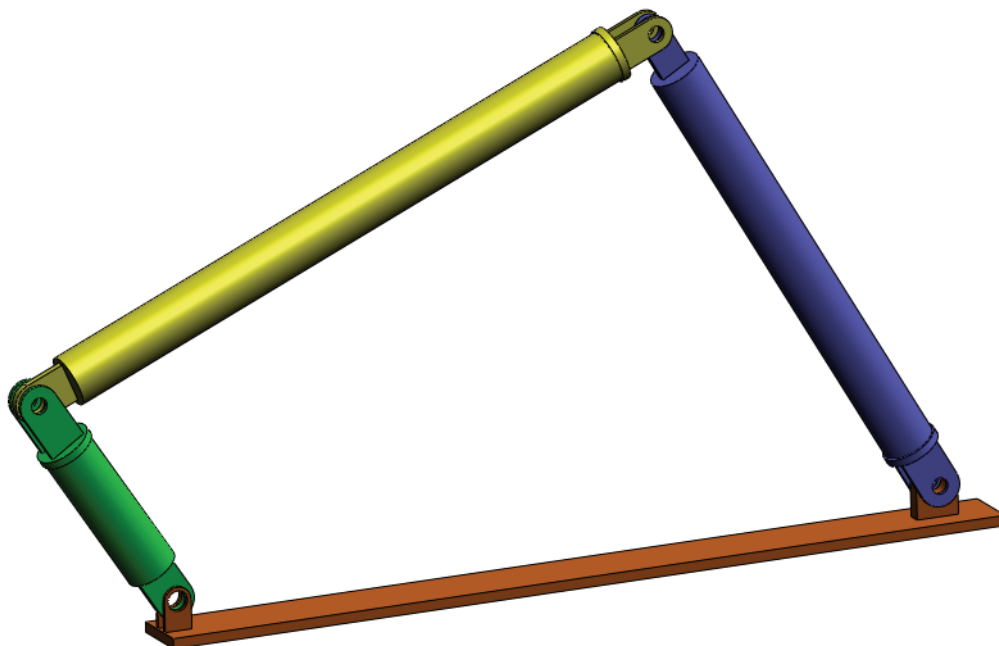


Introducción a las aplicaciones de análisis de movimiento con SolidWorks Motion, Guía del instructor



© 1995-2010, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, una empresa de Dassault Systèmes S.A., 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 EE. UU. Reservados todos los derechos.

La información y el software especificados en este documento están sujetos a cambio sin previo aviso y no son responsabilidad de Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks).

No se puede reproducir ni transmitir ningún material en ninguna forma ni a través de ningún medio, electrónico o manual, con ningún propósito sin el consentimiento expreso por escrito de DS SolidWorks.

El software descrito en este documento se proporciona con una licencia y se puede usar o copiar únicamente según los términos de la licencia. Todas las garantías ofrecidas por DS SolidWorks con respecto al software y a la documentación se establecen en el contrato de licencia y nada de lo que establezca o implique este documento o su contenido se considerará o estimará como una modificación o enmienda de las condiciones, incluidas las garantías, de dicho contrato de licencia.

Avisos de patentes

El software CAD mecánico en 3D SolidWorks® está protegido por las patentes de EE. UU. 5.815.154; 6.219.049; 6.219.055; 6.611.725; 6.844.877; 6.898.560; 6.906.712; 7.079.990; 7.477.262; 7.558.705; 7.571.079; 7.590.497; 7.643.027; 7.672.822; 7.688.318; 7.694.238 y 7.853.940, y por las patentes de otros países (por ejemplo, EP 1.116.190 y JP 3.517.643).

El software eDrawings® está protegido por las patentes de EE. UU. 7.184.044 y 7.502.027 y por la patente canadiense 2.318.706.

Patentes en EE. UU. y en otros países pendientes de aprobación.

Marcas comerciales y nombres de productos para los productos y servicios SolidWorks

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, SolidWorks eDrawings y el logotipo de SolidWorks eDrawings son marcas comerciales registradas y FeatureManager es una marca comercial registrada conjunta de DS SolidWorks.

CircuitWorks, Feature Palette, FloXpress, PhotoWorks, TolAnalyst y XchangeWorks son marcas comerciales de DS SolidWorks.

FeatureWorks es una marca comercial registrada de Geometric Software Solutions Ltd.

SolidWorks 2011, SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation y eDrawings Professional son nombres de productos de DS SolidWorks.

Otras marcas o nombres de productos son marcas comerciales o marcas comerciales registradas de sus respectivos propietarios.

SOFTWARE COMERCIAL INFORMÁTICO - PATENTADO

Derechos restringidos del gobierno de Estados Unidos El uso, la duplicación o la divulgación por parte del gobierno está sujeta a las restricciones establecidas en FAR 52.227-19 (Software informático comercial - Derechos restringidos), DFARS 252.227-7202 (Software informático comercial y Documentación de software informático comercial) y en este Acuerdo, según corresponda.

Contratante/Fabricante:

Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742, EE. UU.

Avisos de copyright para los productos SolidWorks Standard, Premium, Professional y Education

Partes de este software © 1986-2010 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Reservados todos los derechos.

Partes de este software © 1986-2010 Siemens Industry Software Limited. Reservados todos los derechos.

Partes de este software © 1998-2010 Geometric Ltd.

Partes de este software © 1996-2010 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Partes de este software incorporan PhysX™ by NVIDIA 2006 - 2010.

Partes de este software © 2001 - 2010 Luxology, Inc. Reservados todos los derechos, patentes pendientes.

Partes de este software © 2007 - 2010 DriveWorks Ltd.

Copyright 1984-2010 Adobe Systems Inc. y sus concedentes de licencias. Reservados todos los derechos. Protegido por las patentes estadounidenses 5.929.866; 5.943.063; 6.289.364; 6.563.502; 6.639.593; 6.754.382; patentes pendientes.

Adobe, el logotipo de Adobe, Acrobat, el logotipo de Adobe PDF, Distiller y Reader son marcas comerciales registradas o marcas comerciales de Adobe Systems Inc. en los Estados Unidos y en otros países.

Para obtener más información acerca del copyright, consulte Ayuda > Acerca de SolidWorks.

Avisos de copyright para los productos de SolidWorks Simulation

Partes de este software © 2008 Solversoft Corporation.

PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. Reservados todos los derechos.

Avisos de copyright para el producto Enterprise PDM

Outside In® Viewer Technology, © Copyright 1992-2010, Oracle

© Copyright 1995-2010, Oracle. Reservados todos los derechos.

Partes de este software © 1996-2010 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Avisos de copyright para los productos de eDrawings

Partes de este software © 2000-2010 Tech Soft 3D.

Partes de este software © 1995-1998 Jean-Loup Gailly and Mark Adler.

Partes de este software © 1998-2001 3Dconnexion.

Partes de este software © 1998-2010 Open Design Alliance. Reservados todos los derechos.

Partes de este software © 1995-2009 Spatial Corporation.

Este software está basado en parte en el trabajo del Independent JPEG Group.

Introducción

Para el instructor

Este documento presenta el paquete de software de cinemática y dinámica de cuerpos rígidos SolidWorks Motion Simulation a los usuarios de SolidWorks. Los objetivos específicos de esta lección son:

- 1 Presentar los conceptos básicos de los análisis cinemático y dinámico de cuerpos rígidos y sus beneficios.
- 2 Demostrar la sencillez de uso y el proceso conciso para realizar estos análisis.
- 3 Presentar las reglas básicas para los análisis cinemático y dinámico de cuerpos rígidos.

Este documento tiene una estructura similar a las lecciones de la Guía del instructor de SolidWorks. Esta lección tiene sus páginas correspondientes en el *Cuaderno de trabajo del estudiante de SolidWorks Motion Simulation*.

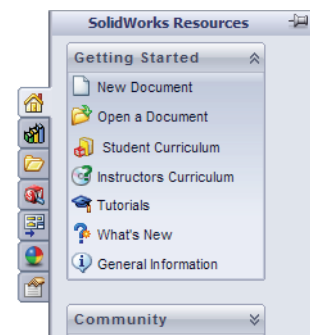
Nota: Esta lección no pretende enseñar todas las capacidades de SolidWorks Motion Simulation. Sólo intenta presentar los conceptos y reglas básicos para realizar los análisis cinemático y dinámico de cuerpos rígidos y mostrar la sencillez de uso y el proceso conciso para llevarlos a cabo.

DVD Education Edition Curriculum and Courseware

Se incluye el DVD *Education Edition Curriculum and Courseware* con este curso.

Al instalar el DVD, se crea una carpeta denominada *SolidWorks Curriculum_and_Courseware_2011*. Esta carpeta contiene directorios para este curso y varios otros.

El material del curso para los estudiantes también se puede descargar desde SolidWorks. Haga clic en la pestaña SolidWorks Resources (Recursos de SolidWorks) en el panel Task (Tareas) y, a continuación, seleccione Student Curriculum (Plan de estudios).



Haga doble clic en el curso que le gustaría descargar. Pulse la tecla Ctrl y seleccione el curso para descargar un archivo .zip. El archivo Lessons (Lecciones) contiene las partes necesarias para completar las lecciones. La Guía del estudiante contiene el archivo .pdf del curso.

