



**UNIVERSITAT  
JAUME I**

Departament  
d'Enginyeria  
Mecànica i  
Construcció

5.0

# Conceptos generales de modelado con movimiento

Pedro Company  
Jorge D. Camba

Analizar los modelos y ensamblajes CAD como cuerpos **rígidos y estáticos** no siempre es apropiado

↳ Hay situaciones en las que necesitamos simular **elasticidad** o **movimiento** para analizar el comportamiento del diseño:

1 Modelar el comportamiento de **sólidos elásticos**:

- ✓ Deformar las **piezas elásticas** de un sistema mecánico en respuesta a sollicitaciones externas

2 Dar movimiento a los **ensamblajes**:

- ✓ Mostrar la forma en que un **mecanismo** puede realizar un trabajo
- ✓ Simular el proceso de **montaje** y desmontaje

3 Gestionar el **movimiento dinámico**:

- ✓ **Simular** el movimiento de una máquina
- ✓ Hacer un **paseo virtual** a través de una máquina o una instalación

Para abordar estas necesidades se usan diferentes **procedimientos de simulación de movimiento**

# Elasticidad

Introducción

**Elasticidad**

Mecanismos

Montaje

Movimientos

Paseos

Las piezas con comportamiento elástico y/o plástico son difíciles de modelar en las aplicaciones CAD...

...porque las aplicaciones CAD están principalmente orientadas hacia el modelado **sólido** de cuerpos **rígidos**

El **sólido rígido** es un sistema de partículas materiales en el que la distancia entre sus partículas permanece constante



**Sólido elástico** es aquel que ante un esfuerzo exterior se deforma y recupera su forma primitiva al cesar la causa exterior

**Rigidez** es la propiedad de un material de oponerse a las deformaciones

Elástico y flexible se suelen usar como sinónimos, pero es común definir como **flexibles** a aquellas piezas que tienen capacidad de mantenerse en reposo en diferentes formas



El equilibrio estático exige que las fuerzas exteriores que actúan sobre el sólido sean compensadas entre sí



El equilibrio elástico exige que las fuerzas exteriores que actúan sobre el sólido sean contrarrestadas por las fuerzas interiores de cohesión molecular



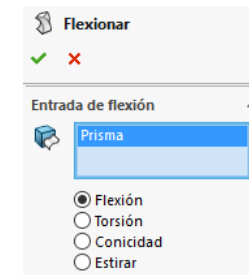
Ni la forma ni el tamaño del sólido cambian por la acción de las fuerzas exteriores



Los cambios de cohesión molecular producen cambios de forma y tamaño del sólido

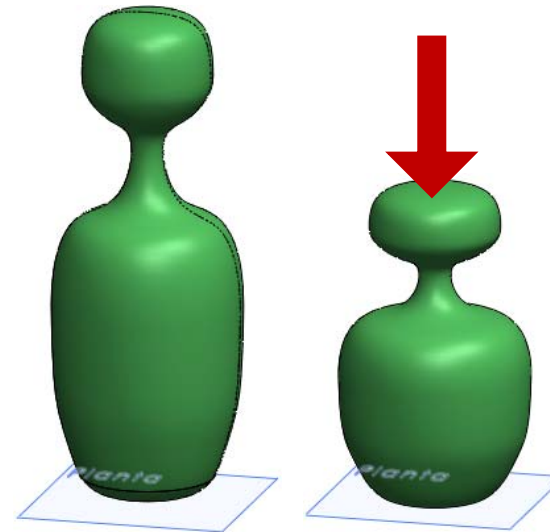
☹️ La mayoría de aplicaciones CAD **no** admiten que la forma y tamaño del sólido dependan de las sollicitaciones a las que pueda estar sometido

Hay **excepciones**: herramientas complementarias de las aplicaciones CAD que ayudan a deformar los cuerpos sólidos



😊 Para simular comportamientos elásticos o flexibles, se recurre habitualmente a:

- ✓ Mostrar las formas rígidas extremas de la pieza elástica mediante configuraciones
- ✓ Parametrizar la elasticidad y crear modelos paramétricos
- ✓ Simular la elasticidad convirtiendo el sólido en un mecanismo



