CAMS4catia

---

```
Sub WriteCoordToFile(txt As String)
    Dim sName As String
    Dim sPath As String

    'FILE WHERE INFORMATION WILL BE STORED
    sPath="C:\Users\jlopez\Desktop\catia exporta coordenades\CAMS4coord.txt"
    sName = sPath

    'OPEN FILE FOR WRITTING
    Open sName For Output As #1

    'WRITE IN FILE
    Write #1, txt "Points Extraction from CATIA"
    Close

    'INFORMATION ABOUT JOB DONE
    MsgBox "Check the file : " & sName, vbInformation
End Sub
```

# C

---

## **Código de CAMS<sub>4</sub>**

*Aquí anexamos el código del núcleo de cálculo de CAMS<sub>4</sub>. Estas líneas están escritas en lenguaje Mathematica y sólo se pueden ejecutar y editar mediante dicho programa de cálculo simbólico. El lector podrá observar que éste está dividido en cuatro zonas principales (recuérdese la Figura 7.4):*

- 1. Inicialización y Variables de configuración*
- 2. Tres posiciones*
- 3. Cuatro posiciones*
- 4. Cinco posiciones*

*Además de las zonas ya comentadas, se distinguen también un par de regiones del código con otros fines: La dedicada a la lectura de datos procedentes del CAD (CAD DATA READING), o la que puede hallarse al final de la hoja de Mathematica, -WRML OUTPUT -, y que se encarga de traducir el resultado numérico obtenido a un archivo \*.wrl, archivo que es directamente insertable en la gran mayoría de CADs 3D de hoy en día, y que mostrará al lector el conjunto de resultados posibles para una determinada problemática de diseño.*

## INITIALIZATION FUNCTIONS AND VARIABLES

(\*PATH WHERE CAD STORES COORDINATES\*)

```
PATHcad="C:\\Users\\jlopez\\Desktop\\catia exporta coordenades\\CAMS4coord.txt";
```

(\*PATH WHERE KERNEL STORES RESULTS FOR CAD\*)

```
PATHmath="C:\\Users\\jlopez\\Desktop\\catia exporta coordenades\\";
```

(\*THIS FUNCTION RETURNS 1,2,3 DEPENDING ON WICH CAD COORD IS ZERO: USEFULL FOR KNOWING THE DRAWING PLANE \*)

```
WhereIsZero[CadPoint_] := (
  Piecewise[{
    {1, CadPoint[[1]] == 0},
    {2, CadPoint[[2]] == 0},
    {3, CadPoint[[3]] == 0}
  }]
);
```

(\*\*\*\*\*)

(\*CALCULATES ARG ALLWAYS GIVING A POSITIVE RESULT \*)

```
MyArg[fasor_Complex] := (
  If [Arg[fasor] > 0, Arg[fasor], 2*Pi + Arg[fasor]]
);
```

(\*\*\*\*\*)

(\*TRANSFORMS COORDINATE SYSTEMS.\*)

```
PolarToCart[polar_] := {Abs[polar]*Cos[Arg[polar]], Abs[polar]*Sin[Arg[polar]]};
```

(\*\*\*\*\*)

(\*DELETES FAR AWAY POINTS (COORDIANATES WITHOUT POSSIBLE USE) \*)

(\*FAP: FARAWAYPOINTS DISTANCE [MM]\*)

```
DeleteFAP[FAP_, lst_] := (
  (*POSITION[LST, {{x_, y_, 0}, {z_, t_, 0}}]; (ABS[x] > FAP || ABS[y] > FAP || ABS[z] > FAP || ABS[t] > FAP)*)
  Delete[lst, Position[lst, {{x_, y_, 0}, {z_, t_, 0}}]; (ABS[x] > FAP || ABS[y] > FAP || ABS[z] > FAP || ABS[t] > FAP)]
);
```

(\*\*\*\*\*)

(\*CALCULATES BURMESTER POINTS CURVES FOR A GIVEN  $\beta_2$  \*)

```
BPP[B2_, vals_, comp_] := (
  eqs = {
    w(E^(I*B2)-1) + z(E^(I*A2)-1) == DELTA2,
    w(E^(I*B3)-1) + z(E^(I*A3)-1) == DELTA3,
    w(E^(I*B4)-1) + z(E^(I*A4)-1) == DELTA4,
    w(E^(I*B5)-1) + z(E^(I*A5)-1) == DELTA5
  }
);
```

```

};

mat={E^(I*B2)-1,E^(I*A2)-1,DELTA2},{E^(I*B3)-1,E^(I*A3)-1,DELTA3},{E^(I*B4)-1,E^(I*A4)-1,DELTA4},{E^(I*B5)-1,E^(I*A5)-1,DELTA5}};
minors=Minors[mat]/.vals;

D2=minors[[3,3]];
D3=-minors[[2,3]];
D4=minors[[1,3]];
D1=-D2-D3-D4;
DD=D1+D2*E^(I*B2);

cos=(Abs[D4]^2-Abs[D3]^2-Abs[DD]^2)/(2Abs[D3]*Abs[DD]);

FI3=ArcTan[cos,Abs[Sqrt[(1-cos^2)]]];

SOL41={
B3->Arg[DD]+FI3-Arg[D3],
B3comp->Arg[DD]+(2\[Pi]-FI3)-Arg[D3]
};

cos=(Abs[D3]^2-Abs[D4]^2-Abs[DD]^2)/(2Abs[D4]*Abs[DD]);

FI4=ArcTan[cos,Abs[Sqrt[(1-cos^2)]]]/.vals;

SOL42={
B4->Arg[DD]-FI4-Arg[D4],
(*Overscript[Subscript[\[Theta], 4], \[Tilde]]->-Subscript[\[Theta], 4], *)
B4comp->Arg[DD]+FI4-Arg[-D4]+\[Pi]
};

wz=If[comp==0,Solve[{eqs[[2]],eqs[[3]]}/.vals/.SOL41/.SOL42][[1]],Solve[{eqs[[1]],eqs[[3]]}/.B3->B3comp/.B4->B4comp/.vals/.SOL41/.SOL42][[1]]];

(*MOVING: K POINTS*)
a=(R1-z)/.vals/.wz;
acart=PolarToCart[a];
(*FIX: M POINTS*)
b=(R1-z)-w/.vals/.wz;
bcart=PolarToCart[b];

(*M AND K IN CARTESIAN COORDS*)
{{bcart[[1]],bcart[[2]],0},{acart[[1]],acart[[2]],0}}
);

```

## Código de CAMS<sub>4</sub>

---

### CAD DATA READING

```
str=OpenRead[PATHcad]
```

```
values=ReadList[str,{Word,Number,Number,Number}];
```

```
Close[str];
```

```
(*LIST WITH POINT COORDINATES *)
```

```
CADCoord=Table[{values[[i,2]],values[[i,3]],values[[i,4]]},{i,1,10}]
```

```
Clear[values,str];
```

```
ZeroCADCoord=WhereIsZero[CADCoord[[1]]];
```

```
(*DELETES ZERO COORD AND TRANSFORMS TO POLAR
```

```
{1,0,2},{2,5,0},{4,0,-6} /. {A_B_0}→A+I*B,{A_0,B_}→A+I*B,{0,A_B_}→A+I*B
```

```
*)
```

```
Clear[aa,bb];
```

```
CADCoordTwoDim=CADCoord/.{aa_bb_0}→aa+I*bb/.{aa_0,bb_}→aa+I*bb/.{0,aa_bb_}→aa+I*bb;
```

```
Line1=CADCoordTwoDim[[1]]-CADCoordTwoDim[[2]];
Line2=CADCoordTwoDim[[3]]-CADCoordTwoDim[[4]];
Line3=CADCoordTwoDim[[5]]-CADCoordTwoDim[[6]];
Line4=CADCoordTwoDim[[7]]-CADCoordTwoDim[[8]];
Line5=CADCoordTwoDim[[9]]-CADCoordTwoDim[[10]];
```

```
(*FINAL POLAR COORDINATES IN MM AND RAD:*)
```

```
values={DELTA2→(CADCoordTwoDim[[3]]-CADCoordTwoDim[[1]]),DELTA3→(CADCoordTwoDim[[5]]-CADCoordTwoDim[[1]]),DELTA4→(CADCoordTwoDim[[7]]-CADCoordTwoDim[[1]]),DELTA5→(CADCoordTwoDim[[9]]-CADCoordTwoDim[[1]]),A2→(MyArg[Line2]-MyArg[Line1]),A3→(MyArg[Line3]-MyArg[Line1]),A4→(MyArg[Line4]-MyArg[Line1]),A5→(MyArg[Line5]-MyArg[Line1]),R1→CADCoordTwoDim[[1]]};
```

### THREE POSITIONS

```
(*PRECISION OF RESULT*)
```

```
PointsToPlot=180;(*360 = 1 POINT PER DEGREE; *)
```

```
MK=Table[BPP[i,values,0],{i,0,(2π)/PointsToPlot (PointsToPlot-1),(2π)/PointsToPlot}];
```

```
MKcomp=Table[BPP[i,values,1],{i,0,(2π)/PointsToPlot (PointsToPlot-1),(2π)/PointsToPlot}];
```

## FOUR POSITIONS

(\*PRECISION OF RESULT\*)

*PointsToPlot=180; (\*360 = 1 POINT PER DEGREE;\*)*

*MK=Table[BPP[i,values,0],{i,0,(2 $\pi$ )/PointsToPlot (PointsToPlot-1),(2 $\pi$ )/PointsToPlot}];*

*MKcomp=Table[BPP[i,values,1],{i,0,(2 $\pi$ )/PointsToPlot (PointsToPlot-1),(2 $\pi$ )/PointsToPlot}];*

## FIVE POSITIONS

(\*PRECISION OF RESULT\*)

*PointsToPlot=180; (\*360 = 1 POINT PER DEGREE;\*)*

*MK=Table[BPP[i,values,0],{i,0,(2 $\pi$ )/PointsToPlot (PointsToPlot-1),(2 $\pi$ )/PointsToPlot}];*

*MKcomp=Table[BPP[i,values,1],{i,0,(2 $\pi$ )/PointsToPlot (PointsToPlot-1),(2 $\pi$ )/PointsToPlot}];*

## WRML OUTPOUT

(\*PLOTS CONTINUOUS CURVE FROM CARTESIAN VECTOR X<sub>i</sub> / \

{{X<sub>1</sub>,Y<sub>1</sub>},{X<sub>2</sub>,Y<sub>2</sub>},...} ->X<sub>1</sub>,x<sub>2</sub>,x<sub>3</sub>,...,x<sub>1</sub>\*)

```
ContinuousCylPlot[lst_, r_] := (
  Graphics3D[
    Table[{EdgeForm[Opacity[1]], Hue[1],
      Cylinder[{lst[[i, 1]], lst[[i + 1, 1]]}, r]}, {i, 1,
      Length[lst] - 1}], ViewPoint -> {0, 0, Infinity}]
  );
```

(\*PLOTS RECURSIVELY DISCONTINUOUS CURVE FROM X<sub>i</sub> TO Y<sub>i</sub> FROM A LIST \

LIKE {{X<sub>1</sub>,Y<sub>1</sub>},{X<sub>2</sub>,Y<sub>2</sub>},...} \*)

```
BarsCylPlot[lst_, r_] := (
  Graphics3D[
    Table[{EdgeForm[Opacity[1]], Hue[1],
      Cylinder[{lst[[i, 1]], lst[[i, 2]]}, r]}, {i, 1, Length[lst]}],
    ViewPoint -> {0, 0, Infinity}]
  );
```

(\*PLOTS SPHERES WITH CENTERS X<sub>i</sub> FROM {{X<sub>1</sub>,Y<sub>1</sub>},{X<sub>2</sub>,Y<sub>2</sub>},...} \*)

```
PointsSphPlot[lst_, r_] := (
  Graphics3D[
    Table[{EdgeForm[Opacity[1]], Hue[1], Sphere[lst[[i, 1]], r]}, {i,
      1, Length[lst]}], ViewPoint -> {0, 0, Infinity}]
  );
```