El material del curso para profesores también se puede descargar del sitio web de SolidWorks. Haga clic en la pestaña SolidWorks Resources (Recursos de SolidWorks) en el panel Task (Tareas) y, a continuación, seleccione Instructors Curriculum (Plan de estudios del profesor). Esto le llevará a la página Educator Resources (Recursos del profesor) mostrada a continuación.

Home > Support > Learning Resources > Educator Resources*

Educator Resources*

Educator references including lesson plans, PowerPoint presentations, student goals, vocabulary, and student assessments. These materials are provided in a combination of project-based and topic-based formats.

Note: These Educator Resources are for SolidWorks 2010. For SolidWorks 2009 resources, [click here](#).

EDU Curriculum Introduction (2010)

Overview of the guides and resources listed below.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Curriculum introduction		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resources		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SolidWorks Teacher Guide (2010)

Includes lesson plans, presentations, student goals, vocabulary, and assessments.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	NOR	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Student SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teacher SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Instructor Presentation		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Sustainability Project (2010)

Perform life cycle assessment.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook		X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Presentation		X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X

SolidWorks® Simulation Educator Guide (2010)

An introduction to the principles of analysis using SolidWorks Simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-

SolidWorks® Flow Simulation Educator Guide (2010)

An introduction to the principles of fluid flow analysis using SolidWorks Flow Simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Presentation		X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Lesson files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SolidWorks® Motion Educator Guide (2010)

From dynamics to kinematics, incorporate theory through virtual simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-

[Back to top](#)

SAE Car Project (2010)

Design and Analyze Parts and Assemblies for Racing Competitions.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Student files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bridge Design Project (2010)

Use SolidWorks Simulation to analyze different loading conditions of the bridge.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook		X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-
Student files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Presentation		X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-

CO2 Car Design Project (2010)

Design and analyze a CO2 powered car. Make design changes to reduce drag.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook and SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Línea de productos de SolidWorks Simulation

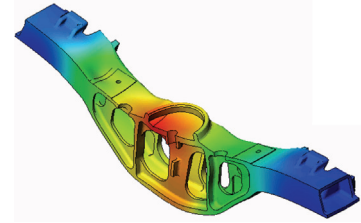
Aunque este curso se centra en la introducción a la dinámica de cuerpos rígidos con SolidWorks Motion Simulation, la línea de productos completa cubre una amplia gama de áreas de análisis a tener en cuenta. Los párrafos siguientes enumeran la oferta completa de los paquetes y módulos de SolidWorks Simulation.

Los estudios estáticos proporcionan herramientas para el análisis de tensión lineal de piezas y ensamblajes cargados con cargas estáticas. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

¿Mi pieza se romperá bajo cargas funcionales normales?

¿El modelo está “diseñado en exceso”?

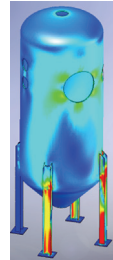
¿Mi diseño se puede modificar para aumentar el factor de seguridad?



Los estudios de pandeo analizan el rendimiento de las piezas delgadas cargadas en compresión. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

Las patas de mi recipiente son lo suficientemente fuertes para que no se venza su límite elástico, pero, ¿lo son como para no colapsar a causa de la pérdida de estabilidad?

¿Mi diseño se puede modificar para garantizar la estabilidad de los componentes delgados de mi ensamblaje?

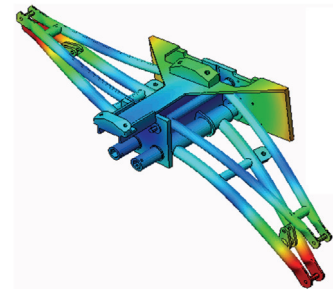


Los estudios de frecuencia ofrecen herramientas para el análisis de modos y frecuencias naturales. Esto es esencial en el diseño de muchos componentes cargados estática y dinámicamente. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

¿Mi pieza resonará bajo cargas funcionales normales?

¿Las características de frecuencia de mis componentes son adecuadas para la aplicación dada?

¿Mi diseño se puede modificar para mejorar las características de frecuencia?



Los estudios térmicos ofrecen herramientas para el análisis de la transferencia térmica mediante conducción, convección y radiación. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

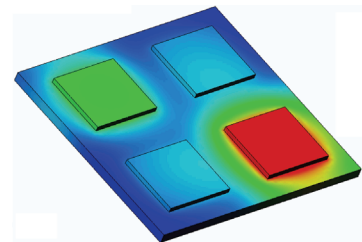
¿Los cambios de temperatura afectarán a mi modelo?

¿Cómo funciona mi modelo en un entorno con fluctuación de temperatura?

¿Cuánto tiempo tarda mi modelo en enfriarse o sobrecalentarse?

¿El cambio de temperatura provocará que mi modelo se expanda?

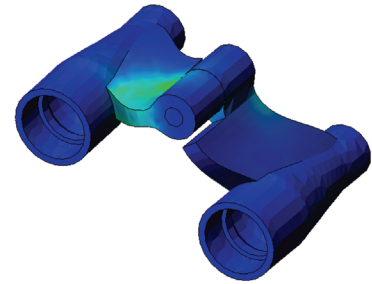
¿Las tensiones provocadas por el cambio de temperatura provocarán que mi producto falle (se usarán estudios estáticos, junto a estudios térmicos, para responder a esta pregunta)?



Los estudios de choque se usan para analizar la tensión de las piezas o ensamblajes móviles que impactan contra un obstáculo. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

¿Qué ocurrirá si mi producto no se maneja adecuadamente durante el transporte o se cae?

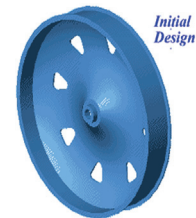
¿Cómo se comportará mi producto si se cae en un suelo de madera duro, una alfombra o cemento?



Se aplican estudios de optimización para mejorar (optimizar) su diseño inicial en función de un conjunto de criterios seleccionados, como la tensión máxima, el peso, la frecuencia óptima, etc. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

¿Se puede cambiar la forma de mi modelo manteniendo la finalidad del diseño?

¿Mi diseño se puede hacer más ligero, pequeño o económico sin comprometer la capacidad de rendimiento?



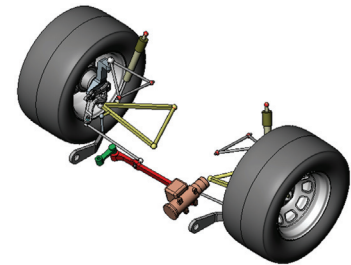
Los estudios de fatiga analizan la resistencia de las piezas y los ensamblajes cargados de forma repetida durante largos periodos de tiempo. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

¿La duración de la vida operativa de mi producto se puede calcular con precisión?

¿La modificación de mi diseño actual contribuirá a ampliar la vida del producto?

¿Mi modelo es seguro si se expone a cargas de temperatura o fuerza fluctuantes durante largos periodos de tiempo?

¿El rediseño de mi modelo ayudará a minimizar el daño provocado por las fuerzas o temperatura fluctuantes?



Los estudios no lineales ofrecen herramientas para analizar la tensión en piezas y ensamblajes que experimenten cargas importantes y/o grandes deformaciones. Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

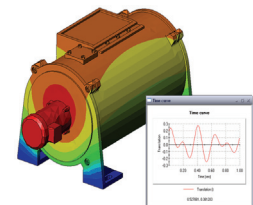
¿Las piezas de goma (por ejemplo, anillos tóricos) o de espuma tendrán un buen rendimiento bajo una carga determinada?

¿Mi modelo experimentará un plegado excesivo durante las condiciones de funcionamiento normales?

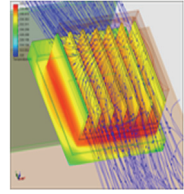


Los estudios dinámicos analizan objetos forzados por cargas que varían en el tiempo. Algunos ejemplos típicos pueden ser cargas de choque de componentes montados en vehículos, turbinas cargadas mediante fuerzas oscilatorias, componentes de aviones cargados aleatoriamente, etc. Se encuentran disponibles tanto linealmente (pequeñas deformaciones estructurales, modelos de material básico) y no linealmente (grandes deformaciones estructurales, cargas importantes y materiales avanzados). Las preguntas típicas que se responderán con este tipo de estudio son:

¿Tienen un diseño seguro mis montajes cargados por cargas de choque cuando un vehículo pasa por un gran bache en la carretera? ¿Cuánto se deformará en estas circunstancias?



Flow Simulation permite al usuario analizar el comportamiento y el efecto de los fluidos en movimiento alrededor o en el interior de piezas y ensamblajes. También se tiene en cuenta la transferencia térmica tanto en fluidos como en sólidos. El efecto de la presión y la temperatura se puede transferir por tanto a los estudios de SolidWorks Simulation para continuar con el análisis de la tensión. Las preguntas típicas que se responderán con este módulo son:



- ¿El fluido se está moviendo demasiado rápido y causará problemas en mi diseño?
- ¿El fluido en movimiento está demasiado caliente o frío?
- ¿Es eficaz la transferencia térmica en mi producto? ¿Se puede mejorar?
- ¿Cuál es la eficacia de mi diseño en un fluido en movimiento por el sistema?