Más detalles sobre modelos elásticos en la lección 5.1

# Mecanismos

Introducción

Elasticidad

**Mecanismos**

Miembros

Enlaces

Montaje

Movimientos

Paseos

Para estudiar el movimiento de las máquinas hay que estudiar el comportamiento de sus **mecanismos**

Subconjuntos de una máquina formados por miembros cuya movilidad está interrelacionada:

- √ Dos miembros de una máquina ligados mediante relaciones con cierta capacidad de movimiento definen un **par cinemático**
- √ Se obtiene una **cadena cinemática** cuando más de dos miembros están ligados mediante relaciones con cierta capacidad de movimiento (de manera que todos los miembros forman parte, al mismo tiempo, de dos pares cinemáticos)
- √ Se obtiene un **mecanismo** cuando se inmoviliza arbitrariamente un miembro de la cadena cinemática

A su vez, para que se pueda simular su movimiento, los mecanismos se deben ensamblar correctamente:

- 1 Agrupar las piezas de los ensamblajes por **miembros**
- 2 Atender a la tipología de sus **enlaces**, o relaciones de contacto

# Miembros

Introducción

Elasticidad

Mecanismos

Miembros

Enlaces

Montaje

Movimientos

Paseos

En el contexto del movimiento de un mecanismo es importante distinguir entre piezas y miembros:

Una **pieza** es cada una de las partes que forman un conjunto



Cuando varias piezas se unen de forma rígida, sin movimiento posible, dan lugar a un **miembro**

Agrupar todas las piezas de un miembro en un subconjunto sin movilidad simplifica los cálculos de movimiento del mecanismo en el que posteriormente se inserta

Además, atendiendo a su capacidad para construir miembros, los componentes de las máquinas se pueden agrupar en:

- ✓ Elementos de soporte (por ejemplo los bastidores)
- ✓ Elementos de unión (tornillos, pernos, pasadores, etc.)
- ✓ Elementos de transmisión (árboles, bielas, etc.)
- ✓ Elementos de control



Organizar los subensamblajes distinguiendo entre miembros y piezas favorece el análisis de movimientos

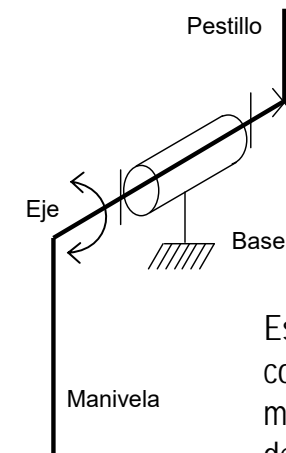
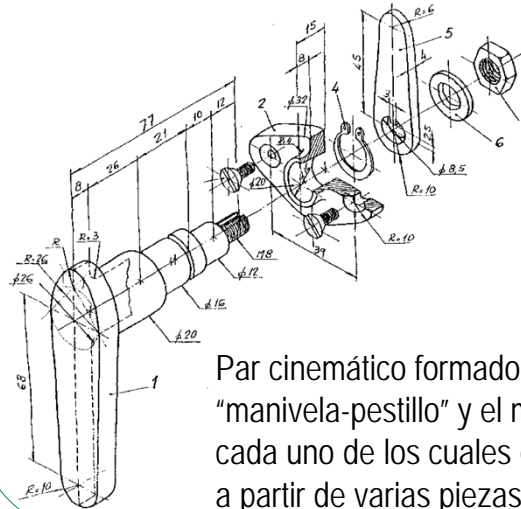
# Enlaces

- Introducción
- Elasticidad
- Mecanismos
- Miembros
- Enlaces**
- Montaje
- Movimientos
- Paseos

Las relaciones mutuas entre miembros dependen de los tipos de contactos mecánicos entre cuerpos

↳ Un **par** o **enlace mecánico** es toda relación con otro sólido que suprime al menos un grado de libertad de un sólido dado

**Par cinemático** es el conjunto formado por dos miembros de una máquina entre los que existe un contacto que permite el movimiento relativo entre ellos



Las relaciones de montaje más apropiadas se obtienen analizando los movimientos relativos y grados de libertad de los pares cinemáticos

# Enlaces

Introducción

Elasticidad

Mecanismos

Miembros

Enlaces

Montaje

Movimientos

Paseos

Si suponemos que los enlaces entre piezas son “perfectos”, es decir sin juego, rígidos y permanentes...