## Código de CAMS<sub>4</sub>

---

*radiiCyl = 5/100;*

*radiiSph = radiiCyl;*

*Mlines = Show[ContinuousCylPlot[MK, radiiCyl],*

*ContinuousCylPlot[MKcomp, radiiCyl]];*

*MKlines =*

*Show[BarsCylPlot[MK, radiiCyl], BarsCylPlot[MKcomp, radiiCyl]];*

*Mpoints =*

*Show[PointsSphPlot[MK, radiiSph], PointsSphPlot[MKcomp, radiiSph]];*

*(\*FINAL WRML FILES\*)*

*Export[PATHmath <> "Mlines.wrl", Mlines]*

*Export[PATHmath <> "MKlines.wrl", MKlines]*

# D

---

## ***Fichas de guías docentes***

*Tal y como se ha comentado en el apartado 2.2 de la presente investigación, adjuntamos aquí, a modo de fichas, toda la información recabada sobre las guías docentes de las 54 asignaturas susceptibles de contener alguna parte que trate la materia conocida como “Síntesis de Mecanismos”.*



## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 01**

UNIVERSIDAD: A Coruña

CENTRO: Escuela Politécnica Superior

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 730G03019

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL:

[https://campusvirtual.udc.es/guiadocente/guia\\_docent/assignatures/print/?ensenyament=730G03&assignatura=730G03019&any\\_academic=2011\\_12&idioma\\_assig=&any\\_academic=2011\\_12](https://campusvirtual.udc.es/guiadocente/guia_docent/assignatures/print/?ensenyament=730G03&assignatura=730G03019&any_academic=2011_12&idioma_assig=&any_academic=2011_12)

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **1** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 2

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*ANÁLISIS TOPOLÓGICO DE MECANISMOS.*

*ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS.*

*SÍNTESIS CINEMÁTICA DE MECANISMOS.*

*ANÁLISIS DINÁMICO DE MECANISMOS.*

*LEVAS.*

*ENGRANAJES*

---

### COMENTARIOS:

Ofrece un curso de doctorado: "Análisis y Síntesis de Mecanismos por Ordenador"  
[<http://lim.ii.udc.es/docencia/phd-meccomp/>]

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 02**

UNIVERSIDAD: Alfonso X El Sabio

CENTRO: Escuela Politécnica Superior

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 341801

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.uax.es/uax/que-estudiar/grado/iind/gmc0/gmc-pe.html>

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NO DETERMINADO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NO DETERMINADO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*NO DETERMINADO*

---

**COMENTARIOS:**

No se ha podido encontrar ningún contenido asociado hasta la fecha en que se ha consultado la web de la universidad y/o del centro correspondiente.

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 03**

UNIVERSIDAD: Almería

CENTRO: Escuela Superior de Ingeniería

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 44102207

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL:

[http://cms.ual.es/UAL/estudios/grados/plandeestudios/asignaturas/asignatura/GRADO2910?idAss=44102207&idTit=2910&anyo\\_actual=2011-12](http://cms.ual.es/UAL/estudios/grados/plandeestudios/asignaturas/asignatura/GRADO2910?idAss=44102207&idTit=2910&anyo_actual=2011-12)

ASIGNATURA: Teoría de Mecanismos

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,42** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 2

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*MOVIMIENTO RELATIVO DE SÓLIDOS RÍGIDOS*

*TERMINOLOGÍA Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES*

*FUNDAMENTOS DE ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE MECANISMOS*

*RESISTENCIAS PASIVAS EN LOS PARES CINEMÁTICOS DE LOS MECANISMOS*

*TÉCNICAS GRÁFICAS Y ANÁLISIS DE CÁLCULO DE CINEMÁTICA Y DINÁMICA DE MÁQUINAS*

*TEORÍA DE ENGRANAGES*

*TRENES DE ENGRANAGES*

---

### COMENTARIOS:

En la asignatura de plan 2005

([http://cvirtual.ual.es/guiao/jsp/guia\\_informes/guia\\_informe\\_gd.jsp?GUIA=3021&PLAN=2905](http://cvirtual.ual.es/guiao/jsp/guia_informes/guia_informe_gd.jsp?GUIA=3021&PLAN=2905)), si se imparten "Fundamentos de síntesis de mecanismos"

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 04**

UNIVERSIDAD: Antonio de Nebrija

CENTRO: Escuela Politécnica Superior

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: IDI115

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.nebrija.com/carreras-universitarias/ingenieria-mecanica/plan-de-estudios.htm>

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NINGUNO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. MATLAB-SIMULINK**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*ROZAMIENTO Y LUBRICACIÓN*

*CINEMÁTICA*

*DINÁMICA DE MECANISMOS Y MÁQUINAS*

*FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS, LEVAS Y ENGRANAJES*

---

**COMENTARIOS:**

Realizan simulación de sistemas dinámicos con Simulink

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 05**

UNIVERSIDAD: Autónoma de Barcelona

CENTRO: Escuela Universitaria Salesiana de Sarrià

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 200149 OB

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.euss.es/web/portal/ca/ficha-plan-cursos.htm?id=GME01>

ASIGNATURA: Teoría de máquinas y mecanismos

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 7 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*TEMA 1: ESTÁTICA*

*TEMA 2: CINEMÁTICA*

*TEMA 3. DINÁMICA DEL LOS SÓLIDOS RÍGIDOS*

---

### COMENTARIOS:

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 06**

UNIVERSIDAD: Burgos

CENTRO: Escuela Politécnica Superior

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 6319

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL:

[https://ubuvirtual.ubu.es/mod/guiadocente/get\\_guiadocente.php?asignatura=6319&cursoacademico=2011](https://ubuvirtual.ubu.es/mod/guiadocente/get_guiadocente.php?asignatura=6319&cursoacademico=2011)

ASIGNATURA: Mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **1** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 2

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*ANÁLISIS TOPOLÓGICO DE MECANISMOS*

*MECANISMOS ARTICULADOS*

*SÍNTESIS GRÁFICA DE MECANISMOS*

*CINEMÁTICA GRÁFICA Y ALGÉBRICA DE MECANISMOS PLANOS*

*ESTÁTICA DE MÁQUINAS*

*DINÁMICA DE MÁQUINAS*

---

**COMENTARIOS:**

---

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 07**

UNIVERSIDAD: Burgos

CENTRO: Escuela Politécnica Superior

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.ubu.es/titulaciones/es/grado-mecanica/informacion-academica/memoria-titulo>

ASIGNATURA: Mecanismos II

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **1,2** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 1

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### **CONTENIDO ABREVIADO:**

*SÍNTESIS ALGÉBRICA DE MECANISMOS*

*MECANISMOS ESPACIALES*

*ROBOTS MANIPULADORES INDUSTRIALES*

*MECANISMOS LEVA-SEGUIDOR*

*ENGRANAJES, TRENES DE ENGRANAJES Y CAJAS DE VELOCIDADES*

---

### **COMENTARIOS:**

Información extraída de la memoria de grado

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 08**

UNIVERSIDAD: Cantabria

CENTRO: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: G745

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.unican.es/programas/guias/2011/G745.pdf>

ASIGNATURA: Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,86** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 2

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*1 INTRODUCCIÓN*

*2 GEOMETRÍA DEL MOVIMIENTO*

*3 ANALISIS CINEMATICO*

*4 SINTESIS DIMENSIONAL DE MECANISMOS*

*5 LEVAS*

*6 ENGRANAJES*

*7 TRABAJO DIRIGIDO*

---

**COMENTARIOS:**

---



## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 09**

UNIVERSIDAD: Carlos III de Madrid

CENTRO: Escuela Politécnica Superior - Campus Leganés

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 221 - 14194

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www3.uc3m.es/reina/Fichas/Idioma\\_1/221.14194.html](http://www3.uc3m.es/reina/Fichas/Idioma_1/221.14194.html)

ASIGNATURA: Mecánica de Máquinas

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

1. INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA. ESTÁTICA. CINEMÁTICA DEL PUNTO. SISTEMAS DE UNIDADES
2. CINEMÁTICA DEL SÓLIDO RÍGIDO
3. DINÁMICA DEL SÓLIDO RÍGIDO
4. TRABAJO Y ENERGÍA EN MECANISMOS PLANOS
5. MECANISMOS PLANOS
6. CINEMÁTICA DE MECANISMOS PLANOS
7. DINÁMICA DE MECANISMOS PLANOS

---

### COMENTARIOS:

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 10**

UNIVERSIDAD: Carlos III de Madrid

CENTRO: Escuela Politécnica Superior - Campus Leganés

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 221 - 14198

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www3.uc3m.es/reina/Fichas/Idioma\\_1/221.14198.html](http://www3.uc3m.es/reina/Fichas/Idioma_1/221.14198.html)

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

1.- LEVAS, COJINETES Y MECANISMOS FUNDAMENTALES.

1.1.- MECANISMOS FUNDAMENTALES. RESISTENCIAS PASIVAS. COJINETES.

1.2.- MECANISMOS DE LEVAS.

2.- ENGRANAJES CILÍNDRICOS RECTOS.

2.1.- FUNDAMENTOS Y NOMENCLATURA DE ENGRANAJES.

2.2.- TALLA DE ENGRANAJES CILÍNDRICO RECTOS.

2.3.- MONTAJE DE ENGRANAJES CILÍNDRICO RECTOS.

3.- TRENES DE ENGRANAJES.

3.1.- TRENES DE ENGRANAJES ORDINARIOS Y EPICICLOIDALES SIMPLES.

3.2.- TRENES DE ENGRANAJES EPICICLOIDALES COMPLEJOS.

4.- ENGRANAJES CILÍNDRICO-HELICOIDALES, HIPERBÓLICOS Y CÓNICOS.

4.1.- ENGRANAJES CILÍNDRICO HELICOIDALES. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN ENGRANAJES.

4.2.- ENGRANAJES CÓNICOS. ENGRANAJES HIPERBÓLICOS.

## Fichas de guías docentes

---

5.- *CHOQUES Y PERCUSIONES EN PARES CINEMÁTICOS.*

5.1.- *CHOQUES Y PERCUSIONES EN PARES CINEMÁTICOS.*

6.- *REGULACIÓN DE MAQUINARIA: VOLANTES DE INERCIA. EQUILIBRADO.*

6.1.- *REGULACIÓN DE MAQUINARIA. VOLANTES. EQUILIBRADO.*

7.- *MECÁNICA ANALÍTICA APLICADA A MECANISMOS.*

7.1.- *MECANICA ANALÍTICA APLICADA A MECANISMOS.*

7.2.- *MECANICA ANALÍTICA APLICADA SISTEMAS MECÁNICOS.*

8.- *MECANISMOS ESPACIALES: GIRÓSCOPOS, JUNTAS CARDAN Y MÁQUINAS ROTATIVAS.*

8.1.- *MECANISMOS ESPACIALES.*

---

### **COMENTARIOS:**

En la titulación Ing. Téc. Ind, esp. Mecánica, presentan la asignatura "Teoría de Máquinas" [<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas>], que ofrece "Fundamentos de Síntesis de Mecanismos" y una práctica de Síntesis de Mecanismos

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 11**

UNIVERSIDAD: Castilla-La Mancha

CENTRO: Escuela de Ingenieros Industriales de Albacete

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 56323

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://edii.uclm.es/ediinet2/infTemarios.php>

ASIGNATURA: Ampliación de Teoría de Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,6** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 3

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE MECANISMOS DE MÁQUINAS. CONCEPTOS BÁSICOS.*

*TEMA 2. ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS PLANOS. MÉTODOS GRÁFICOS Y ANALÍTICOS.*

*TEMA 3. ANÁLISIS DINÁMICO DE MECANISMOS PLANOS. MÉTODOS GRÁFICOS Y ANALÍTICOS.*

*TEMA 4. EQUILIBRADO DE MASAS.*

*TEMA 5. DINÁMICA DE SISTEMAS CON UN GRADO DE LIBERTAD. CÁLCULO DE VOLANTES DE INERCIA.*

*TEMA 6. VIBRACIONES MECÁNICAS.*

*TEMA 7. CINEMÁTICA DEL ENGRANE. TIPOS DE ENGRANAJES. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.*

*TEMA 8. TRENES DE ENGRANAJES. ORDINARIOS Y EPICICLOIDALES.*

*TEMA 9. LEVAS.*

*TEMA 10. INTRODUCCIÓN A LA SÍNTESIS DE MECANISMOS PLANOS.*

---

**COMENTARIOS:**

---

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 12**

UNIVERSIDAD: Castilla-La Mancha

CENTRO: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Ciudad Real

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www3.uclm.es/etsii-cr/guia-docente>

ASIGNATURA: Ampliación de Teoría de Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NO DETERMINADO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NO DETERMINADO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### **CONTENIDO ABREVIADO:**

*NO DETERMINADO*

---

### **COMENTARIOS:**

No se ha podido encontrar ningún contenido asociado hasta la fecha en que se ha consultado la web de la universidad y/o del centro correspondiente.