El módulo de compuestos permite a los usuarios simular estructuras fabricadas con materiales compuestos laminados. Las preguntas típicas que se responderán con este módulo son:

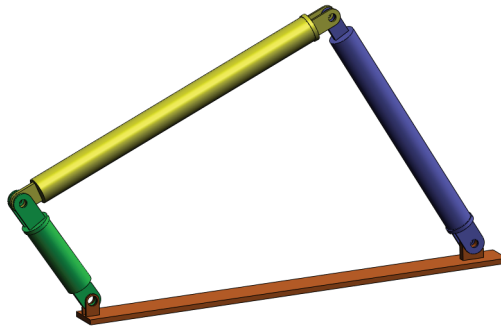
- ¿El modelo de compuestos falla con esta carga determinada?
- ¿Se puede aligerar la estructura usando materiales compuestos sin comprometer la fuerza y la seguridad?
- ¿Se delaminará mi compuesto de capas?



Funcionalidad básica de SolidWorks Motion

Objetivos de esta lección

Presentar el análisis de dinámica y cinemática como una herramienta para complementar el modelado 3D con SolidWorks. Una vez terminado correctamente, los estudiantes deberían comprender los conceptos básicos del comportamiento del mecanismo y cómo SolidWorks Motion les puede ayudar a determinar los parámetros importantes de diseño, como velocidades, aceleraciones, fuerzas, momentos, etc. Los estudiantes serán capaces de ver la potencia combinada del modelado 3D y el análisis de mecanismos en el proceso de diseño.



Presentar el análisis de mecanismos mediante un ejercicio de aprendizaje activo. El ejercicio de aprendizaje activo está diseñado para romper el hielo al hacer que los estudiantes lleven a cabo unos pocos pasos para completar el ejercicio. Teniendo en cuenta este concepto, los pasos se realizan con una descripción mínima.

Mostrar a los estudiantes una forma de simular correctamente sus mecanismos con SolidWorks Motion.

Descripción

- ☐ Debate en clase
- ☐ Ejercicio de aprendizaje activo: Análisis de movimiento de un mecanismo de 4 barras
 - Apertura del documento 4Bar . SLDASM
 - Selección del menú SolidWorks Motion
 - Descripción del modelo
 - Cambio a SolidWorks Motion Manager
 - Componentes fijos y móviles
 - Creación de movimiento con SolidWorks Assembly Mates
 - Especificación del movimiento de entrada
 - Ejecución de la simulación
 - Comprobación de resultados
 - Creación de una trayectoria
- ☐ Evaluación de cinco minutos
- ☐ Debate en clase: Cálculo del momento de torsión necesario para generar el movimiento
- ☐ Investigación adicional: modificación de la geometría
- ☐ Ejercicios y proyectos: Estudio
- ☐ Resumen de la lección

Debate en clase

Pida a los estudiantes que identifiquen mecanismos a su alrededor y su comportamiento. Pregúnteles cómo el software de simulación Motion puede ser beneficioso para un ingeniero. Qué pueden explicar acerca del eslabonamiento de cuatro barras.

Respuesta

El software de simulación Motion se puede usar para estudiar el desplazamiento, la velocidad y la aceleración que actúan sobre los componentes móviles. Por ejemplo, en la simulación de un eslabonamiento de cuatro barras el estudiante puede estudiar estos parámetros en cada eslabón.

Además, el software de simulación Motion también ofrece las fuerzas de reacción/momentos que actúan sobre cada relación de posición. Los ingenieros podrán usar esta información para hacerse una idea del momento de torsión necesario para accionar el mecanismo de cuatro barras.

La reacción y las presiones de endurecimiento que actúan sobre cada componente se pueden exportar al análisis de tensión de SolidWorks Simulation para estudiar sus efectos (deformación y tensión) sobre el componente.

El software de simulación Motion puede contribuir al diseño de resortes, amortiguadores y levas necesario para el funcionamiento de su mecanismo. También puede ayudar a definir el tamaño de motores y actuadores necesarios para accionar el movimiento de los mecanismos.

Investigación adicional

En cuanto al análisis estructural, pregunte a los estudiantes cómo se determinaron las fuerzas que actúan sobre un objeto concreto (cuya tensión se analiza en SolidWorks Simulation). ¿Estas fuerzas siempre se conocen o se calculan a partir de fórmulas conocidas?

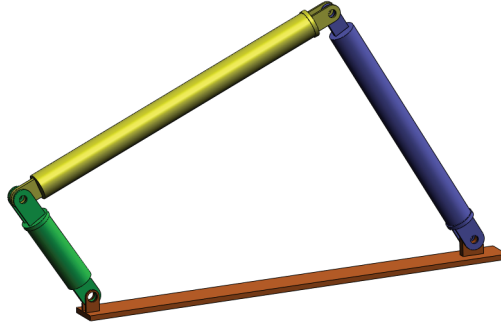
Respuesta

En algunos problemas relacionados con los mecanismos, estas cargas se conocen o bien se pueden ignorar. Por ejemplo, en un mecanismo de eslabonamiento de cuatro barras, si la velocidad angular de rotación es pequeña, las presiones de endurecimiento que actúan sobre los eslabones son pequeñas y se pueden ignorar. Sin embargo, para un mecanismo que funciona a altas velocidades, como el cilindro y el pistón de un motor, las fuerzas pueden ser grandes y no se podrán ignorar. Para determinar estas fuerzas, se puede usar SolidWorks Motion Simulation y, a continuación, se pueden exportar estas fuerzas a un análisis de tensión de SolidWorks Simulation para estudiar la integridad estructural de los componentes.

Ejercicio de aprendizaje activo: Análisis de movimiento de un mecanismo de 4 barras

Use SolidWorks Motion Simulation para realizar el análisis de movimiento en el ensamblaje 4Bar.SLDASM mostrado a continuación. El eslabón verde tiene un desplazamiento angular de 45 grados en 1 segundo hacia la derecha y es necesario para determinar la velocidad angular y la aceleración del resto de eslabones como una función de tiempo. También calcularemos el momento de torsión necesario para inducir este movimiento como tema de debate en clase.

A continuación, se proporcionan instrucciones paso a paso.



Apertura del documento 4Bar.SLDASM

- 1 Haga clic en **File (Archivo)**, **Open (Abrir)**. En el cuadro de diálogo **Open (Abrir)**, busque el ensamblaje 4Bar.SLDASM situado en la subcarpeta correspondiente de la carpeta SolidWorks Curriculum_and_Courseware_2011 y haga clic en **Open (Abrir)** (o haga doble clic en la pieza).

Selección de SolidWorks Motion Add-In

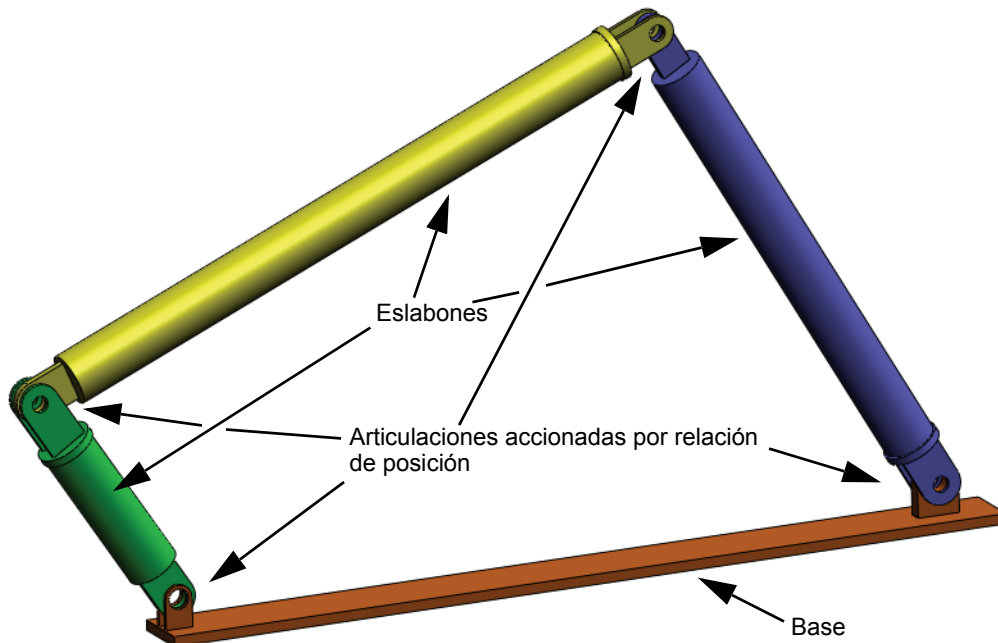
Asegúrese de que SolidWorks Motion Add-In esté activado.

Para ello:

- 1 Haga clic en **Tools (Herramientas)**, **Add-Ins (Complementos)**. Aparece el cuadro de diálogo **Add-Ins (Complementos)**.
- 2 Asegúrese de que las casillas de verificación junto a SolidWorks Motion estén marcadas.
- 3 Haga clic en **OK (Aceptar)**.