...entonces los pares mecánicos pueden clasificarse atendiendo a que se obtienen por **contacto entre dos superficies**

Se definen diez **pares cinemáticos clásicos**:

- ✓ Combinando los tres tipos elementales de superficies obtenemos los seis **pares cinemáticos simples**:

<b>Superficie</b>	Plano	Cilindro	Esfera
Plano	Apoyo plano	Contacto lineal rectilíneo	Contacto puntual
Cilindro		Pivote deslizante	Contacto lineal anular
Esfera			Rótula

- ✓ Los cuatro pares cinemáticos compuestos clásicos son:
  - ✓ Rótula plana
  - ✓ Pivote sin deslizamiento
  - ✓ Guía rectilínea
  - ✓ Roscado helicoidal



# Enlaces

- Introducción
- Elasticidad
- Mecanismos
- Miembros
- Enlaces
- Montaje
- Movimientos
- Paseos

También podemos clasificar los pares cinemáticos de acuerdo con los grados de libertad que restringen, y con los movimientos relativos que permiten

Todo sólido libre se puede desplazar en el espacio (respecto a un sistema de referencia ortogonal XYZ), siguiendo seis movimientos elementales independientes entre sí:

- ✓ Tres traslaciones siguiendo las tres direcciones del sistema de referencia ( $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ )
- ✓ Tres rotaciones ( $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ) alrededor de ejes paralelos a los ejes del sistema de referencia

Nombre del par cinemático	Representación esquemática		Movimientos relativos		Grados de libertad	Enlaces
	ortogonal	axonométrica	Traslación	Rotación		
Empotramiento					0	6
Pivote				$R_y$	1	5
Deslizante			$T_y$		1	5
Helicoidal			$T_y$	$R_y$	1	5
Pivote deslizante			$T_y$	$R_y$	2	4
Esférica con pivotamiento				$R_x$	2	4
Rótula				$R_x$ $R_y$ $R_z$	3	3
Apoyo plano			$T_x$ $T_y$	$R_z$	3	3
Lineal anular			$T_x$	$R_x$ $R_y$ $R_z$	4	2
Lineal rectilíneo			$T_x$ $T_y$	$R_y$ $R_z$	4	2
Puntual			$T_x$ $T_y$	$R_x$ $R_y$ $R_z$	5	1



Ver lección 2.3 del tomo 1: Ensamblajes de mecanismos

# Enlaces

- Introducción
- Elasticidad
- Mecanismos
- Miembros
- Enlaces**
- Montaje
- Movimientos
- Paseos

Por tanto, la clasificación más adecuada de los enlaces es la que distingue entre:

## carácter estático

- Coincidente
- Concéntrica
- Tangente
- Paralelos
- Perpendicular
- Distancia
- Ángulo
- Simétrico

Debe notarse que con combinaciones apropiadas de emparejamientos de carácter estático también se pueden simular ciertos mecanismos

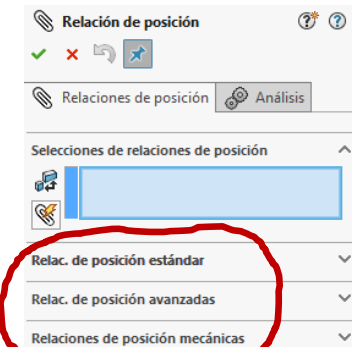
- Bloquear
- Bloquear croquis
- Centro de perfil
- En el sitio

## cinemático/dinámicos

- Límite, Distancia
- Límite, Ángulo
- Anchura
- Acoplamiento lineal/lineal
- Relación de posición de trayecto

- Leva
- Ranura
- Tornillo
- Correa
- Engranaje
- Piñón y cremallera
- Junta universal
- Bisagra

Debe buscar el enlace apropiado en alguno de los tres subgrupos en los que los clasifica SolidWorks®



# Enlaces

- Introducción
- Elasticidad
- Mecanismos
- Miembros
- Enlaces**
- Montaje
- Movimientos
- Paseos