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 13**

UNIVERSIDAD: Castilla-La Mancha

CENTRO: Escuela Universitaria Politécnica de Almadén

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/gradoMecanica/detalle.asp?asig=AmpliacionTeoria>

ASIGNATURA: Ampliación de Teoría de Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,75** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 3

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*DINÁMICA DE MÁQUINAS ALTERNATIVAS. VOLANTES. EQUILIBRADO DE MECANISMOS Y MOTORES ALTERNATIVOS. CINEMÁTICA DE ENGRANAJES. MECANISMOS DE LEVAS. ANÁLISIS DE MECANISMOS MEDIANTE MÉTODOS COMPUTACIONALES. VIBRACIONES. SÍNTESIS DE MECANISMOS.*

---

**COMENTARIOS:**

'Guía Docente no Publicada. Información extraída de la web del centro.

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 14**

UNIVERSIDAD: Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila

CENTRO: Facultad de CC y Artes

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 20205GT

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://online.ucavila.es/futuros-alumnos/guia-academica>

ASIGNATURA: Fundamentos de Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **1** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 1

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. SIN ESPECIFICAR CUAL**

---

### **CONTENIDO ABREVIADO:**

*ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE MECANISMOS. ASPECTOS CINEMÁTICOS Y DINÁMICOS DE LOS MISMOS. SIMULACIÓN DE MECANISMOS POR ORDENADOR.*

---

### **COMENTARIOS:**

Guía Docente no Publicada. Información extraída de la Guía de Estudios del grado.

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 15**

UNIVERSIDAD: Córdoba

CENTRO: Escuela Politécnica Superior de Córdoba

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 101246

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.uco.es/eguiado/guias/2011-12/101246\\_2011-12.pdf](http://www.uco.es/eguiado/guias/2011-12/101246_2011-12.pdf)

ASIGNATURA: Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. MATLAB Y SAM**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*INTRODUCCIÓN*

*CINEMÁTICA*

*GEOMETRÍA DE MASAS*

*ESTÁTICA*

*DINÁMICA*

*MECÁNICA ANALÍTICA*

*ANÁLISIS DE MECANISMOS*

*DINÁMICA DE MÁQUINAS*

---

**COMENTARIOS:**

En las prácticas utilizan las herramientas MATLAB y SAM



## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 16**

UNIVERSIDAD: Europea de Madrid

CENTRO: Escuela Politécnica

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 9975001209

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.uem.es/titulacion/grado-en-ingenieria-mecanica>

ASIGNATURA: Teoría de máquinas y mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS MECÁNICAS Y A LOS ELEMENTOS DE MÁQUINAS*

*1.1. ESQUEMA GENERAL DEL CONJUNTO MECÁNICO*

*1.2. ELEMENTOS DE MÁQUINAS: ELEMENTOS PORTANTES MÓVILES, ELEMENTOS TRANSMISORES, ACOPLAMIENTOS Y APOYOS.*

*TEMA 2. MOVIMIENTO PLANO Y MECANISMOS ARTICULADOS*

*2.1. MOVIMIENTO PLANO. PROPIEDADES. EJE Y CENTRO INSTANTÁNEO DE ROTACIÓN. PROPIEDADES DEL C.I.R.*

*2.2. CONDICIÓN DE DESMODROMÍA. CINEMÁTICA. ESTUDIO DE VELOCIDADES Y ACELERACIONES*

*2.3. MÉTODOS ANALÍTICOS Y GRÁFICOS. CINEMA DE VELOCIDADES Y DE ACELERACIONES*

*2.4. APLICACIONES: CUADRILÁTERO ARTICULADO. MECANISMO BIELA – MANIVELA. COLISA OSCILANTE*

*2.5. DINÁMICA: FUERZA Y MASA REDUCIDA. SISTEMA DE FUERZAS DE INERCIA. REACCIONES EN LAS ARTICULACIONES.*

*TEMA 3. ELEMENTOS TRANSMISORES RÍGIDOS: LEVAS Y ENGRANAJES*

*3.1. LEVAS Y EXCÉNTRICAS*

*3.2. RUEDAS DE FRICCIÓN*

3.3. ENGRANAJES. PERFIL DEL FLANCO DEL DIENTE. EVOLVENTE

3.4. ENGRANAJE CILÍNDRICO RECTO. GEOMETRÍA DE LA RUEDA DENTADA. PARÁMETROS DE IMPORTANCIA

3.5. LÍNEA DE PRESIÓN Y SEGMENTO DE ENGRANE. TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS Y REACCIONES EN LOS APOYOS

3.6. FABRICACIÓN DE RUEDAS DENTADAS. TALLA POR GENERACIÓN. NORMALIZACIÓN

3.7. ENGRANAJES MONTADOS A CERO Y CON DESPLAZAMIENTO. COEFICIENTE DE ENGRANE

3.8. ENGRANAJE CILÍNDRICO HELICOIDAL. GEOMETRÍA, TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS Y EQUIVALENCIA CON LAS RUEDAS CILÍNDRICO RECTAS

3.9. ENGRANAJES CÓNICOS. GEOMETRÍA Y EQUIVALENCIA CON LAS RUEDAS CILÍNDRICO RECTAS

3.10. TRENES DE ENGRANAJES: ORDINARIOS Y EPICICLOIDALES

3.11. APLICACIONES: CAJA DE CAMBIOS, MECANISMO DIFERENCIAL.

TEMA 4. INTRODUCCIÓN A LOS FRENOS Y EMBRAGUES

4.1. HIPÓTESIS DE DESGASTE. PAR TRANSMITIDO, ENERGÍA DISIPADA Y CONSIDERACIONES TÉRMICAS. REACCIONES

4.2. FRENOS AXIALES Y RADIALES. FRENOS DE BANDA

4.3. EMBRAGUES DE DISCO. EMBRAGUES CÓNICOS

TEMA 5. PAR HUSILLO – TUERCA. UNIONES ATORNILLADAS

5.1. INTRODUCCIÓN. GENERALIDADES. NORMALIZACIÓN

5.2. TRANSMISIÓN HUSILLO – TUERCA: RELACIÓN ENTRE PAR MOTOR Y FUERZA RESISTENTE. CONDICIÓN DE AUTORRETENCIÓN. RENDIMIENTO

5.3. UNIÓN ATORNILLADA: PRECARGA DE PERNOS Y PAR DE APRIETE. COMPORTAMIENTO FRENTE A CARGAS ESTÁTICAS Y FRENTE A LA FATIGA

TEMA 6. RESORTES

6.1. INTRODUCCIÓN. RESORTES HELICOIDALES

6.2. RESORTES DE TRACCIÓN

6.3. RESORTES DE TORSIÓN

6.4. RESORTES BELLEVILLE

TEMA 7. INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

7.1. VIBRACIONES LIBRES NO AMORTIGUADAS

7.2. VIBRACIONES LIBRES AMORTIGUADAS

7.3. VIBRACIONES FORZADAS

**COMENTARIOS:---**

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 17**

UNIVERSIDAD: Extremadura

CENTRO: Escuela de Ingenierías Industriales

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 103982

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://158.49.55.41/programas/2011/pa\\_341.pdf](http://158.49.55.41/programas/2011/pa_341.pdf)

ASIGNATURA: Mecanismos y Máquinas

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS, DINÁMICA DE MÁQUINAS,  
VIBRACIONES MECÁNICAS, EQUILIBRADO DE ROTORES Y MOTORES Y  
DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS*

---

### COMENTARIOS:

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 18**

UNIVERSIDAD: Girona

CENTRO: Escola Politècnica Superior

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 3105G04029/2011

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.udg.edu/tabid/16009/default.aspx?ap=25&ID=3105G0409&language=ca-ES>

ASIGNATURA: Cálculo de Mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*ENGRANAJES Y TRENES DE ENGRANAJES.*

*MODELIZACIÓN DE SISTEMAS DINÁMICOS.*

*DINÁMICA DE MÁQUINAS ROTATIVAS.*

*VIBRACIONES Y RUIDO.*

*VIBRACIÓN LIBRE.*

---

**COMENTARIOS:**

En plan viejo se ofertaba la asignatura Diseño de Mecanismos de 6Cr. Que si incluía Síntesis de Mecanismos

[<http://www.udg.edu/Guiadematrícula/Dissenyassignatura/tabid/15700/Default.aspx?curs=2010&codia=3105ME0019#assigreco>]

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 19**

UNIVERSIDAD: Huelva

CENTRO: Escuela Técnica Superior de Ingeniería

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 606410206

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.uhu.es/eps/subirguiasg1112/asig\\_g1112.php?tit=6](http://www.uhu.es/eps/subirguiasg1112/asig_g1112.php?tit=6)

ASIGNATURA: Fundamentos de Teoría de Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NO DETERMINADO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NO DETERMINADO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*NO DETERMINADO*

---

### COMENTARIOS:

No se ha podido encontrar ningún contenido asociado hasta la fecha en que se ha consultado la web de la universidad y/o del centro correspondiente.

Ofrecen una optativa de 6 créditos llamada "Ampliación de Teoría de Máquinas", 7º cuatrimestre

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 20**

UNIVERSIDAD: Jaén

CENTRO: Escuela Politécnica de Jaén

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://eps.ujaen.es/detalleAsignatura.php?ca=13412003&ctit=134A&tex=gim>

ASIGNATURA: Cinemática y Dinámica de Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 9 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NO DETERMINADO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NO DETERMINADO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*CINEMÁTICA DE LA PARTÍCULA Y CINEMÁTICA DE SÓLIDO.*

*TEORÍA DE MECANISMOS*

*CINÉTICA DE LA PARTÍCULA, DEL SÓLIDO Y DE MECANISMOS PLANOS.*

*FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE VIBRACIONES*

*FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE ENGRANAJES Y LEVAS.*

---

**COMENTARIOS:**

Guía docente no publicada a 20/sep/2011. Contenidos extraídos de Memoria del grado ya verificada por ANECA

[[http://viceees.ujaen.es/files\\_viceees/Grado\\_Ing\\_Mecanica\\_verificada.pdf](http://viceees.ujaen.es/files_viceees/Grado_Ing_Mecanica_verificada.pdf)]. En la memoria consta una asignatura optativa de 6 créditos "Ampliación de cinemática y dinámica". Las equivalentes de ambas en plan 1995 adaptado en 2000

[[http://eps.ujaen.es/gestion/guias/7706-5443\\_CINEMATICA\\_Y\\_DINAMICA\\_DE\\_MAQUINAS-2010-2011.pdf](http://eps.ujaen.es/gestion/guias/7706-5443_CINEMATICA_Y_DINAMICA_DE_MAQUINAS-2010-2011.pdf)] y

## Fichas de guías docentes

---

[[http://www.ujaen.es/centros/epsl/programas/curso1011/pdf/5500/Programa\\_5500\\_5456.pdf](http://www.ujaen.es/centros/epsl/programas/curso1011/pdf/5500/Programa_5500_5456.pdf)] sí contienen Síntesis de Mecanismos]

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 21**

UNIVERSIDAD: Jaén

CENTRO: Escuela Politécnica Superior de Linares

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.ujaen.es/centros/eps/programas/curso1011/146A.htm>

ASIGNATURA: Cinemática y Dinámica de Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 9 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NO DETERMINADO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NO DETERMINADO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*CINEMÁTICA DE LA PARTÍCULA Y CINEMÁTICA DE SÓLIDO.*