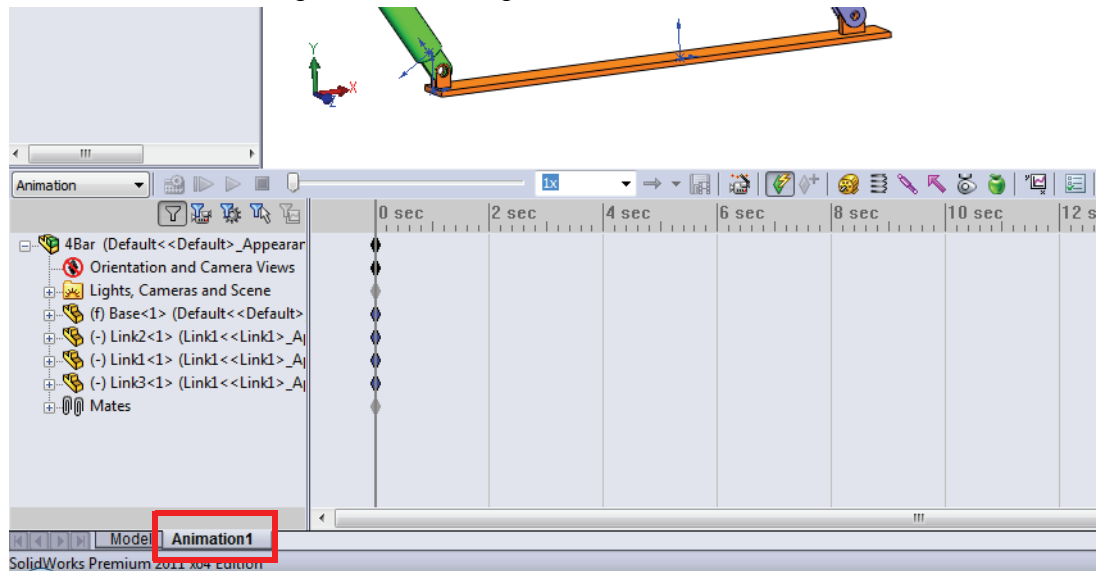
Descripción del modelo

Este modelo representa un mecanismo de eslabonamiento de 4 barras típico. La pieza base está fija y no se puede mover. Siempre permanece en horizontal y, en la vida real, está fijada al suelo. Los otros tres eslabones se conectan entre sí y a la base con pasadores. Los eslabones pueden girar sobre los pasadores en el mismo plano y se impide cualquier movimiento fuera del plano. Cuando modela este mecanismo en SolidWorks, creamos relaciones de posición para colocar las piezas en su lugar. SolidWorks Motion traslada automáticamente estas relaciones de posición en articulaciones internas. Cada relación de posición tiene varios grados de libertad asociados. Por ejemplo, una relación de posición concéntrica tiene únicamente dos grados de libertad (traslación y rotación sobre su eje). Para obtener más detalles acerca de las relaciones de posición y los grados de libertad que tienen, consulte la ayuda en línea de SolidWorks Motion Simulation.



Cambio a SolidWorks Motion Manager

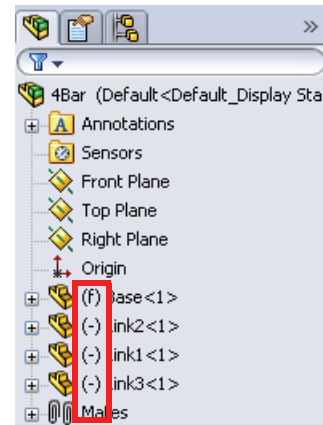
Cambie a SolidWorks Motion haciendo clic en la pestaña Animation1 (Animación 1) en la esquina inferior izquierda.



SolidWorks Motion obtiene el máximo beneficio de SolidWorks Animator y, por tanto, el aspecto que ofrece SolidWorksMotionManager es muy similar al de SolidWorks Animator.

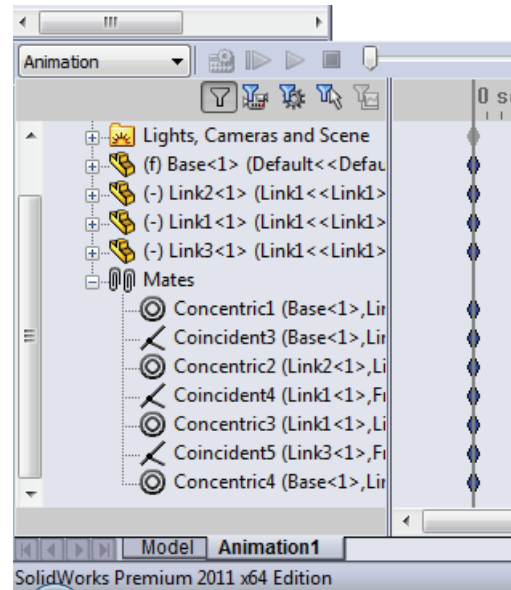
Componentes fijos y móviles

Los componentes fijos y móviles de SolidWorks Motion se determinan mediante su estado **Fix (Fijo)/Float (Flotante)** en el modelo de SolidWorks. En nuestro caso, el componente Base es fijo, mientras que los otros tres eslabones son móviles.



Creación automática de articulaciones internas a partir de SolidWorks Assembly Mates

El movimiento del mecanismo se define completamente mediante las relaciones de posición de SolidWorks.



Especificación del movimiento de entrada

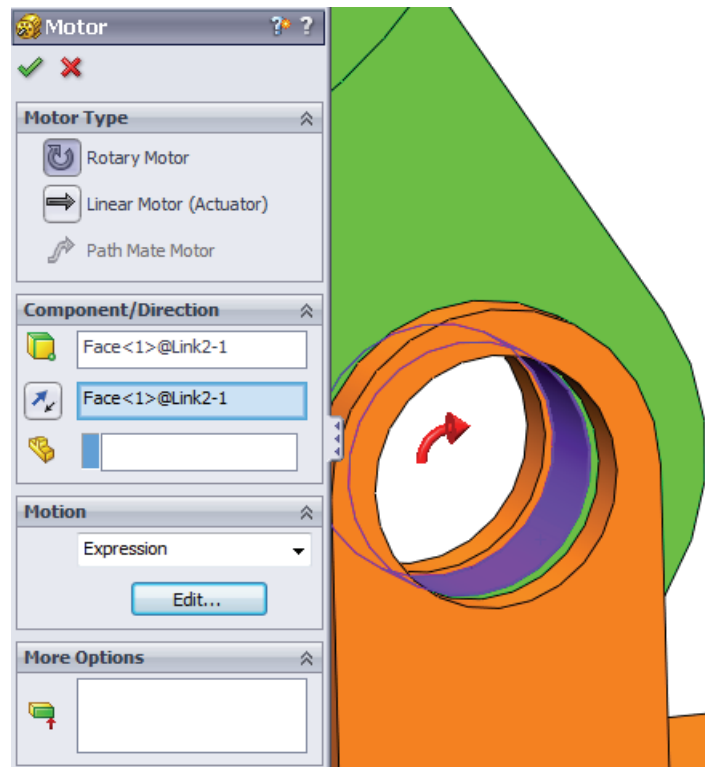
A continuación, definiremos un movimiento para uno de los eslabones. En este ejemplo, nos gustaría rotar el Link2 (Eslabón 2) 45 grados hacia la derecha con respecto a la Base. Para ello, impondremos un movimiento rotatorio al Link2 (Eslabón 2) en la ubicación de la relación de posición concéntrica que simula la conexión de pasador con la Base. Es necesario conseguir el desplazamiento angular en 1 segundo y usaremos una función gradual para garantizar que el Link2 (Eslabón 2) rota suavemente de 0 a 45 grados.

Haga clic en el icono **Motor**  para abrir el cuadro de diálogo **Motor**.

En **Motor Type (Tipo de motor)**, seleccione **Rotary Motor (Motor rotatorio)**.

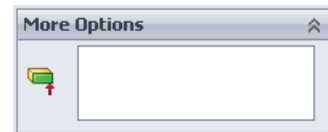
En **Component/Direction (Componente/Dirección)**, seleccione la cara cilíndrica del Link2 (Eslabón 2) conectada con pasador a la Base (consulte la figura) en ambos campos **Motor Direction (Dirección del motor)** y **Motor Location (Ubicación del motor)**. El motor se ubicará en el centro de la cara cilíndrica seleccionada.

En **Motion (Movimiento)**, seleccione **Expression (Expresión)** para abrir la ventana **Function Builder (Generador de funciones)**.