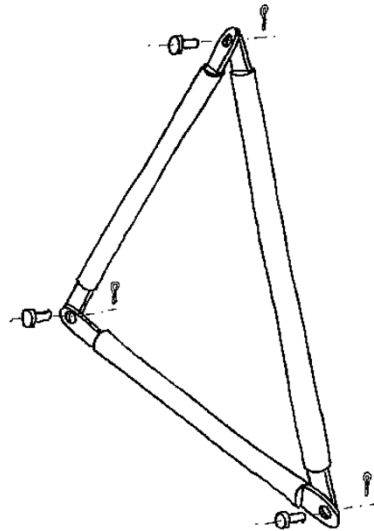


Debe notarse que también son las diferentes formas de unión entre piezas las que dan lugar a que al ensamblar se obtengan sólidos rígidos o máquinas

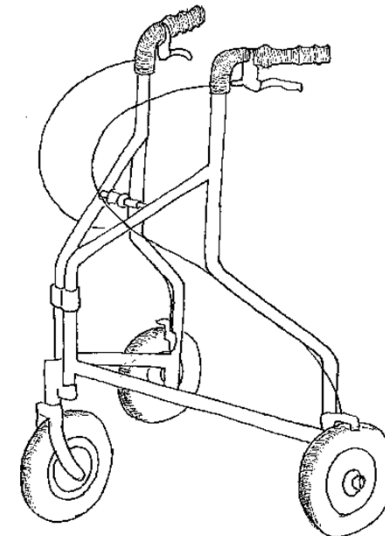


Emplear uniones articuladas (con capacidad de movimiento relativo entre las piezas unidas) **no** conduce necesariamente a que el ensamblaje final sea una máquina

Por ejemplo, tres barras unidas mediante articulaciones dan lugar a una estructura



El resultado es el mismo si en lugar de barras se usan miembros complejos (por ejemplo, los miembros del andador de la figura)



# Montaje

Introducción

Elasticidad

Mecanismos

Montaje

Movimientos

Paseos

Para simular el proceso de montaje y desmontaje se requiere que las aplicaciones CAD tengan:

- ✓ Herramientas para desvincular la posición de las piezas de sus enlaces de montaje
- ✓ Herramientas para cambiar la posición relativa entre las piezas mediante criterios de ubicación en la escena

SolidWorks dispone de una herramienta específica para gestionar "Explosiones" de ensamblajes



Además, si el cambio de posición sigue una secuencia y está animado, se pueden simular las operaciones de montaje y desmontaje con mayor realismo



Ver lección 2.5 del tomo 1: Ensamblajes en explosión

# Tipos de movimiento

Introducción

Elasticidad

Mecanismos

Montaje

Movimientos

Paseos

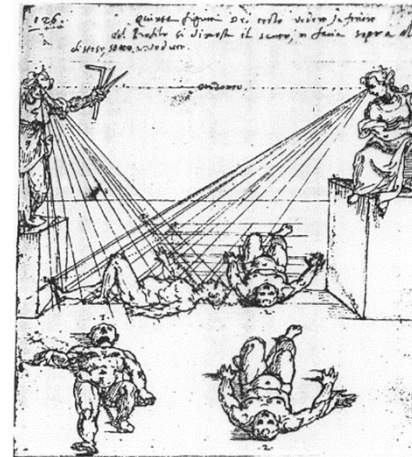
Se pueden distinguir dos tipos de movimientos básicos, que se pueden combinar:

- ✓ De **escena**, cuando cambia la posición de algunos de los componentes del sistema

Se denominan "**movimiento de componentes**"

- ✓ De **cámara**, cuando cambia el punto de vista de la visualización

Se denominan "**paseos**"



Leonardo da Vinci. Codex Huygens 126

Además, dado que los procesos que incluyen movimiento pueden verse como sucesos, puede ser necesario introducir el tiempo, para convertir el movimiento en **animación**:

- ✓ Mostrando que los sucesos ocurren en **orden**
- ✓ Mostrando que los sucesos tienen diferente **duración**

# Simular movimientos

Introducción

Elasticidad

Mecanismos

Montaje

Movimientos

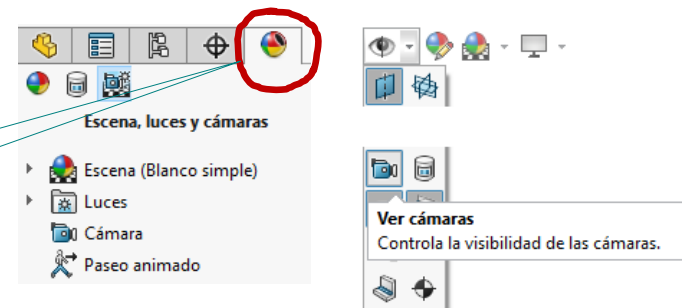
Paseos

Se suelen utilizar diferentes herramientas para simular los distintos tipos de movimientos de los sistemas mecánicos:

- ✓ Las herramientas basadas en el **movimiento de los componentes** de la escena se agrupan en módulo especializado en gestionar el movimiento de los modelos CAD
- ✓ Las herramientas basadas en el **movimiento de la cámara** pertenecen al ámbito del “renderizado” o representación realista

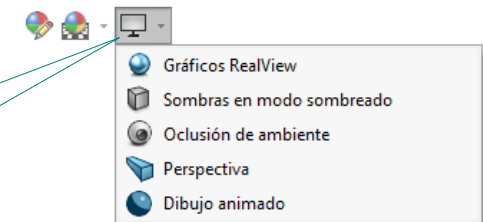
- ✓ Incluyen gestión del movimiento de la cámara

Como el *Display Manager* de SolidWorks®



- ✓ Se complementan con las que muestran los objetos con diferentes herramientas de renderizado

Como las *Configuraciones de Vistas* de SolidWorks®



La principal utilidad de los movimientos “de componentes” en las aplicaciones CAD es estudiar diferentes comportamientos de los mecanismos

Se estudian tres tipos de comportamiento de los mecanismos:

- 1 Estático (relativo a las fuerzas)
- 2 Cinemático (relativo al movimiento)
- 3 Dinámico (ambos)



Para los análisis cinemático y dinámico se necesitan diferentes capacidades de simulación de movimiento



El análisis dinámico de los sistemas mecánicos puede ser analítico o numérico...

...pero sólo hay disponibles métodos numéricos para los análisis más complejos

Las complejidad del análisis es consecuencia de que intervienen:

- ✓ El tipo de coordenadas elegidas para la definición de la posición y movimiento del mecanismo
- ✓ Las ecuaciones de restricción que ligan, estas coordenadas, cuya formulación está estrechamente relacionada con el tipo de coordenadas elegido
- ✓ El establecimiento de las ecuaciones de equilibrio dinámico cuya integración numérica permite conocer la evolución del mecanismo a lo largo del tiempo

# Simular movimientos

Introducción

Elasticidad

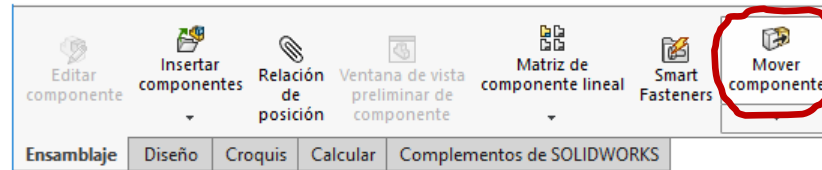
Mecanismos

Montaje

Movimientos

Paseos

Las simulaciones más elementales del funcionamiento de los mecanismos virtuales consisten en “mover” manualmente los mismos, “arrastrando” alguno de sus componentes



Las simulaciones más realistas incluyen la capacidad de simular la transformación de un movimiento de entrada en otro de salida:

- ✓ Un **análisis cinemático** simula el movimiento del mecanismo, pero no tiene en cuenta las fuerzas

La cinemática estudia el movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las causas que lo producen

Por tanto, no se pueden utilizar motores dinámicos ni propiedades de masa para el mecanismo

Las entidades dinámicas del modelo, como muelles, amortiguadores, gravedad, fuerzas/torsiones y motores dinámicos no afectan al análisis cinemático

- ✓ Un **análisis dinámico** simula el movimiento del mecanismo teniendo en cuenta las fuerzas