*TEORÍA DE MECANISMOS*

*CINÉTICA DE LA PARTÍCULA, DEL SÓLIDO Y DE MECANISMOS PLANOS.*

*FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE VIBRACIONES*

*FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE ENGRANAJES Y LEVAS.*

---

**COMENTARIOS:**

Guía docente no publicada a 20/sep/2011. Contenidos extraídos de Memoria del grado ya verificada por ANECA

[[http://viceees.ujaen.es/files\\_viceees/Grado\\_Ing\\_Mecanica\\_verificada.pdf](http://viceees.ujaen.es/files_viceees/Grado_Ing_Mecanica_verificada.pdf)]. En la memoria consta una asignatura optativa de 6 créditos "Ampliación de cinemática y dinámica". Las equivalentes de ambas en plan 1995 adaptado en 2000

[[http://eps.ujaen.es/gestion/guias/7706-5443\\_CINEMATICA\\_Y\\_DINAMICA\\_DE\\_MAQUINAS-2010-2011.pdf](http://eps.ujaen.es/gestion/guias/7706-5443_CINEMATICA_Y_DINAMICA_DE_MAQUINAS-2010-2011.pdf)] y



## Fichas de guías docentes

---

[[http://www.ujaen.es/centros/epsl/programas/curso1011/pdf/5500/Programa\\_5500\\_5456.pdf](http://www.ujaen.es/centros/epsl/programas/curso1011/pdf/5500/Programa_5500_5456.pdf)] sí contienen Síntesis de Mecanismos]

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 22**

UNIVERSIDAD: Jaume I de Castellón

CENTRO: Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: EM1020

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://e-ujer.uji.es/pls/www/!gri\\_ass.lleu\\_asignatura\\_g?p\\_titulacion=222&p\\_asignatura=EM1020](http://e-ujer.uji.es/pls/www/!gri_ass.lleu_asignatura_g?p_titulacion=222&p_asignatura=EM1020)

ASIGNATURA: Teoría de máquinas y mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. WORKING MODEL 2D**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

- ESTRUCTURA DE LAS MÁQUINAS Y MECANISMOS.
- COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LA MÁQUINA.
- ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO DE MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE LAS MÁQUINAS:
- TRANSMISIÓN FLEXIBLE: CORREA-CADENA, TRANSMISIÓN POR CABLE, POLEAS, POLIPASTOS.
- TRANSMISIÓN POR RUEDA DE FRICCIÓN.
- ENGRANAJES.
- TRANSMISIÓN POR HUSILLO-TUERCA.
- LEVAS.
- MECANISMOS ARTICULADOS.

---

**COMENTARIOS:**

Utilizan el programa Working Model 2D para las prácticas de análisis de mecanismos

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 23**

UNIVERSIDAD: La Laguna

CENTRO: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 339402202

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.ull.es/view/centros/etsici/Guias\\_Docentes\\_2/es](http://www.ull.es/view/centros/etsici/Guias_Docentes_2/es)

ASIGNATURA: Mecánica de Máquinas

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. WORKING MODEL 2D**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*BLOQUE I: MOVIMIENTO EN 3D*

*TEMA 1 CINEMÁTICA Y DINÁMICA TRIDIMENSIONALES DE CUERPOS RÍGIDOS.*

*CINEMÁTICA. ECUACIONES DE VELOCIDAD Y ACELERACIÓN.*

*DINÁMICA. MOMENTO ANGULAR. ROTACIÓN RESPECTO A UN PUNTO FIJO. MOVIMIENTO GENERAL. MOMENTOS Y PRODUCTOS DE INERCIA.*

*ECUACIONES DE EULER. ÁNGULOS DE EULER. PRECESIÓN.*

*BLOQUE I: ANÁLISIS DE MECANISMOS*

*TEMA 2. MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE PAR Y FUERZA.*

*MASA E INERCIA EQUIVALENTES DE UN SISTEMA. LA CUÑA (DESLIZAMIENTO). EL TORNILLO DE ELEVACIÓN DE CARGAS.*

*TEMA 3. MECANISMOS DE LEVAS.*

*INTRODUCCIÓN. CLASIFICACIÓN DE LEVAS.*

*CURVAS DE DESPLAZAMIENTO. LIMITACIONES AL DISEÑO.*

*TEMA 4. SISTEMAS DE ENGRANAJES*

*REPASO DE CONCEPTOS BÁSICOS DE ENGRANAJES.*

*REDUCTORES PLANETARIOS. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CÁLCULO DE VELOCIDADES. DIFERENCIAL*

*SISTEMAS REVERSIBLES E IRREVERSIBLES. ENERGÍA CINÉTICA EN LOS SISTEMAS INDUCIDO-CAJA REDUCTORA.  
REDUCCIÓN DE LA ENERGÍA CINÉTICA TOTAL AL EJE DEL MOTOR.*

*TEMA 5. ANÁLISIS DE OTROS MECANISMOS.*

*DISTINTOS TIPOS DE JUNTAS. JUNTAS CARDÁNICAS.*

*ANÁLISIS DEL REGULADOR DE WATT.*

*MECANISMOS CON UNA TRAYECTORIA PREDEFINIDA. BRAZO DE ROBOT. BIELA-MANIVELA.*

*TEMA 6. IMPACTO Y FRENADO.*

*FUERZAS DEBIDAS A LA DETENCIÓN SÚBITA DE SISTEMAS EN MOVIMIENTO.*

*DISTINTOS TIPOS DE FRENO. ANÁLISIS DE FUERZAS DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA DURANTE EL FRENADO.*

*TEMA 7. INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES.*

*ANÁLISIS DE SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD: VIBRACIÓN LIBRE, AMORTIGUADA Y EXCITADA  
ARMÓNICAMENTE.*

*CONCEPTOS: AMPLITUD, FRECUENCIA, PERIODO, AMORTIGUAMIENTO Y RESONANCIA.*

*INTRODUCCIÓN A SISTEMAS EN DOS GRADOS DE LIBERTAD.*

*INTRODUCCIÓN A SISTEMAS DE N GRADOS DE LIBERTAD. MÉTODO HOLZER.*

---

**COMENTARIOS:**

Las prácticas incorporan el uso del programa WorkingModel 2D

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 24**

UNIVERSIDAD: La Rioja

CENTRO: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 803205085

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.unirioja.es/estudios/grados/pdf\\_2011\\_2012/493.pdf](http://www.unirioja.es/estudios/grados/pdf_2011_2012/493.pdf)

ASIGNATURA: Teoría de Mecanismos

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NO DETERMINADO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NO DETERMINADO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

1.- INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE MECANISMOS.

2.- POSICIÓN, VELOCIDAD Y ACELERACIÓN.

3.- LEVAS Y ENGRANAJES.

4.- FUERZAS EN MÁQUINAS.

5.- MÁQUINAS CÍCLICAS.

---

### COMENTARIOS:

El temario no contiene síntesis explícitamente pero si que consta en el apartado "Resultados del aprendizaje"

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 25**

UNIVERSIDAD: León

CENTRO: Escuela de Ingenierías Industrial e Informática

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www3.unileon.es/ce/eii/PDFs/GRADO\\_Mec%C3%A1nica.pdf](http://www3.unileon.es/ce/eii/PDFs/GRADO_Mec%C3%A1nica.pdf)

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 6

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,4** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 3

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*I. CONCEPTOS BÁSICOS DE MÁQUINAS Y MECANISMOS. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y*

*FABRICACIÓN. MECANISMOS ELEMENTALES. DETERMINACIÓN DE CARGAS. ESFUERZO Y DEFORMACIÓN.*

*ROZAMIENTO Y DESGASTE.*

*II. COJINETES Y LUBRICACIÓN. COJINETES. RODAMIENTOS. LUBRICACIÓN.*

*III. CINEMÁTICA Y DINÁMICA DE MECANISMOS. ESTUDIO CINEMÁTICO. ESTUDIO DINÁMICO.*

*VOLANTES DE INERCIA. SÍNTESIS DE MECANISMOS. MECANISMOS ESPACIALES.*

*IV. TRANSMISIONES MECÁNICAS. LEVAS. ENGRANAJES. TRENES ORDINARIOS. TRENES EPICICLOIDALES.*

---

**COMENTARIOS:**

INFORMACIÓN EXTRAIDA DE LA MEMORIA DE GRADO

[[http://www3.unileon.es/ce/eii/PDFs/GRADO\\_Mec%C3%A1nica.pdf](http://www3.unileon.es/ce/eii/PDFs/GRADO_Mec%C3%A1nica.pdf)]

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 26**

UNIVERSIDAD: Lleida

CENTRO: Escola Politècnica Superior

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 102110

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.graumecanica.udl.cat/pla.html>

ASIGNATURA: Teoría de Mecanismos

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,75** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 2

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

1. *INTRODUCCIÓN A LOS MECANISMOS*
2. *MOBILIDAD DE LOS MECANISMOS*
3. *CINEMÁTICA DE MECANISMOS*
4. *SÍNTESIS GRÁFICA DE MECANISMOS*
5. *TEOREMAS VECTORIALES EN DINÁMICA DE MECANISMOS*
6. *MÉTODOS ENERGÉTICOS EN DINÁMICA DE MECANISMOS*
7. *LEVAS*
8. *ENGRANAGES*

---

### COMENTARIOS:

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 27**

UNIVERSIDAD: Málaga

CENTRO: Escuela Universitaria Politécnica

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 212

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://hs.sci.uma.es:8070/pls/apex/f?p=101:3:2473711678946860::NO::P3\\_ID:AAAwYMAAOAAAARvAAT](http://hs.sci.uma.es:8070/pls/apex/f?p=101:3:2473711678946860::NO::P3_ID:AAAwYMAAOAAAARvAAT)

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,67** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 3

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. WINMECC 4.5**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*BLOQUE TEMÁTICO: ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO DE MECANISMOS*

*TEMA 1: INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE MECANISMOS*

*CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES. DIAGRAMAS CINEMÁTICOS. TIPOS DE MECANISMOS Y APLICACIONES.*

*TEMA 2: ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS PLANOS*

*POSICIÓN Y DESPLAZAMIENTO. CÁLCULO DE VELOCIDADES Y ACELERACIONES, MÉTODO BASADO EN LA VELOCIDAD RELATIVA. DEFINICIÓN DE CENTRO*

*INSTANTANEO DE ROTACIÓN, APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDADES EN MECANISMOS. CÁLCULO DE VELOCIDADES Y ACELERACIONES CON*

*MÉTODOS ANALÍTICOS.*

*TEMA 3: ANÁLISIS DINÁMICO DE MECANISMOS*

*ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO DE MECANISMOS CON MÉTODOS GRÁFICOS Y ANALÍTICOS.*

*BLOQUE TEMÁTICO: ANÁLISIS DE MÁQUINAS*

*TEMA 4: DINÁMICA DE MÁQUINAS.*

*EQUILIBRADO DE ROTORES. EQUILIBRADO DE MOTORES MONOCILÍNDRICOS Y MULTICILÍNDRICOS. CONCEPTO DE VOLANTE DE INERCIA. FUNCIONES Y DISEÑO*



## Fichas de guías docentes

---

*DE UN VOLANTE DE INERCIA EN FUNCION DE LA ENERGÍA ALMACENADA Y EL GRADO DE IRREGULARIDAD.*

*TEMA 5: VIBRACIONES.*

*INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES BÁSICAS. CONCEPTO DE VIBRACIÓN. SISTEMA DISCRETO BÁSICO DE UN GRADO DE LIBERTAD. VIBRACIONES LIBRES SIN*

*AMORTIGUAMIENTO Y AMORTIGUADAS. VIBRACIONES FORZADAS ANTE EXCITACIONES ARMÓNICAS, ESCALÓN, IMPULSO Y RAMPA.*

*BLOQUE TEMATICO: ANÁLISIS MECANISMO POR CONTACTO DIRECTO*

*TEMA 6: ENGRANAJES*

*TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO POR CONTACTO. RUEDAS DE FRICCIÓN. CINEMÁTICA DEL ENGRANAJE. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS FUNDAMENTALES*