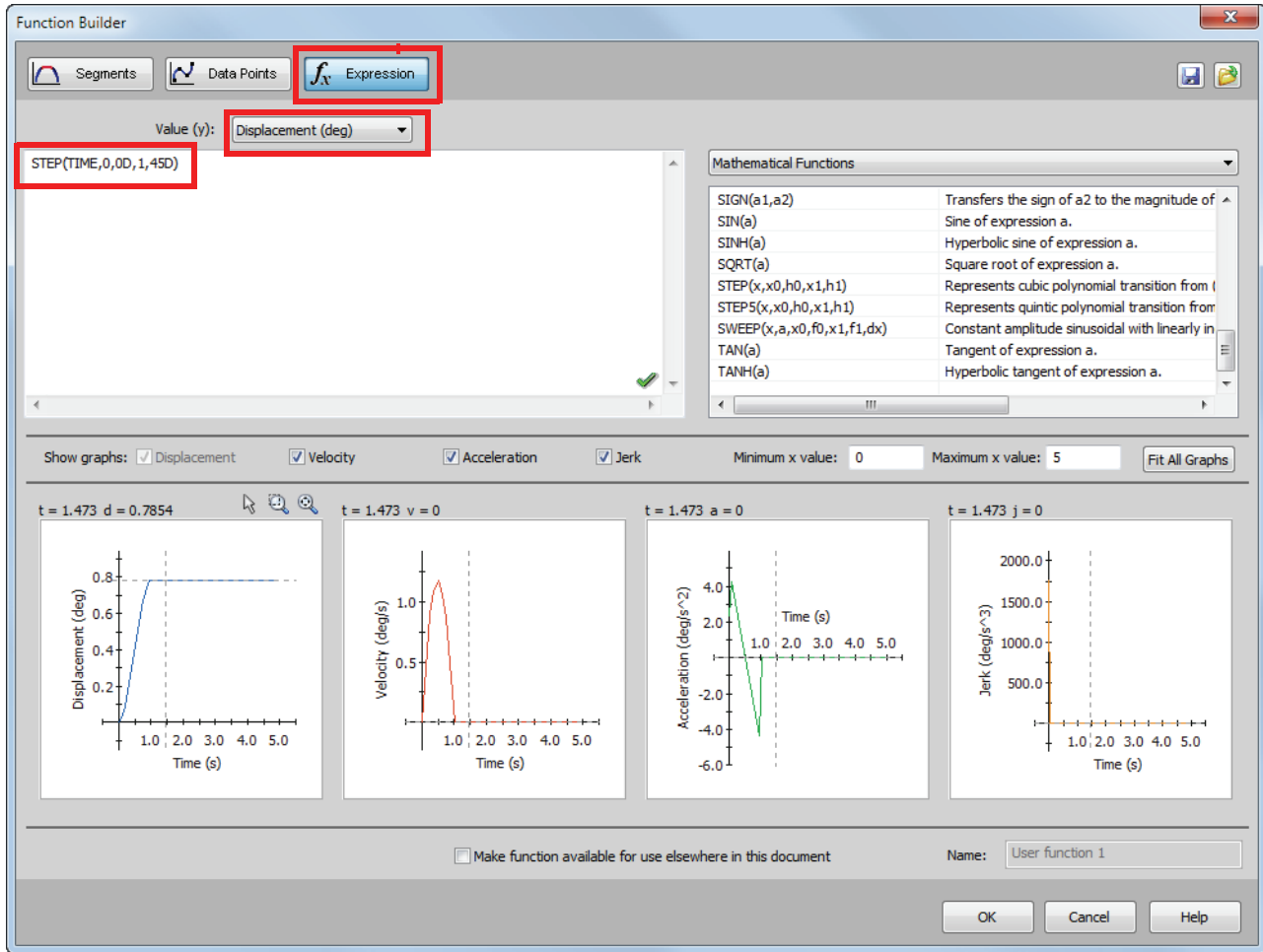
Nota: El último campo en el cuadro de diálogo de propiedades de **Component/Direction, Component to move relative to (Mover componente con respecto a)**, se utiliza para especificar el componente de referencia para la entrada del movimiento relativo. Como deseamos mover el Link2 (Eslabón 2) con respecto a la Base fija, este campo se dejará en blanco.

El último cuadro de diálogo de propiedades, **More Options (Más opciones)**, permite al usuario especificar las caras/aristas que soportan carga para la transferencia de las cargas de movimiento en el software de análisis de tensiones SolidWorks Simulation.



En la ventana **Function Builder**, seleccione **Displacement (deg)** [Desplazamiento (grados)] para **Value (y)** [Valor (y)] e introduzca **STEP(TIME,0,0D,1,45D)** en el campo **Expression Definition (Definición de expresión)**.

Nota: También puede hacer doble clic en **STEP(x,h0,x1,h1)** en la lista de funciones disponibles en el lado derecho de la ventana **Function Builder**.



Los gráficos en la parte inferior de la ventana **Function Builder** mostrarán la variaciones de los desplazamientos, las velocidades, las aceleraciones y la sobreaceleración

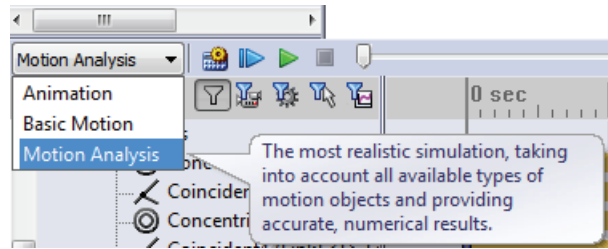
Haga clic en **OK** (Aceptar) dos veces para cerrar la ventana **Function Builder** y el PropertyManager **Motor**.

Tipo de análisis de movimiento

SolidWorks ofrece tres tipos de simulación de movimiento de ensamblajes:

- 1 **Animation (Animación)** es una simulación de movimiento simple que ignora las fuerzas, los contactos, las propiedades inerciales y otros aspectos de los componentes. Su uso resulta ideal para, por ejemplo, la verificación de las relaciones de posición o las animaciones básicas correctas.
- 2 **Basic Motion (Movimiento básico)** ofrece cierto nivel de realismo al tener en cuenta, por ejemplo, las propiedades inerciales de los componentes. Sin embargo, no reconoce las fuerzas aplicadas externamente.
- 3 **Motion Analysis (Análisis de movimiento)** es la herramienta de análisis de movimiento más completa que refleja las características de análisis necesarias, como las propiedades inerciales, las fuerzas externas, los contactos, la fricción en las relaciones de posición, etc.

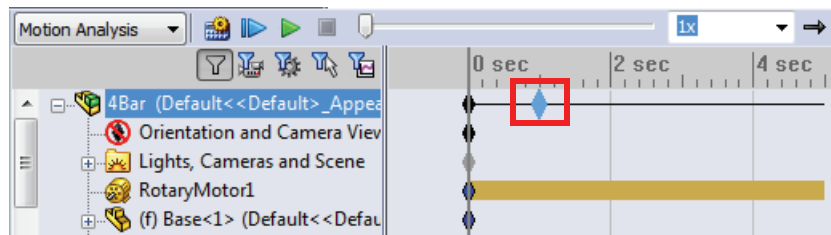
En **Type of Study (Tipo de estudio)** a la izquierda de SolidWorks MotionManager, seleccione **Motion Analysis (Análisis de movimiento)**.



Tiempo de simulación

La duración de la simulación de movimiento viene dada por la línea temporal más alta en SolidWorks MotionManager. Como SolidWorks Motion establece la duración predeterminada del análisis en 5 segundos, es necesario modificar este parámetro.

Mueva el marcador de tiempo final de la línea temporal más alta desde la ubicación de 5 segundos a la de 1 segundo.



Nota: Las teclas de zoom  le permiten ampliar o reducir la línea temporal.

Al hacer clic con el botón derecho del ratón en la tecla de línea temporal, puede introducir el tiempo de la simulación.

Ejecución de la simulación

En SolidWorks MotionManager, haga clic en el icono **Calculate (Calcular)** .

Observe la simulación de movimiento durante el cálculo.

Comprobación de resultados

Resultados absolutos en el sistema de coordenadas global

Primero vamos a trazar la velocidad angular y la aceleración para el Link1 (Eslabón 1).

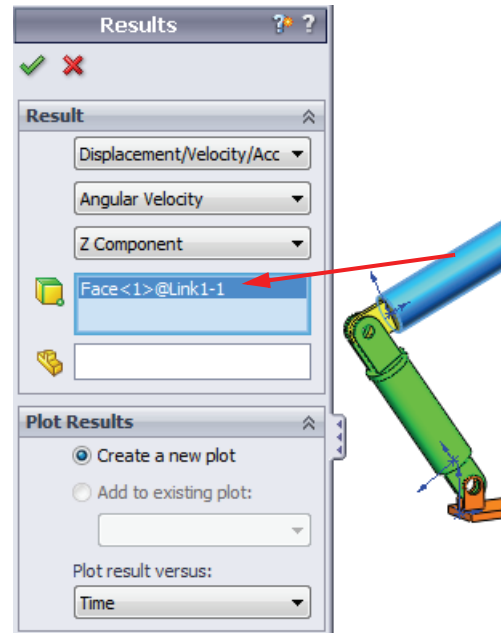
Haga clic en el icono **Results and Plots (Resultados y trazados)**  para abrir el cuadro de diálogo **Results (Resultados)**.

En **Results (Resultados)**, seleccione **Displacement/Velocity/Acceleration (Desplazamiento/Velocidad/Aceleración)**, **Angular Velocity (Velocidad angular)** y **Z Component (Componente Z)**.

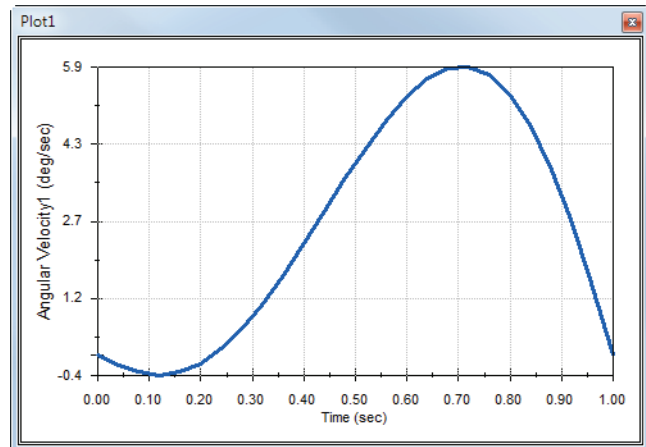
También en **Results (Resultados)**, seleccione **Link1 (Eslabón 1)**.

El campo **Component to define XYZ directions (optional) (Componente para definir direcciones XYZ [opcional])** se usa para hacer referencia a nuestros resultados de trazado con respecto al sistema de coordenadas de otro componente móvil. Para trazar los resultados en el sistema de coordenadas predeterminado en la figura, deje este campo vacío.