# Simular movimientos

Introducción

Elasticidad

Mecanismos

Montaje

Movimientos

Paseos

**SolidWorks® tiene dos herramientas de simular movimiento:**

- ✓ Movimiento básico, disponible a través de MotionManager

Simula movimientos por contacto entre piezas de un ensamblaje

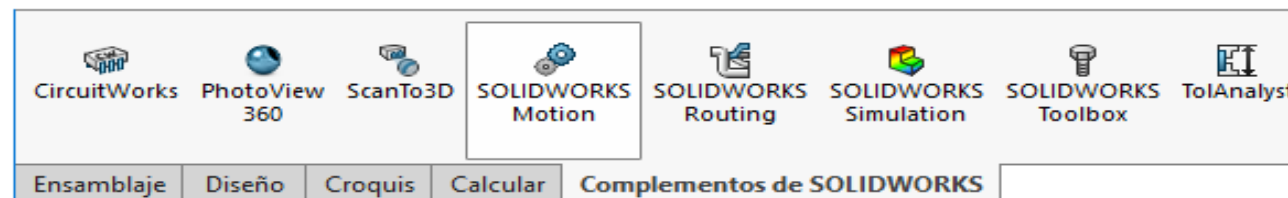


- ✓ Animaciones disponibles a través de MotionManager

Simula movimientos por acción de la gravedad, o por accionamiento mediante motores simulados

- ✓ Animaciones disponibles a través de SOLIDWORKS Motion

Simula comportamiento dinámico, pudiendo realizar cálculos cuantitativos de velocidades, aceleraciones y fuerzas



Más detalles sobre movimiento en la lección 5.2

# Paseo virtual

Introducción

Elasticidad

Mecanismos

Montaje

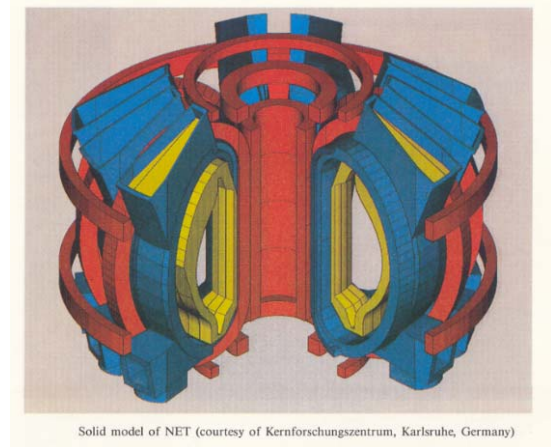
Movimientos

Paseos

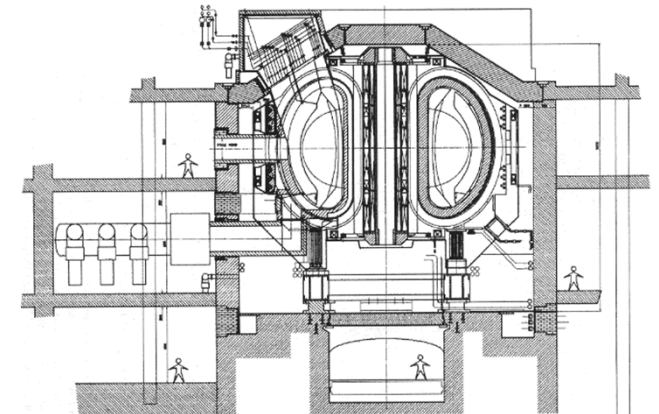
Alrededor de un modelo o ensamblaje virtual se pueden realizar **paseos virtuales**...

...cambiando el punto de vista como si se tratara de una cámara virtual...

...para ir mostrando la instalación y/o simular un recorrido de trabajo (reparación, inspección, etc.)



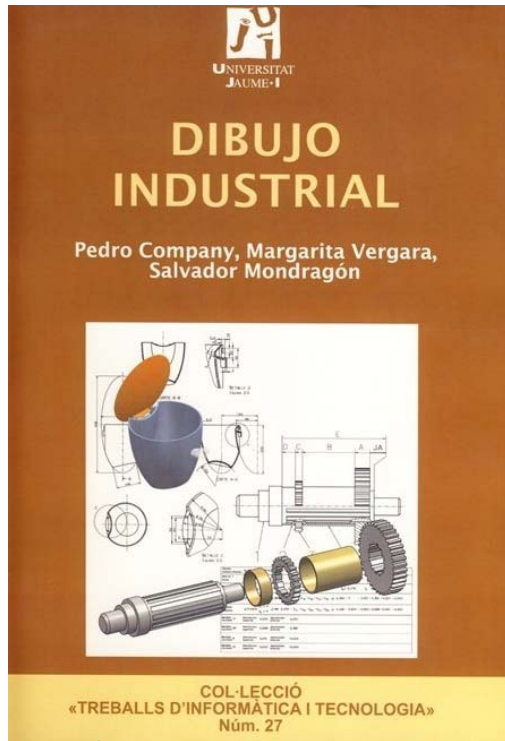
Encarnaçao & Schlechtendahl. Computer Aided Design. Springer Verlag, 1985