*DE LOS ENGRANAJES. ENGRANAJES CILÍNDRICOS RECTOS Y HELICOIDALES. TORNILLOS SIN FIN. ENGRANAJES CÓNICOS RECTOS Y ESPIRALES. ENGRANAJES*

*HIPOIDES.*

*TEMA 7: TRENES DE ENGRANAJES*

*TRENES DE ENGRANAJES. CLASIFICACIÓN: ORDINARIOS Y EPICICLOIDALES. APLICACIONES: CAJA DE CAMBIOS Y DIFERENCIAL.*

*TEMA 8: LEVAS.*

*TIPOS DE LEVAS Y MOVIMIENTOS. DINÁMICA DE LEVAS.*

*BLOQUE TEMATICO: SÍNTESIS DE MECANISMOS*

*TEMA 9: INTRODUCCION A LA SINTESIS DE MECANISMOS*

*INTRODUCCIÓN. SÍNTESIS DE GENERACIÓN DE FUNCIONES Y DE TRAYECTORIA. MÉTODO BASADO EN ALGORITMOS GENÉTICOS.*

---

### **COMENTARIOS:**

Parte de las prácticas se realizan en el aula informática

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 28**

UNIVERSIDAD: Miguel Hernández de Elche

CENTRO: Escuela Politécnica Superior de Elche

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 1808

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.umh.es/frame.asp?url=/titulaciones/>

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,6** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 1

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. WINMECC 4.5**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*1. CINEMÁTICA Y DINÁMICA DEL SÓLIDO RÍGIDO ( 3 S/9 HORAS)*

*DESCRIPCIÓN:*

*1.1. CINEMÁTICA DEL SÓLIDO RÍGIDO ( 1S/3H.)*

*1.2. DINÁMICA DEL SÓLIDO RÍGIDO (2S/6H.)*

*2. CINEMÁTICA Y DINÁMICA DE MÁQUINAS ( 6S/18 HORAS)*

*2.1. NOMENCLATURA. ANÁLISIS TOPOLÓGICO DE MECANISMOS (2H)*

*2.2. SÍNTESIS DE MECANISMOS (5H)*

*2.3. CINEMÁTICA DE MECANISMOS PLANOS (4H)*

*2.4. DINÁMICA DE MECANISMOS PLANOS (4H)*

*2.5. REDUCCIÓN DINÁMICA DE UN MECANISMO. MÁQUINAS CÍCLICAS (3H)*

*3. ELEMENTOS DE MÁQUINAS ( 6S/ 18 HORAS)*

*3.1. ENGRANAJES DE DIENTES RECTOS (4H)*

*3.2. ENGRANAJES HELICOIDALES, CÓNICOS, SINFIN-CORONA (4H)*

## Fichas de guías docentes

---

3.3. *TRENES DE ENGRANAJES (4H)*

3.4. *LEVAS (2H)*

3.5. *COJINETES (INT. LUBRICACIÓN). RODAMIENTOS (2H)*

3.6. *CORREAS Y CADENAS (2H)*

---

### **COMENTARIOS:**

Se utiliza el software WINMECC 4.5

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 29**

UNIVERSIDAD: Mondragón Unibersitatea

CENTRO: Escuela Politécnica Superior de Mondragón

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.mondragon.edu/es/estudios/grados/grado-en-ingenieria-mecanica/>

ASIGNATURA: Teoría de Mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. SIN ESPECIFICAR CUAL**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

1. *CINEMÁTICA DE MECANISMOS*
2. *CINÉTICA DE MECANISMOS*
3. *VIBRACIONES MECÁNICAS*
4. *SIMULACIÓN DE MECANISMOS*

---

**COMENTARIOS:**

Se realiza simulación de mecanismos. No se especifica la herramienta utilizada.

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 30**

UNIVERSIDAD: Nacional de Educación a Distancia(UNED)

CENTRO: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 68903110

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL:

[http://portal.uned.es/portal/page?\\_pageid=93,24416894&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL&idGrado=6803](http://portal.uned.es/portal/page?_pageid=93,24416894&_dad=portal&_schema=PORTAL&idGrado=6803)

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 5 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,42** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 1

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. SIN ESPECIFICAR CUAL**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*TEMA 1. INTRODUCCIÓN.*

*TEMA 2. FUNDAMENTOS DE CINEMÁTICA.*

*TEMA 3. SÍNTESIS GRÁFICA DE ESLABONES.*

*TEMA 4. ANÁLISIS DE POSICIÓN.*

*TEMA 5. SÍNTESIS ANALÍTICA DE MECANISMOS.*

*TEMA 6. ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD.*

*TEMA 7. ANÁLISIS DE LA ACELERACIÓN.*

*TEMA 8. DISEÑO DE LEVAS.*

*TEMA 9. TRENES DE ENGRANAJES.*

*TEMA 10. FUNDAMENTOS DE DINÁMICA.*

*TEMA 11. ANÁLISIS DE FUERZAS DINÁMICAS.*

*TEMA 12. EQUILIBRADO.*

**COMENTARIOS:** Se utilizan programas de cálculo y simulación. No se da ningún nombre.

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 31**

UNIVERSIDAD: Navarra

CENTRO: Escuela Superior de Ingenieros - Tecnun (San Sebastián)

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.tecnun.es/grado-en-ingenieria-mecanica/plan-de-estudios/guias-docentes-asignaturas.html>

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas

CUADRIMESTRE: 6

CRÉDITOS: 4,5 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. MATLAB**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*\* ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS MECANISMO Y DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE GRADOS DE LIBERTAD MEDIANTE EL CRITERIO DE GRÜBLER.*

*\* CONCEPTOS Y APLICACIÓN DE LA CINEMÁTICA Y DINÁMICA DE MÁQUINAS MEDIANTE MÉTODOS CLÁSICOS Y MEDIANTE MÉTODOS NUMÉRICOS (MATLAB).*

*\* ANÁLISIS CINEMÁTICO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS: LEVAS Y ENGRANAJES*

*\* NOCIONES DE EQUILIBRADO DE ROTORES*

*\* DINÁMICA Y VIBRACIONES DE SISTEMAS DE UNO Y MÚLTIPLES GRADOS DE LIBERTAD.*

---

**COMENTARIOS:**

Se usa MatLab en algunas prácticas

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 32**

UNIVERSIDAD: Oviedo

CENTRO: Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: GIMECA01-2-002

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://sies.uniovi.es/ofe-pod-jsf/web/asignatura/infoAsignatura.faces>

ASIGNATURA: Teoría de máquinas y mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NO DETERMINADO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NO DETERMINADO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. SIN ESPECIFICAR CUAL**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

#### *BLOQUE I. INTRODUCCIÓN*

- *TEMA 1. PRESENTACIÓN DE LA ASIGNATURA.*
- *TEMA 2. MECANISMOS Y MÁQUINAS. CONCEPTOS BÁSICOS Y ESQUEMATIZACIÓN.*
- *TEMA 3. MECANISMOS ARTICULADOS PLANOS.*

#### *BLOQUE II. ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS PLANOS*

- *TEMA 4. VELOCIDADES Y ACELERACIONES RELATIVAS (1). APLICACIÓN A PUNTOS DEL MISMO ESLABÓN.*
- *TEMA 5. VELOCIDADES Y ACELERACIONES RELATIVAS (2). APLICACIÓN A PUNTOS COINCIDENTES DE ESLABONES DISTINTOS.*
- *TEMA 6. CENTROS INSTANTÁNEOS DE VELOCIDAD.*

#### *BLOQUE III. TRANSMISIONES RÍGIDAS DE MOVIMIENTO*

- *TEMA 7. INTRODUCCIÓN A LAS TRANSMISIONES RÍGIDAS DE MOVIMIENTO.*
- *TEMA 8. MECANISMOS DE LEVA-SEGUIDOR.*
- *TEMA 9. ENGRANAJES CILÍNDRICOS DE DENTADO RECTO.*

- *TEMA 10. ENGRANAJES CILÍNDRICOS HELICOIDALES, CÓNICOS Y SINFIN-CORONA.*
- *TEMA 11. TRENES DE ENGRANAJES.*
- *TEMA 12. TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS EN ENGRANAJES.*

### *BLOQUE IV. ANÁLISIS DINÁMICO DE MECANISMOS PLANOS*

- *TEMA 13. FUNDAMENTOS DE DINÁMICA.*
- *TEMA 14. ANÁLISIS ESTÁTICO.*
- *TEMA 15. MÉTODOS DE ANÁLISIS DINÁMICO.*
- *TEMA 16. ROZAMIENTO EN MÁQUINAS.*

---

### **COMENTARIOS:**

Se realiza una práctica de análisis cinemático por ordenador.

Aunque en el contenido de la guía docente no aparece ningún apartado de síntesis de mecanismos, sí que se contextualiza la asignatura con un párrafo como sigue: El programa de la asignatura se articula, por tanto, sobre los conceptos y fundamentos del análisis y síntesis de mecanismos. En particular se pretende que el alumno domine los conceptos y fundamentos del análisis cinemático y dinámico de mecanismos planos, que conozca los principios de la síntesis de mecanismos, que conozca las principales transmisiones rígidas de movimiento, comprendiendo su funcionamiento cinemático y diseño, y que maneje herramientas informáticas específicas de análisis, diseño y simulación de mecanismos.



## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 33**

UNIVERSIDAD: País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

CENTRO: Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 26046

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.ehu.es/p200-](http://www.ehu.es/p200-content/es/pls/entrada/plew0040.htm_asignatura_next?p_sesion=&p_cod_idioma=CAS&p_en_portal=S&p_cod_centro=163&p_cod_plan=GMECAN10&p_anyoAcad=act&p_menu=guia&p_cod_asig=26046&p_ciclo=X&p_curs=3&p_dpto=&p_vengo_de=asig_cursos&p_centro=)

[content/es/pls/entrada/plew0040.htm\\_asignatura\\_next?p\\_sesion=&p\\_cod\\_idioma=CAS&p\\_en\\_portal=S&p\\_cod\\_centro=163&p\\_cod\\_plan=GMECAN10&p\\_anyoAcad=act&p\\_menu=guia&p\\_cod\\_asig=26046&p\\_ciclo=X&p\\_curs=3&p\\_dpto=&p\\_vengo\\_de=asig\\_cursos&p\\_centro=](http://www.ehu.es/p200-content/es/pls/entrada/plew0040.htm_asignatura_next?p_sesion=&p_cod_idioma=CAS&p_en_portal=S&p_cod_centro=163&p_cod_plan=GMECAN10&p_anyoAcad=act&p_menu=guia&p_cod_asig=26046&p_ciclo=X&p_curs=3&p_dpto=&p_vengo_de=asig_cursos&p_centro=)

ASIGNATURA: Cinemática y Dinámica de Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 9 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*CINEMÁTICA INTRODUCCIÓN. DEFINICIONES. CENTROS INSTANTÁNEOS DE ROTACIÓN. ANÁLISIS DE VELOCIDADES. ANÁLISIS DE ACELERACIONES. DINÁMICA ANÁLISIS DE FUERZAS EN MECANISMOS: FUERZA EQUILIBRANTE Y TRABAJOS VIRTUALES. FUERZAS DE INERCIA. EQUILIBRADO. ELEMENTOS DE MÁQUINAS ENGRANAJES. VOLANTES DE INERCIA. VIBRACIONES MECÁNICAS INTRODUCCIÓN. VIBRACIONES EN SISTEMAS CON 1 GDL. VIBRACIONES EN SISTEMAS CON 2GDL Y GENERALIZACIÓN A  $n$  GDL. ANÁLISIS MODAL. CONTROL DE VIBRACIONES. INTRODUCCIÓN A LA MEDIDA EXPERIMENTAL.*

---

### COMENTARIOS:

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 34**

UNIVERSIDAD: País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

CENTRO: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 26620

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.ehu.es/p200-](http://www.ehu.es/p200-content/es/pls/entrada/plew0040.htm_asignatura_next?p_sesion=&p_cod_idioma=CAS&p_en_portal=S&p_cod_centro=363&p_cod_plan=GMECAN30&p_anyoAcad=act&p_menu=principal&p_cod_asig=26620&p_ciclo=X&p_curso=3&p_vengo_de=asig_cursos)