Haga clic en **OK (Aceptar)** para mostrar el trazado.

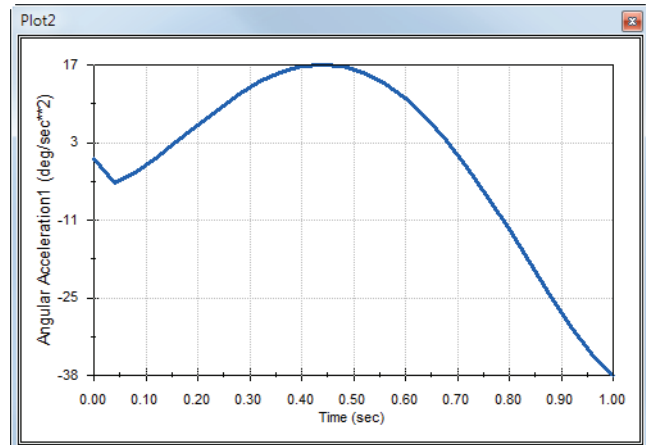


El trazado muestra la variación de la velocidad angular del centro de masa para el **Link1 (Eslabón 1)** como una función de tiempo.



Repita el procedimiento anterior para trazar el **Z Component (Componente Z)** de la **Angular Acceleration (Aceleración angular)** para el centro de masa del **Link1 (Eslabón 1)**.

En el sistema de coordenadas global, los resultados indican la velocidad y la aceleración angulares máximas de 6 grados/segundo y 38 grados/segundo², respectivamente.

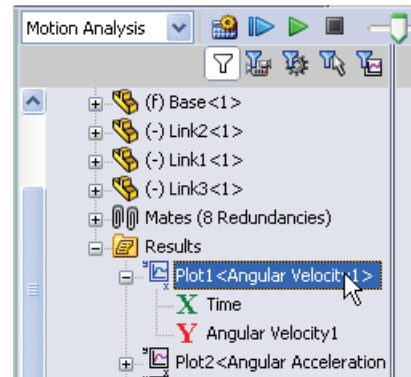


De forma similar, cree los trazados del **Z Component (Componente Z)** de velocidad y aceleración angulares en el centro de masa para el **Link2 (Eslabón 2)** y el **Link3 (Eslabón 3)**.

Almacenamiento y edición de trazados de resultados

Las características de trazados de resultados se almacenan en la nueva carpeta creada Results (Resultados) en la parte inferior de SolidWorksMotionManager.

Si hace clic con el botón derecho del ratón en cualquier característica del trazado, podrá ocultar y mostrar el trazado, así como editar sus ajustes.



Más sobre los Resultados

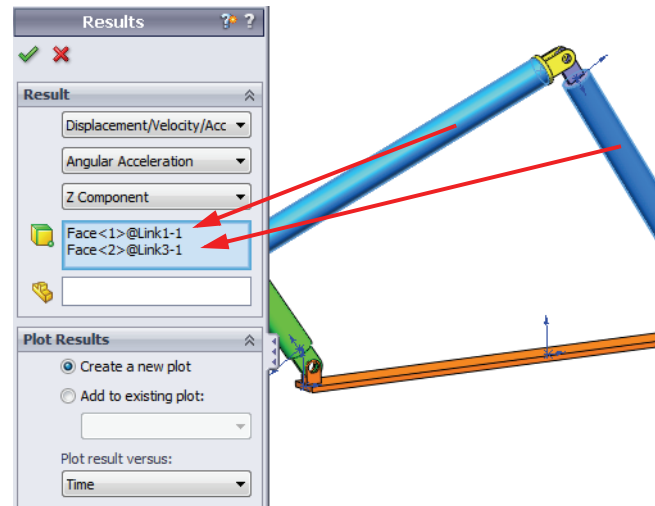
Resultados relativos en el sistema de coordenadas global

Tracemos el **Z Component (Componente Z)** de la aceleración angular relativa de Link1 (Eslabón 1) con respecto a Link3 (Eslabón 3).

Expanda la carpeta Results (Resultados). Asegúrese de que se muestre Plot2 (Trazado2). Haga clic con el botón derecho del ratón en Plot2 y seleccione **Edit Feature (Editar operación)**.

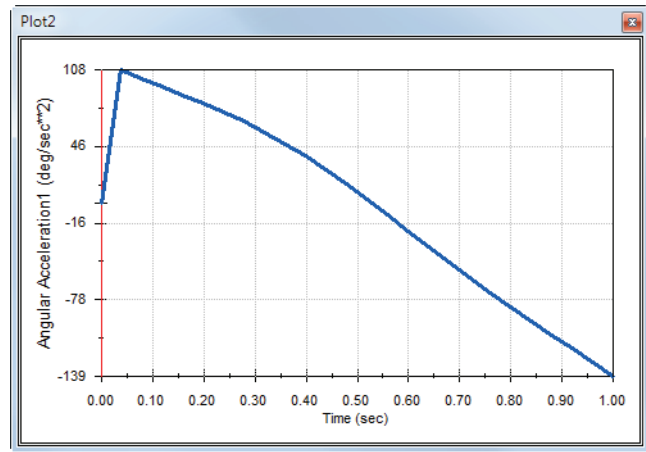
Seleccione Link3 (Eslabón 3) como el segundo componente en el campo **Select one or two part faces or one mate/simulation element to create results (Seleccione una o dos caras de la pieza o un elemento de relación de posición/simulación para crear resultados)**.

Haga clic en **OK (Aceptar)** para mostrar el trazado.



El trazado muestra la magnitud de la aceleración de Link1 (Eslabón 1) (su centro de masa) con respecto a Link3 (Eslabón 3) (sistema de coordenadas de la pieza). La aceleración relativa máxima es de 139 grados/segundo² en la dirección de rotación Z negativa.

Tenga en cuenta además que la variación de la aceleración cambió significativamente en comparación con el resultado individual de la aceleración absoluta de Link1 (Eslabón 1) anterior.



Nota: La dirección de rotación positiva puede determinarse utilizando la regla de la mano derecha. Apunte el pulgar de la mano derecha en la dirección del eje (en nuestro caso, sería el eje Z). Sus dedos mostrarán la dirección positiva para el componente Z de la rotación.

Resultados relativos en el sistema de coordenadas local

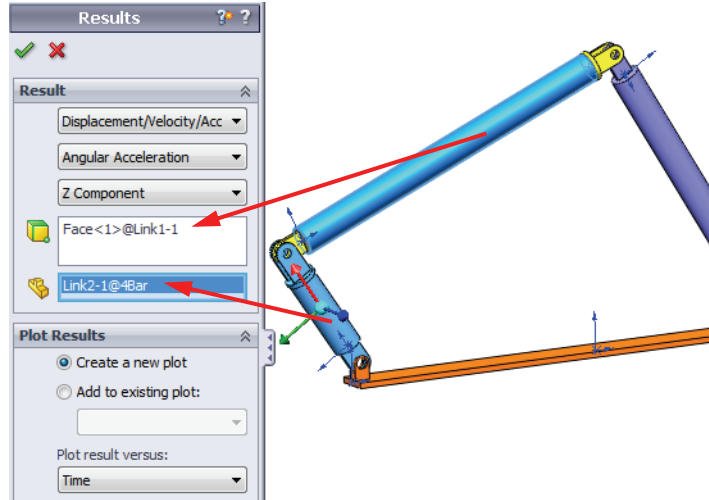
Transformemos el componente Z de la aceleración absoluta de Link1 (Eslabón 1) en el sistema de coordenadas local de Link2 (Eslabón 2).

Edite el trazado anterior, Plot2 y elimine Link3 del campo

Select one or two part faces or one mate/simulation element to create results (Seleccione una o dos caras de la pieza o un elemento de relación de posición/simulación para crear resultados).

Seleccione Link2 en el campo **Component to define XYZ directions (Componente para definir direcciones XYZ).**

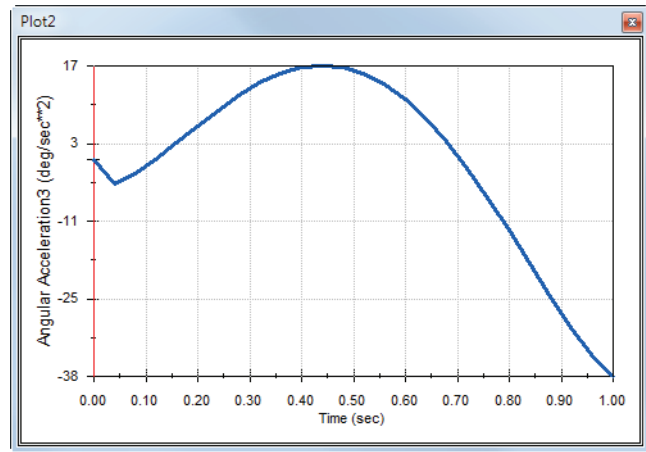
Haga clic en **OK (Aceptar)** para mostrar el trazado.



Nota: El sistema de referencia en el componente Link2 indica el sistema de coordenadas local de salida. Contrariamente al sistema de coordenadas global que es fijo, los sistemas de coordenadas locales pueden girar. En nuestro caso, el sistema de coordenadas local seleccionado girará porque el componente Link2 gira a medida que el mecanismo se mueve.