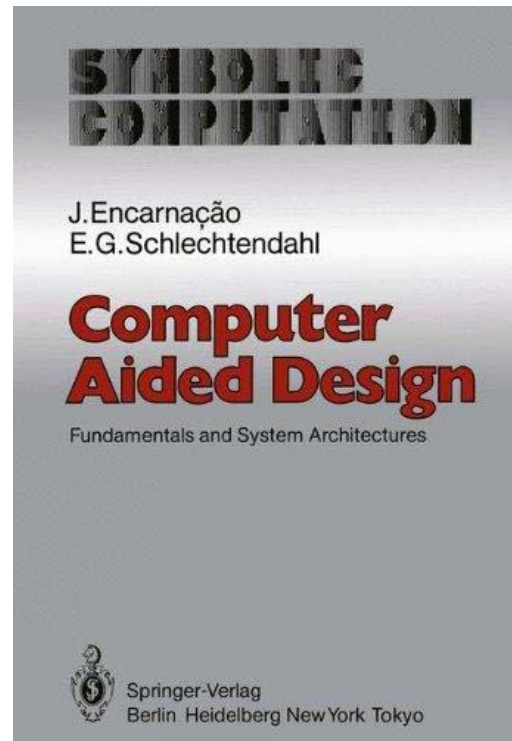
Los recursos de representación realista ayudan a conseguir paseos virtuales más útiles

Por ejemplo, el empleo de sombras ayuda a tener una mejor sensación de inmersión en la escena