[content/es/pls/entrada/plew0040.htm\\_asignatura\\_next?p\\_sesion=&p\\_cod\\_idioma=CAS&p\\_en\\_portal=S&p\\_cod\\_centro=363&p\\_cod\\_plan=GMECAN30&p\\_anyoAcad=act&p\\_menu=principal&p\\_cod\\_asig=26620&p\\_ciclo=X&p\\_curso=3&p\\_vengo\\_de=asig\\_cursos](http://www.ehu.es/p200-content/es/pls/entrada/plew0040.htm_asignatura_next?p_sesion=&p_cod_idioma=CAS&p_en_portal=S&p_cod_centro=363&p_cod_plan=GMECAN30&p_anyoAcad=act&p_menu=principal&p_cod_asig=26620&p_ciclo=X&p_curso=3&p_vengo_de=asig_cursos)

ASIGNATURA: Cinemática y Dinámica de Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 9 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **1,28** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 2

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

#### **CONTENIDO ABREVIADO:**

*NOCIONES BÁSICAS SOBRE MECANISMOS Y SU DISEÑO, CONCEPTOS BÁSICOS, TIPOS DE MECANISMOS, DISEÑO DE MECANISMOS, TIPOS DE ELEMENTOS Y PARES, MECANISMOS E INVERSIONES. GEOMETRÍA DEL MOVIMIENTO PLANO: ESTUDIO DEL MOVIMIENTO CONTINUO DE UNA FIGURA PLANA EN SU PLANO, TEOREMAS, CAMPO DE VELOCIDADES, CAMPO DE ACELERACIONES, FORMULA DE EULER SAVARY, TEOREMA DE BOBILLIER. ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS PLANO, MÉTODOS DE RESOLUCIÓN DE MECANISMOS PLANOS, ROTABILIDAD, ÁNGULO DE TRANSMISIÓN, MÉTODOS GRÁFICOS Y ANALÍTICOS PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDADES Y ACELERACIONES. SÍNTESIS DIMENSIONAL DE MECANISMOS PLANOS, TIPOS DE SÍNTESIS, APLICACIONES PRÁCTICAS. CINEMÁTICA DE MECANISMOS ESPACIALES: POSICIÓN, ORIENTACIÓN, MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN. DINÁMICA DE MECANISMOS: INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA DE MECANISMOS, RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DINÁMICO INVERSO, RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DINÁMICO DIRECTO, VOLANTES DE INERCIA, EQUILIBRADO DINÁMICO. TEORÍA DE VIBRACIONES INTRODUCCIÓN, MODELIZACIÓN DE SISTEMAS MECÁNICOS, SISTEMAS CON UN GRADO DE LIBERTAD, SISTEMAS CON VARIOS GRADOS DE LIBERTAD, INTRODUCCIÓN A LA MEDIDA EXPERIMENTAL DE VIBRACIONES*

---

#### **COMENTARIOS:**

No consta el uso de ninguna herramienta informática

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 35**

UNIVERSIDAD: País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

CENTRO: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Éibar

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 26620

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.ehu.es/p200-](http://www.ehu.es/p200-content/es/pls/entrada/plew0040.htm_asignatura_next?p_sesion=&p_cod_idioma=CAS&p_en_portal=S&p_cod_centro=264&p_cod_plan=GMECAN40&p_anyoAcad=act&p_menu=principal&p_cod_asig=26620&p_ciclo=X&p_curso=3&p_vengo_de=asig_cursos)

[content/es/pls/entrada/plew0040.htm\\_asignatura\\_next?p\\_sesion=&p\\_cod\\_idioma=CAS&p\\_en\\_portal=S&p\\_cod\\_centro=264&p\\_cod\\_plan=GMECAN40&p\\_anyoAcad=act&p\\_menu=principal&p\\_cod\\_asig=26620&p\\_ciclo=X&p\\_curso=3&p\\_vengo\\_de=asig\\_cursos](http://www.ehu.es/p200-content/es/pls/entrada/plew0040.htm_asignatura_next?p_sesion=&p_cod_idioma=CAS&p_en_portal=S&p_cod_centro=264&p_cod_plan=GMECAN40&p_anyoAcad=act&p_menu=principal&p_cod_asig=26620&p_ciclo=X&p_curso=3&p_vengo_de=asig_cursos)

ASIGNATURA: Cinemática y Dinámica de Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 9 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*INTRODUCCION COMPRESIÓN DE LOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES EMPLEADOS EN LA ASIGNATURA. ANALISIS CINEMATICO DE MECANISMOS PROFUNDIZACION DEL ANALISIS DEL CALCULO DE VELOCIDADES Y ACELERACIONES, APLICADOS FUNDAMENTALMENTE EN MECANISMOS CON MOVIMIENTO PLANO ANALISIS DINAMICO DE MECANISMOS PROFUNDIZACION DEL ANALISIS DEL CALCULO DE LAS FUERZAS Y PARES RESULTANTES EN LOS DISTINTOS ESLABONES DE LOS MECANISMOS, APLICADOS FUNDAMENTALMENTE EN MECANISMOS CON MOVIMIENTO PLANO EQUILIBRADO DE MECANISMOS. ANALISIS DE LOS DESEQUILIBRIOS PRODUCIDOS EN LOS MECANISMOS, Y LA SOLUCION A ELLOS. VOLANTES DE INERCIA ANALISIS Y CALCULO DE VOLANTES DE INERCIA EN MECANISMOS. VIBRACIONES ANALISIS Y CALCULO DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS EN MECANISMOS. ENGRANAJES CONOCIMIENTO DE LOS PARAMETROS FUNDAMENTALES QUE INTERVIENEN EN LOS ENGRANAJES; ANALISIS Y CALCULO DE LOS MISMOS.*

---

### COMENTARIOS:

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 36**

UNIVERSIDAD: País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

CENTRO: Escuela Universitaria Politécnica de Donostia-San Sebastián

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 26046

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.ehu.es/p200-](http://www.ehu.es/p200-content/es/pls/entrada/plew0040.htm_asignatura_next?p_sesion=&p_cod_idioma=CAS&p_en_portal=5&p_cod_centro=263&p_cod_plan=GMECAN20&p_anyoAcad=act&p_menu=principal&p_cod_asig=26046&p_ciclo=X&p_curso=3&p_vengo_de=asig_cursos)

[content/es/pls/entrada/plew0040.htm\\_asignatura\\_next?p\\_sesion=&p\\_cod\\_idioma=CAS&p\\_en\\_portal=5&p\\_cod\\_centro=263&p\\_cod\\_plan=GMECAN20&p\\_anyoAcad=act&p\\_menu=principal&p\\_cod\\_asig=26046&p\\_ciclo=X&p\\_curso=3&p\\_vengo\\_de=asig\\_cursos](http://www.ehu.es/p200-content/es/pls/entrada/plew0040.htm_asignatura_next?p_sesion=&p_cod_idioma=CAS&p_en_portal=5&p_cod_centro=263&p_cod_plan=GMECAN20&p_anyoAcad=act&p_menu=principal&p_cod_asig=26046&p_ciclo=X&p_curso=3&p_vengo_de=asig_cursos)

ASIGNATURA: Cinemática y Dinámica de Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 9 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. SIN ESPECIFICAR CUAL**

---

#### **CONTENIDO ABREVIADO:**

*TEMA 1: INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE VIBRACIONES. CONCEPTOS GENERALES, MAGNITUDES Y UNIDADES. CLASIFICACIÓN, PARÁMETROS Y SISTEMAS VIBRATORIOS. GRADOS DE LIBERTAD. TEMA 2: SISTEMAS VIBRATORIOS DE UN GRADO DE LIBERTAD. INTRODUCCIÓN A LA MEDIDA EXPERIMENTAL DE VIBRACIONES. VIBRACIONES LIBRES, LIBRES AMORTIGUADAS, FORZADAS Y FORZADAS AMORTIGUADAS. TEMA 3: ANÁLISIS Y SÍNTESIS ESTRUCTURAL. INTRODUCCIÓN. MOVIMIENTOS EN LOS MECANISMOS. GRADOS DE LIBERTAD. ANÁLISIS Y SÍNTESIS. TEMA 4: MECANISMOS PLANOS Y ESPACIALES. ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS, POR MÉTODOS GRÁFICOS Y ANALÍTICOS. MÉTODO DE LOS CENTROS INSTANTÁNEOS. MÉTODO DE LAS VELOCIDADES Y ACELERACIONES RELATIVAS. TEMA 5: ENGRANAJES. APLICACIONES. INTRODUCCIÓN, CLASIFICACIÓN, GENERACIÓN. ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA. DESLIZAMIENTOS ESPECÍFICOS Y CORRECCIONES. ESFUERZOS EN ENGRANAJES. TEMA 6: DINÁMICA DE MECANISMOS. APLICACIONES. ANÁLISIS DINÁMICO. ECUACIONES DE EQUILIBRADO. EQUILIBRADO DE MASAS EXCÉNTRICAS CON CONTRAPESOS. EQUILIBRADO DE ROTORES. TEMA 7: CÁLCULOS ASISTIDOS POR ORDENADOR EN CINEMÁTICA Y DINÁMICA DE MÁQUINAS. ANÁLISIS COMPUTACIONAL DE LOS PROBLEMAS CINEMÁTICOS DE MECANISMOS Y MÁQUINAS.*

---

#### **COMENTARIOS:**

Si parecen usarse herramientas de análisis computacional

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 37**

UNIVERSIDAD: Politécnica de Cartagena

CENTRO: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 508102003

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.industriales.upct.es/gd/1112/508102003\\_11e.pdf](http://www.industriales.upct.es/gd/1112/508102003_11e.pdf)

ASIGNATURA: Mecánica de Máquinas

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE MECANISMOS Y MÁQUINAS*

*TEMA 2. ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS PLANOS*

*TEMA 3. ANÁLISIS DINÁMICO DE MECANISMOS PLANOS*

*TEMA 4. VIBRACIONES EN SISTEMAS MECÁNICOS*

*TEMA 5. TRANSMISIONES POR ENGRANAJES*

*TEMA 6. TRANSMISIONES POR CORREA Y CADENA*

*TEMA 7. EJES, ACOPLAMIENTOS Y APOYOS*

*TEMA 8. SISTEMAS LEVA-SEGUIDOR*

---

### COMENTARIOS:

Existe otra asignatura en el plan de estudios: Teoría de Mecanismos y Máquinas, 5º semestre, 6 créditos (sin guía docente publicada). Su equivalente en plan viejo: Teoría de Máquinas y Mecanismos

[[http://www.industriales.upct.es/0910/progs/128212009\\_09e.pdf](http://www.industriales.upct.es/0910/progs/128212009_09e.pdf)], 3er semestre y 6

créditos, incorpora un tema llamado "Introducción a la Síntesis de Mecanismos". En esta asignatura además se realiza una práctica de 2 horas de síntesis de posición."

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 38**

UNIVERSIDAD: Politècnica de Catalunya

CENTRO: Escuela de Ingeniería de Terrassa

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 320051

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.eet.upc.edu/estudis/estudis-de-grau/plans-destudi/ambit-denginyeria-industrial/copy3\\_of\\_grau-en-enginyeria-mecanica](http://www.eet.upc.edu/estudis/estudis-de-grau/plans-destudi/ambit-denginyeria-industrial/copy3_of_grau-en-enginyeria-mecanica)

ASIGNATURA: Teoría y diseño de máquinas y mecanismos

CUADRIMESTRE: 0

CRÉDITOS: 12 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*INTRODUCCIÓN*

*GRADOS DE LIBERTAD*

*INVERSIÓN CINEMÁTICA*

*DESCRIPCIÓN DE MECANISMOS*

*VELOCIDADES Y ACELERACIONES*

*FUERZAS Y PARES EN LAS MÁQUINAS*

*EQUILIBRADO DE MECANISMOS*

*REGULACIÓN*

*CÁLCULO CINEMÁTICO DE LEVAS*

*ESTADOS TENSIONALES*

*TEORÍAS DE RUPTURA*

*FATIGA DE LOS MATERIALES*

*CÁLCULO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS*

**COMENTARIOS:**

---



## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 39**

UNIVERSIDAD: Politècnica de Catalunya

CENTRO: Escuela Politècnica Superior de Ingeniería de Manresa

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 330124

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.epsem.upc.edu/estudis/grau/continguts/pla-destudis-mecanica>

ASIGNATURA: Mecánica y Teoría de Mecanismos

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,1** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 1

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. WORKING MODEL 2D**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*GEOMETRÍA DEL MOVIMIENTO (INCORPORA SÍNTESIS)*

*ANÁLISIS DE VELOCIDADES*

*ACELERACIONES*

*MOVIMIENTO RELATIVO*

*MECANISMOS EN EL ESPACIO*

---

### COMENTARIOS:

Se usan herramientas de simulación (WorkingModel 2D)

Existe otra asignatura obligatoria de 6 créditos en 6º semestre: Cinemática y Dinámica de Máquinas (sin guía docente publicada aun).