El componente Z máximo de aceleración absoluta de Link1 en el sistema de coordenadas local de Link2 es 38 grados/segundo² en la dirección de rotación Z negativa.

Al comparar este resultado absoluto en el sistema de coordenadas local con la aceleración absoluta en el sistema de coordenadas global, concluimos que son idénticos. Esto sucede porque los ejes Z en ambos sistemas están alineados.



Repita los pasos anteriores para seleccionar diversos componentes y sistemas de coordenadas locales.

Creación de una trayectoria

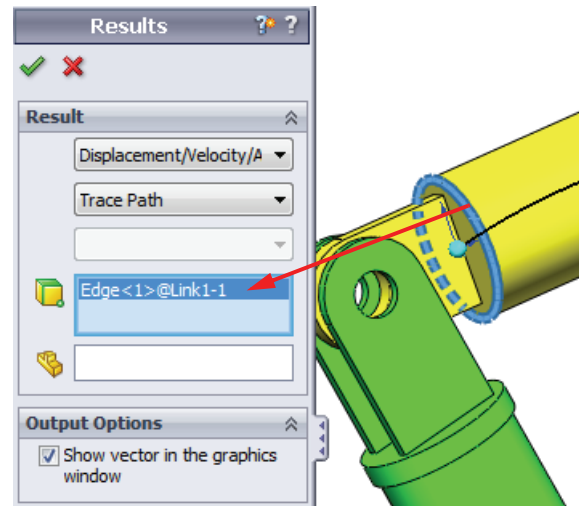
SolidWorks Motion le permite mostrar gráficamente el recorrido que sigue cualquier punto en una pieza móvil. A esto se le denomina trayectoria. Puede crear una trayectoria con respecto a cualquier sujeción o con respecto a cualquier componente móvil del ensamblaje. Crearemos una trayectoria para un punto situado en el componente Link1 (Eslabón 1).

Para crear una trayectoria, haga clic con el botón derecho del ratón en **Results and Plots (Resultados y trazados)**.

En el cuadro de diálogo **Results (Resultados)**, seleccione **Displacement/Velocity/Acceleration (Desplazamiento/Velocidad/Aceleración)** y **Trace Path (Trayectoria)**.

En el primer campo de selección, seleccione la arista circular en Link1 (Eslabón 1) para identificar el punto central del círculo. La esfera muestra de manera gráfica el centro del círculo.

Seleccione la casilla de verificación **Show vector in graphics window (Mostrar vector en ventana de gráficos)**.

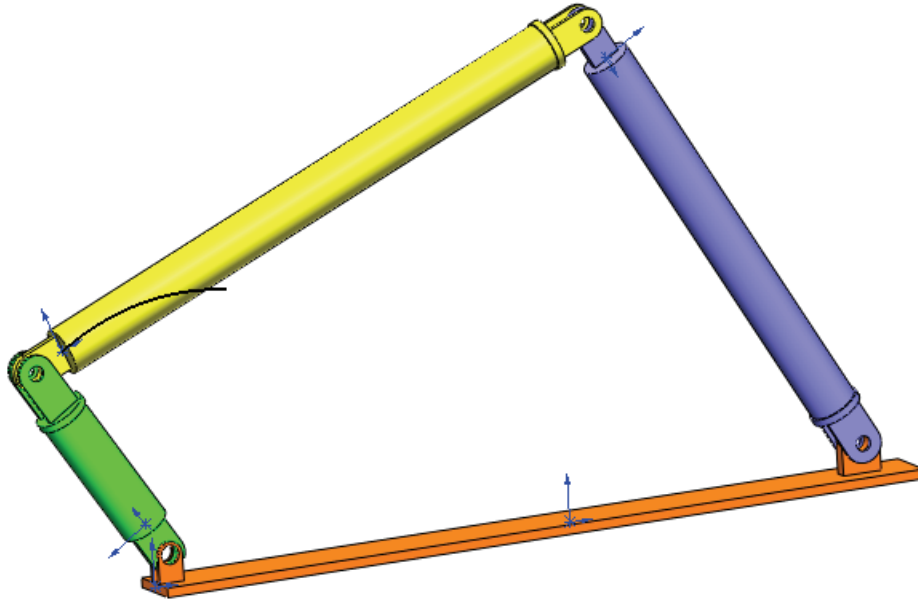


El recorrido aparecerá entonces en la pantalla como una curva negra.

Nota: La trayectoria resultante se muestra de forma predeterminada con respecto al suelo fijo. Para mostrar la trayectoria con respecto a otro componente móvil, se tendría que seleccionar este componente de referencia como un segundo elemento en el mismo campo de selección.

Haga clic en **OK (Aceptar)** para cerrar el cuadro de diálogo **Results (Resultados)**.

Reduzca la vista con el zoom para ver el modelo completo y pulse **Play** para reproducir la simulación.



Esto completa su primera simulación de SolidWorks Motion.

Evaluación de cinco minutos: Respuestas

1. ¿Cómo inicia una sesión de SolidWorks Motion?

Respuesta: En la barra de tareas de Windows, haga clic en **Start (Inicio), Programs (Programas), SolidWorks, SolidWorks Application (Aplicación SolidWorks)**. Se inicia la aplicación SolidWorks. Haga clic en la pestaña SolidWorks Motion Manager (de forma predeterminada denominada *Animation1 (Animación 1)*) en la parte inferior de la ventana de documentos de SolidWorks.

2. ¿Cómo activa SolidWorks Motion Add-In?

Respuesta: Haga clic en **Tools (Herramientas), Add-Ins (Complementos)**, marque **SolidWorks Motion** para seleccionarlo, y haga clic en **OK (Aceptar)**.

3. ¿Qué tipos de simulaciones de movimiento se encuentran disponibles en SolidWorks?

Respuesta: SolidWorks incluye tres tipos de simulaciones de movimientos: Animación, movimiento básico y análisis de movimiento.

4. ¿Qué es un análisis?

Respuesta: Un análisis es un proceso para simular el modo en que funciona un diseño en el campo.

5. ¿Por qué es importante un análisis?

Respuesta: El análisis puede ayudarle a diseñar productos mejores, más seguros y más económicos. Le ahorra tiempo y dinero al reducir ciclos de diseños tradicionales y caros.

6. ¿Qué calcula el análisis de SolidWorks Motion?

Respuesta: El análisis de Motion calcula los desplazamientos, las velocidades, las aceleraciones y las fuerzas de reacción en su modelo cuando se mueve.

7. ¿SolidWorks Motion supone que las piezas son rígidas o flexibles?

Respuesta: SolidWorks Motion sólo realiza análisis de cuerpos rígidos y, por tanto, supone que todas las piezas son completamente rígidas.

8. ¿Por qué es importante un análisis de movimiento?

Respuesta: El análisis de Motion le puede decir qué tan seguro y económico es su diseño con estas condiciones de funcionamiento.

9. ¿Cuáles son los pasos principales para realizar un análisis de movimiento?

Respuesta: Los pasos principales son: Creación del mecanismo en SolidWorks (creación de relaciones de posición), aplicación de movimiento en la pieza de accionamiento, ejecución de la simulación y visualización de los resultados.

10. ¿Qué es una trayectoria?

Respuesta: Una trayectoria es un recorrido que sigue cualquier punto de una pieza móvil.

11. ¿Las relaciones de posición de SolidWorks se usan en el modelo de SolidWorks Motion?

Respuesta: Sí. Las relaciones de posición de SolidWorks se usan para crear automáticamente articulaciones internas en SolidWorks Motion. Por tanto, las relaciones de posición definen el movimiento del mecanismo simulado.

Debate en clase: Cálculo del momento de torsión necesario para accionar el mecanismo de cuatro barras

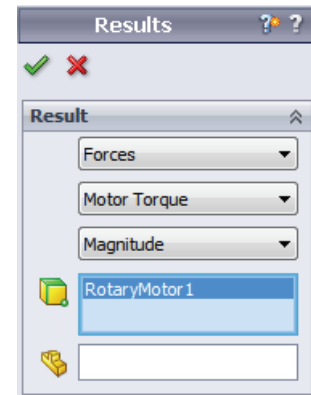
Pregunte a un estudiante cómo se ha proporcionado movimiento angular al eslabón de accionamiento del mecanismo de 4Bar (Cuatro barras). A menudo estos mecanismos están accionados por motores. Un parámetro importante en la definición del tamaño del motor es el momento de torsión que este genera y que es una de las cantidades resultantes estándar en SolidWorks Motion. Si encontramos este momento de torsión, podremos elegir el motor adecuado para la aplicación.

¿Cómo se calcula el momento de torsión a partir de SolidWorks Motion?