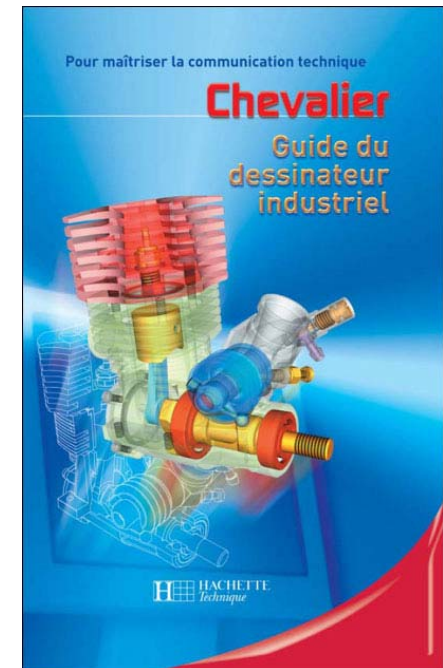
# Para repasar



1.4.7 Esquemas mecánicos

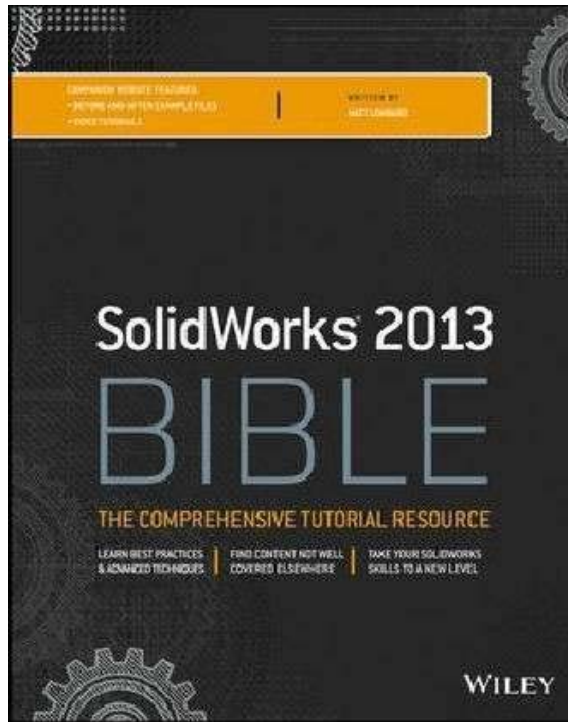


6. Engineering methods of CAD

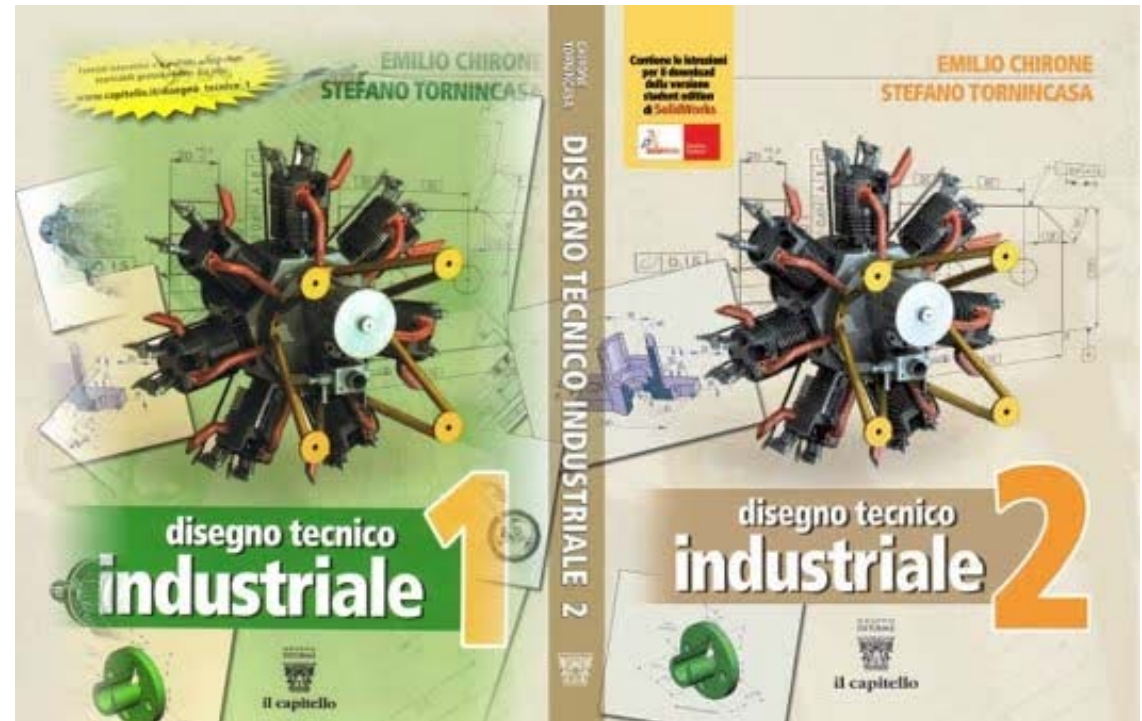


31 Schémas cinématiques

# Para repasar



Chapter 23. Animating with the MotionManager  
Chapter 14. Getting more from mates

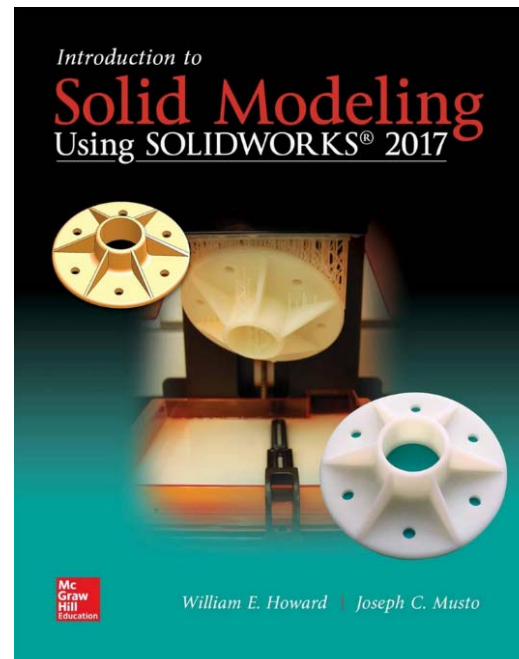


La simulazione cinematica e dinamica nel ciclo di sviluppo del prodotto

# Para repasar



Capítulo 9. Estudio de movimiento



Chapter 11 Analysis of Mechanisms