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 40**

UNIVERSIDAD: Politècnica de Catalunya

CENTRO: Escuela Politècnica Superior de Ingeniería de Vilanova

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 340050

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.epsevg.upc.edu/graus-i-enginyeries-a-lepsevg/graus-enginyeria-ambit-industrial/grau-en-enginyeria-mecanica>

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*CINEMÁTICA DE MECANISMOS*

*ESTÁTICA DE MECANISMOS*

*DINÁMICA DE MECANISMOS*

*VIBRACIONES MECÁNICAS*

---

**COMENTARIOS:**

Existe una asignatura optativa en plan viejo de ITI Mecánica llamada: " Síntesis de Mecanismos" de 3,6 créditos.

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 41**

UNIVERSIDAD: Politècnica de Catalunya

CENTRO: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Barcelona

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 820429

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.euetib.upc.edu/els-estudis/estudis-de-grau/grau-en-enginyeria-mecanica/pla-estudis>

ASIGNATURA: Teoría y Diseño de Máquinas y Mecanismos I

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. SIN ESPECIFICAR CUAL**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*GEOMETRÍA DEL MOVIMIENTO EN LOS MECANISMOS*

*COMPOSICIÓN DE MOVIMIENTO EN LOS MECANISMOS*

*VELOCIDADES*

*ACELERACIONES*

*MOVIMIENTO RELATIVO*

*ANÁLISIS ESTÁTICO DEL SÓLIDO EN MOVIMIENTO PLANO*

*ANÁLISIS DINÁMICO DEL SÓLIDO EN MOVIMIENTO PLANO*

*ENERGÍA CINÉTICA DE UN MECANISMO*

---

### COMENTARIOS:

En el tema análisis dinámico se habla de "herramientas de simulación".

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 42**

UNIVERSIDAD: Politècnica de Catalunya

CENTRO: Escuela Universitaria Politècnica de Mataró

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 840272

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://www.tecnocampus.cat/web/escola-universitaria-politecnica-de-mataro/pla-d-estudis-enginyeria-mecanica>

ASIGNATURA: Mecanismos y Máquinas

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **1,2** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 2

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. SIN ESPECIFICAR CUAL**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*1- INTRODUCCIÓN A LA CINEMÁTICA Y*

*DINÁMICA DE MÁQUINAS*

*2- ANÁLISIS Y SÍNTESIS ESTRUCTURAL*

*3- CINEMÀTICA DE MECANISMOS*

*4- SÍNTESIS DIMENSIONAL DE MECANISMOS*

*5- ENGRANAJES Y TRENES DE ENGRANAJES*

*6- ANÁLISIS DINÁMICO*

*7- FUERZAS DE CONTACTO. FUERZAS DE ENLACE.*

*RESISTENCIAS PASIVAS*

*8- MÉTODO DE LAS POTENCIAS VIRTUALES.*

*TRABAJO Y POTENCIA EN MÁQUINAS*

---

**COMENTARIOS:** Se usa un software de simulación no especificado.

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 43**

UNIVERSIDAD: Politécnica de Madrid

CENTRO: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL:

<http://www.euiti.upm.es/EUITIndustrial/Estudiantes/EstudiosTitulaciones/ETTítulosGrado/ETTítulosOficialesGrado/GradIngMecanica/71f493607df59210VgnVCM10000009c7648aRCRD>

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 5

CRÉDITOS: 4,5 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NO DETERMINADO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NO DETERMINADO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*NO DETERMINADO*

---

### COMENTARIOS:

No se ha podido encontrar ningún contenido asociado hasta la fecha en que se ha consultado la web de la universidad y/o del centro correspondiente.

Su equivalente en la antigua Ingeniería Téc. Ind. esp. Mecánica NO incorpora síntesis de mecanismos.

Existe también una optativa en la antigua Ingeniería Téc. Ind. esp. Mecánica llamada "Síntesis y Simulación de Mecanismos" (9 créditos en 5º semestre) con el siguiente temario:

**BLOQUE TEMÁTICO I: SÍNTESIS Y ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO DE SISTEMAS MECÁNICOS**

Introducción

Levas

Engranajes (geometría)

Trenes de engranajes

Síntesis

Mecanismos espaciales

Análisis Dinámico: esfuerzos y pares de inercia

Equilibrado de cadenas cinemáticas y de máquinas

Estudio cinemático y dinámico de un motor

BLOQUE TEMÁTICO II: TÉCNICAS DE SIMULACIÓN

La Técnica de Bond-Graph. Aplicaciones a diferentes mecanismos

Se ofrece también una asignatura optativa en plan viejo: "Dispositivos Mecánico"  
[<http://ocw.upm.es/ingenieria-mecanica/mechanical-devices-for-industry>] de 3 créditos,  
donde se utiliza el software SAM con el siguiente temario:

## 1. ANALISIS DE MECANISMOS

### 1.1 Introducción

1.2 Mecanismos de cuatro barras, (Grados de libertad, cadena cinemática, curvas de acoplador).

1.3 Mecanismos de más de cuatro barras.

1.4 Velocidad y aceleración

1.5 Técnicas de lectura, comprensión y asimilación de textos técnicos.

## 2. SÍNTESIS DE MECANISMOS

2.1. Introducción. Síntesis estructural.

2.2. Síntesis de funciones.

2.3. Síntesis de trayectorias.

2.4. Síntesis de posiciones.

2.5. Estrategias comunicativas para la redacción y presentación de comunicaciones técnicas.

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 44**

UNIVERSIDAD: Politécnica de Valencia

CENTRO: Escuela Politécnica Superior de Alcoy

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL:

[http://www.upv.es/pls/oalu/sic\\_pla.lisbloques?p\\_tit=170&p\\_nombre=Escuela%20Polit%E9cnica%20Superior%20de%20Alcoy&p\\_cen=J&p\\_calendario=&p\\_tipo=plan&p\\_cabecera=1&p\\_idioma=c&p\\_acceso=G&p\\_vista=&p\\_lis\\_todmod=&P\\_NAVEGA=1&p\\_caca=&p\\_vermiplan=N](http://www.upv.es/pls/oalu/sic_pla.lisbloques?p_tit=170&p_nombre=Escuela%20Polit%E9cnica%20Superior%20de%20Alcoy&p_cen=J&p_calendario=&p_tipo=plan&p_cabecera=1&p_idioma=c&p_acceso=G&p_vista=&p_lis_todmod=&P_NAVEGA=1&p_caca=&p_vermiplan=N)

ASIGNATURA: Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,6** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 2

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. SIN ESPECIFICAR CUAL**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*'UNIDAD DIDÁCTICA I: INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE MECANISMOS DE MÁQUINAS. CONCEPTOS BÁSICOS.*

*UNIDAD DIDÁCTICA II: ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS PLANOS. MÉTODOS GRÁFICOS.*

*UNIDAD DIDÁCTICA III: ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS PLANOS. MÉTODOS ANALÍTICOS.*

*UNIDAD DIDÁCTICA IV: ANÁLISIS DINÁMICO DE MECANISMOS PLANOS. MÉTODOS GRÁFICOS Y ANALÍTICOS.*

*UNIDAD DIDÁCTICA V: INTRODUCCIÓN A LA SINTESIS DE MECANISMOS PLANOS.*

*UNIDAD DIDÁCTICA VI: EQUILIBRADO DE MASAS.*

*UNIDAD DIDÁCTICA VII: DINÁMICA DE SISTEMAS CON UN GRADO DE LIBERTAD. CÁLCULO DE VOLANTES DE INERCIA.*

*UNIDAD DIDÁCTICA VIII: VIBRACIONES DE UN GRADO DE LIBERTAD.*

*UNIDAD DIDACTICA IX. ENGRANAJES.*

*UNIDAD DIDACTICA X. LEVAS.*

**COMENTARIOS:**

Para Prácticas se dispone de una gran variedad de Maquetas y se realizan mediciones sobre ellas, así como comprobaciones en programas de simulación de mecanismos, tanto en 2D como en 3D



## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 45**

UNIVERSIDAD: Politécnica de Valencia

CENTRO: Escuela Técnica Superior de Diseño

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 12568

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.upv.es/pls/oalu/sic\\_asi.Busca\\_Asi?p\\_codi=12568&p\\_caca=2011&P\\_IDIOMA=c&p\\_vista=MS](http://www.upv.es/pls/oalu/sic_asi.Busca_Asi?p_codi=12568&p_caca=2011&P_IDIOMA=c&p_vista=MS)

ASIGNATURA: Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 7,5 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

1. *CONCEPTOS BÁSICOS. TEORÍA DE MÁQUINAS*
2. *CONCEPTOS BÁSICOS EN CINEMÁTICA*
3. *CINEMÁTICA. MÉTODOS VECTORIALES*
4. *CINEMÁTICA. MÉTODOS NUMÉRICOS*
5. *PROBLEMA DINÁMICO*
6. *ANÁLISIS DE FUERZAS*
7. *ANÁLISIS DE MOVIMIENTO EN MECANISMOS DE 1 GDL*
8. *EQUILIBRADO DE MÁQUINAS*
9. *REGULACIÓN DEL MOVIMIENTO EN MÁQUINAS CÍCLICAS*
10. *ENGRANAJES CILÍNDRICOS DE DIENTES RECTOS*
11. *TRENES DE ENGRANAJES*
12. *LEVAS*

**COMENTARIOS:--**

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 46**

UNIVERSIDAD: Rovira i Virgili

CENTRO: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 20224103

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL:

[http://moodle.urv.net/docnet/guia\\_docent/index.php?centre=20&ensenyament=2022&consulta=assignatures](http://moodle.urv.net/docnet/guia_docent/index.php?centre=20&ensenyament=2022&consulta=assignatures)

ASIGNATURA: Mecánica y Teoría de Mecanismos I

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. WINMECC 4.5**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*INTRODUCCIÓN. PRESENTACIÓN DE LA ASIGNATURA. REPASO DE ESTÁTICA DEL SÓLIDO RÍGIDO.*

*ESTÁTICA DEL SÓLIDO RÍGIDO EN TRES DIMENSIONES. APLICAR PRINCIPIOS DE EQUILIBRIO EN EL ESPACIO.*

*ESTÁTICA DE MÁQUINAS Y MECANISMOS. ESTUDIO DEL EQUILIBRIO DE CONJUNTOS SÓLIDOS. MÁQUINAS EN EQUILIBRIO.*

*ADHERENCIA Y FRICCIÓN EN MÁQUINAS. ESTUDIO DE EQUILIBRIO EN MÁQUINAS CONSIDERANDO EL ROZAMIENTO.*

*CINEMÁTICA DE MECANISMOS. POSICIONES. MÉTODOS GRÁFICOS Y ANALÍTICOS.*

*CINEMÁTICA DE MECANISMOS. VELOCIDADES. MÉTODOS GRÁFICOS Y ANALÍTICOS.*

*CINEMÁTICA DE MECANISMOS. ACELERACIONES. MÉTODOS GRÁFICOS Y ANALÍTICOS.*

---

**COMENTARIOS:**

Utilizan la Herramienta WinMecc para realizar simulaciones

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 47**

UNIVERSIDAD: Rovira i Virgili

CENTRO: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 20224104

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL:

[http://moodle.urv.net/docnet/guia\\_docent/index.php?centre=20&ensenyament=2022&consulta=assignatures](http://moodle.urv.net/docnet/guia_docent/index.php?centre=20&ensenyament=2022&consulta=assignatures)

ASIGNATURA: Mecánica y Teoría de Mecanismos II

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: ---

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. PARA EL DISEÑO DE LEVAS**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*EQUILIBRIO DINÁMICO DE ALEMBERT. EQUILIBRIO DINÁMICO DE MÁQUINAS.*

*POTENCIAS VIRTUALES. EQUILIBRIO DINÁMICO DE MÁQUINAS.*

*REDUCCIÓN DINÁMICA. EQUILIBRIO DINÁMICO DE MÁQUINAS.*

*DISEÑO DE LEVAS. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE LEVAS POR ORDENADOR.*

*ENGRANAJES Y TRENES DE ENGRANAJES. CINEMÁTICA DE ENGRANAJES, TRENES FIJOS Y PLANETARIOS.*

*VIBRACIONES. VIBRACIONES EN MÁQUINAS DE UN GRADO DE LIBERTAD.*

*INTRODUCCIÓN A LOS MANIPULADORES. CINEMÁTICA DE MANIPULADORES. CONCEPTOS BÁSICOS DE ROBOTS.*

---

### COMENTARIOS:

Existe una tercera asignatura relacionada con el tema: Laboratorio de Máquinas y Mecanismos (3 Cr. 4º semestre). Sin síntesis de mecanismos pero con un contenido muy original:

Esquematzación. Esquematzación de mecanismos. Aplicación de los conceptos de mecánica I.

Máquina de coser. Esquematzación de la máquina de coser. Funcionamiento y uso de WinMecc.

Simulaciones I. Simulación de un mecanismo real. Análisis analítica de la posición y velocidad

Simulaciones II. . Simulación de un mecanismo real. Análisis analítica de aceleración

Medidas de ruido. Legislación sobre ruido. Medidas reales e interpretación de resultados.

Reducción de sistemas. Aplicación a la dinámica de máquinas. Volante de inercia.

Equilibrado de rotores dinámicos. Equilibrado estático de una bicicleta.

Caja de cambios. Estudio del funcionamiento de una caja de cambios de automóvil

Levas. Diseño por ordenador.

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 48**

UNIVERSIDAD: Salamanca

CENTRO: Escuela Politécnica Superior de Zamora

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 106514

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://campus.usal.es/~guias2011/centros/guiagrado.php?id=62>

ASIGNATURA: Teoría de Mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,6** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 2

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. SIN ESPECIFICAR CUAL**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*ATLAS O COMPENDIO DE MECANISMOS. GRADOS DE LIBERTAD. TEOREMA DE GRASHOF. BREVE INTRODUCCIÓN A LA SÍNTESIS. ESTUDIO DE POSICIÓN, ESTUDIO CINEMÁTICO, ESTÁTICO, DINÁMICO Y PRINCIPIO DE LOS TRABAJOS VIRTUALES EN LOS MECANISMOS, HACIENDO INCAPIÉ EN LAS HERRAMIENTAS ACTUALES DE CÁLCULO CON ORDENADOR Y SUS CORRESPONDIENTES PRÁCTICAS. EQUILIBRADO DE MÁQUINAS ROTATIVAS Y ALTERNATIVAS. ENGRANAJES DIFERENCIALES. LEVAS. REGULACIÓN.*

---

### COMENTARIOS:

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 49**

UNIVERSIDAD: Salamanca

CENTRO: E.T.S de Ingeniería Industrial de Béjar

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 106514

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://campus.usal.es/~guias2011/centros/guiagrado.php?id=7>

ASIGNATURA: Teoría de Mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,75** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 2

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. AUTOCAD Y MATLAB**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

1.- INTRODUCCIÓN A LOS MECANISMOS.

*BARRAS, PARES, CADENAS CINEMÁTICAS Y MECANISMOS. INVERSIÓN DE UN MECANISMO. GRADOS DE LIBERTAD DE UN MECANISMO: CRITERIO DE KUTZBACH.*

2.- ANÁLISIS DE POSICIÓN DE MECANISMOS PLANOS.

*ECUACIÓN DE CIERRE. RESOLUCIÓN MEDIANTE ÁLGEBRA COMPLEJA (MÉTODO DE RAVEN). APLICACIONES: MECANISMOS DE CUATRO BARRAS, MECANISMOS DE BIELA-MANIVELA.*

3.- ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS PLANOS.

*CENTROS INSTANTÁNEOS DE ROTACIÓN. DETERMINACIÓN ANALÍTICA DE VELOCIDADES Y ACELERACIONES. MÉTODO DE RAVEN (ÁLGEBRA COMPLEJA). MÉTODO DE CHACE (ÁLGEBRA VECTORIAL).*

4.- ANÁLISIS DINÁMICO DE MECANISMOS PLANOS.

*MÉTODO DE RESOLUCIÓN DE NEWTON- EULER. APLICACIONES: FUERZAS Y MOMENTOS EN MECANISMOS DE CUATRO BARRAS Y DE BIELA-MANIVELA.*

5.- SÍNTESIS DE MECANISMOS.

*GENERACIÓN DE FUNCIÓN, TRAYECTORIA Y MOVIMIENTO. SÍNTESIS GRÁFICA. SÍNTESIS ANALÍTICA.*

6.- ENGRANAJES Y TRENES DE ENGRANAJES.

## Fichas de guías docentes

---

*ENGRANAJES RECTOS. LEY FUNDAMENTAL DEL ENGRANE. EL PERFIL DE ENVOLVENTE DE LOS DIENTES. OTROS TIPOS DE ENGRANAJES. TRENES DE ENGRANAJES.*

*7.- EQUILIBRADO.*

*CAUSAS Y EFECTOS DEL DESEQUILIBRIO. EQUILIBRADO ESTÁTICO. EQUILIBRADO DINÁMICO.*

*8.- DISEÑO DE LEVAS.*

*CLASIFICACIÓN DE LAS LEVAS Y LOS SEGUIDORES. MOVIMIENTOS ESTÁNDAR DE LEVAS. DISEÑO POLINÓMICO DE LEVAS. DISEÑO GRÁFICO DE PERFILES DE LEVAS. DISEÑO ANALÍTICO DE LEVAS*

---

### **COMENTARIOS:**

Consta una práctica llamada "Simulación de mecanismos con aplicaciones informáticas"

Consta el uso de AutoCAD y MatLab.

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 50**

UNIVERSIDAD: Sevilla

CENTRO: Escuela Politécnica Superior

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 2070020

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.us.es/estudios/grados/plan\\_207?p=7](http://www.us.es/estudios/grados/plan_207?p=7)

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NO DETERMINADO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NO DETERMINADO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*PRINCIPIOS Y APLICACIONES DE TEORÍA DE MÁQUINAS Y MECANISMOS. ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO DE MÁQUINAS Y MECANISMOS. DISEÑO Y CÁLCULO DE DISPOSITIVOS MECÁNICOS.*

---

**COMENTARIOS:**

La guía docente no especifica contenidos. El aquí mostrado está extraído de la memoria del grado [<http://www.eps.us.es/docencia/espacio-europeo-de-educacion-superior-eees/recursos/planificacion-de-las-enseñanzas-grado-mecanica.pdf>]



## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 51**

UNIVERSIDAD: Valladolid

CENTRO: Escuela de Ingenierías Industriales

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 42603

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.uva.es/consultas/asignaturas.php?ano\\_academico=1112&codigo\\_plan=455](http://www.uva.es/consultas/asignaturas.php?ano_academico=1112&codigo_plan=455)

ASIGNATURA: Mecánica para Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NINGUNO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NINGUNO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

1. *CINEMÁTICA DEL SÓLIDO RÍGIDO.*
2. *DINÁMICA DEL SÓLIDO RÍGIDO.*
3. *MECÁNICA ANALÍTICA.*
4. *ELEMENTOS DE MÁQUINAS.*
5. *SIMULACIÓN MECÁNICA.*

---

### COMENTARIOS:

Los contenidos citan la "Simulación mecánica"

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 52**

UNIVERSIDAD: Vigo

CENTRO: Escuela de Ingeniería Industrial (Vigo)

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: G380306

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://eei.uvigo.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=89&Itemid=157](http://eei.uvigo.es/index.php?option=com_content&view=article&id=89&Itemid=157)

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 3

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **0,42** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 1

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

- *INTRODUCCIÓN A LA TOPOLOGÍA DE MECANISMOS.*
- *ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE MECANISMOS.*
- *ANÁLISIS CINEMÁTICO DE SISTEMAS MECÁNICOS.*
- *ANÁLISIS DINÁMICO DE SISTEMAS MECÁNICOS.*
- *ANÁLISIS DE MECANISMOS FUNDAMENTALES.*
- *ANÁLISIS CINEMÁTICO DE SISTEMAS MECÁNICOS MEDIANTE SOFTWARE.*
- *ANÁLISIS DINÁMICO DE SISTEMAS MECÁNICOS MEDIANTE SOFTWARE.*

---

**COMENTARIOS:**

No se ha podido encontrar ningún contenido asociado hasta la fecha en que se ha consultado la web de la universidad y/o del centro correspondiente.

Información extraída de la memoria del grado verificada

[[http://webs.uvigo.es/vicprof/images/documentos/MEMORIAS\\_DEFINITIVAS/Memoria\\_Ing\\_Mec%E1nica\\_Revision\\_ANECA\\_2\\_230610\\_parte1.pdf](http://webs.uvigo.es/vicprof/images/documentos/MEMORIAS_DEFINITIVAS/Memoria_Ing_Mec%E1nica_Revision_ANECA_2_230610_parte1.pdf)]

## Fichas de guías docentes

---

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 53**

UNIVERSIDAD: Vigo

CENTRO: Escuela Naval Militar de Marín

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: NO DETERMINADO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: [http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/personal\\_escuelas/02\\_enm](http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/personal_escuelas/02_enm)

ASIGNATURA: NO DETERMINADO

CUADRIMESTRE: 0

CRÉDITOS: 0 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **NO DETERMINADO** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: NO DETERMINADO

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **NO CONSTA**

---

### CONTENIDO ABREVIADO:

*NO DETERMINADO*

---

### COMENTARIOS:

No se ha podido encontrar ningún contenido asociado hasta la fecha en que se ha consultado la web de la universidad y/o del centro correspondiente.

**IDENTIFICADOR ÚNICO DE ASIGNATURA: 54**

UNIVERSIDAD: Zaragoza

CENTRO: Escuela de Ingeniería y Arquitectura

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA: 29719

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

URL: <http://titulaciones.unizar.es/asignaturas/29719/index11.html>

ASIGNATURA: Teoría de Máquinas y Mecanismos

CUADRIMESTRE: 4

CRÉDITOS: 6 ECTS

CONTIENE SÍNTESIS DE MECANISMOS: **1** ECTS

TERCIO DEL TEMARIO DONDE SE IMPARTE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS: 1

USO DE ALGÚN TIPO DE SOFTWARE: **SI. SIN ESPECIFICAR CUAL**

---

**CONTENIDO ABREVIADO:**

*INTRODUCCIÓN A LA SÍNTESIS DE MECANISMOS*

*MÉTODOS DE ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS*

*MÉTODOS DE ANÁLISIS DINÁMICO DE MECANISMOS*

*ANÁLISIS Y DISEÑO DE MECANISMOS DE ESPECIAL INTERÉS: MECANISMOS DE LEVA Y TRENES DE ENGRANAJES*

*ANÁLISIS DE ROBOTS, MECANISMOS ESPACIALES*

*ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO CÍCLICO DE MÁQUINAS: REGULACIÓN*

---

**COMENTARIOS:**

Uno de los 8 resultados del aprendizaje es "Aprende programas de simulación numérica aptos para la síntesis y el análisis de mecanismos y máquinas."

No constan en la web la lista de asignaturas optativas del grado.

Existe una asignatura del Máster en Sistemas Mecánicos: Métodos numéricos y gráficos avanzados en el diseño cinemático y dinámico de mecanismos, 5 crédito, 2º semestre [[http://titulaciones.unizar.es/asignaturas/67117/infor\\_basica10.html](http://titulaciones.unizar.es/asignaturas/67117/infor_basica10.html)].