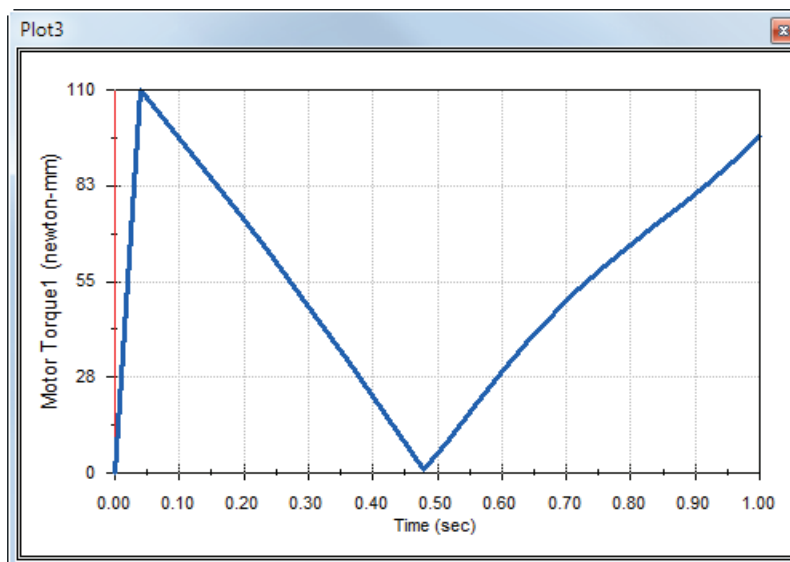
Respuesta

Haga clic en el icono **Results and Plots (Resultados y trazados)** para abrir el cuadro de diálogo **Results (Resultados)**.

Especifique **Forces (Fuerzas)**, **Motor Torque (Momento de torsión del motor)**, **Magnitude (Magnitud)** y seleccione la característica **RotaryMotor1 (Motor rotatorio 1)** que acciona el mecanismo (en este ejemplo, dimos al Link2 (Eslabón 2) una velocidad angular de 45 grados en 1 segundo).



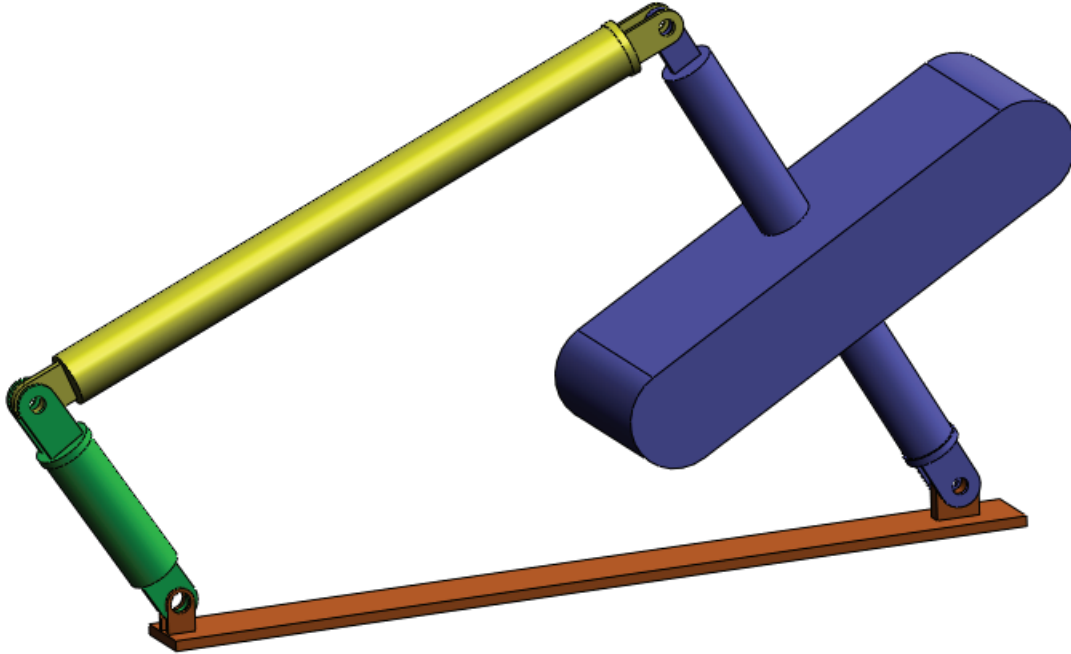
Haga clic en **OK (Aceptar)** para generar el trazado.



El momento de torsión necesario es de unos 110 N-mm.

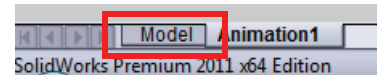
Investigación adicional: Modificación de la geometría

Pida a los estudiantes que cambien la geometría del Link3 (Eslabón 3) para que el mecanismo 4Bar (Cuatro barras) se parezca al que se muestra en la imagen siguiente. Ahora pídale que usen SolidWorks Motion para calcular el nuevo momento de torsión necesario para accionar este mecanismo. Use la misma entrada de velocidad angular uniforme de 45 grados/segundos. ¿El nuevo momento de torsión de accionamiento será mayor o menor? ¿Por qué?



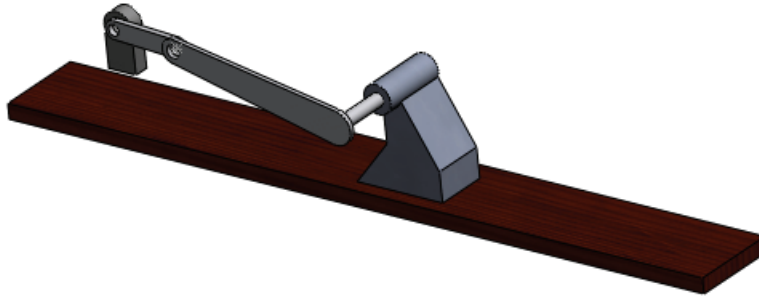
Respuesta

- 1 Haga clic en la pestaña **Model (Modelo)** en la parte inferior de la ventana de documentos de SolidWorks.
- 2 Abra la pieza Link3 (Eslabón 3).
- 3 **Anule la supresión de** la operación Extrude5 (Extruir 5) del árbol de operaciones de SolidWorks.
- 4 Guarde la pieza Link3 (Eslabón 3) y cierre la pieza.
- 5 Cuando llegue al ensamblaje 4Bar, verá el ensamblaje nuevo y actualizado. (Tenga en cuenta que cuando se le pregunte si desea actualizar el ensamblaje, debe seleccionar Sí.)
- 6 Ahora vaya a SolidWorks Motion (en nuestro caso, haga clic en la pestaña Animation1 (Animación 1) en la parte inferior de la carpeta de documentos de SolidWorks). Observe que se mantienen todas las relaciones de posición. Asegúrese de que el movimiento angular del Link2 (Eslabón 2) sea el mismo.
- 7 Haga clic en el icono **Calculate (Calcular)**.
- 8 Trace el momento de torsión y determine la nueva magnitud necesaria.
El momento de torsión de accionamiento necesario ahora es mayor porque el Link3 (Eslabón 3) es más pesado y necesita un mayor momento de torsión para accionar el mecanismo.



Ejercicios y proyectos: Mecanismo de biela-manivela

Ahora verá cómo usar SolidWorks Motion para simular un mecanismo de biela-manivela. El objetivo es calcular la velocidad y la aceleración del centro de masa de la pieza reciprocante.



Tareas

- 1 Abra SliderCrank.sldasm situado en la subcarpeta correspondiente de la carpeta SolidWorks Curriculum_and_Courseware_2011 y haga clic en **Open (Abrir)** (o haga doble clic en la pieza).

Este modelo representa un mecanismo de biela-manivela, donde el movimiento rotatorio de la manivela se transforma en un movimiento de traslación reciprocante de la biela. La manivela rota con una velocidad uniforme de 360 grados por segundo.

- 2 Revise las piezas fijas y móviles del ensamblaje.

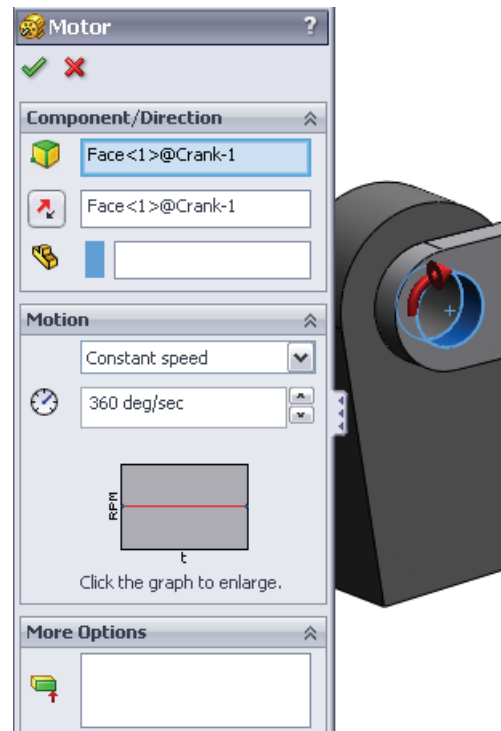
Respuesta: Las piezas fijas de SolidWorks también se consideran fijas en SolidWorks Motion. En nuestro caso, Ground (Suelo) y BasePart (Pieza base) son piezas fijas y los demás componentes son móviles.

- 3 Indique una velocidad de rotación uniforme de **360 deg/sec (360 grados/segundo)** para Crank (Manivela). Asegúrese de que el movimiento se especifique en la ubicación del pasador de BasePart (Pieza base)/Crank (Manivela). [Puede especificar **360 deg/sec (360 grados/segundo)** directamente en el campo **Motor speed (Velocidad del motor)**. A continuación, SolidWorks Motion convierte el valor a rpm].

Respuesta: Haga lo siguiente.

- Haga clic con el botón derecho del ratón en el icono **Motor** para abrir el cuadro de diálogo **Motor**.

- En **Motor Type (Tipo de motor)**, seleccione **Rotary Motor (Motor rotatorio)**.
- En **Component/Direction (Componente/ Dirección)** seleccione la cara cilíndrica para los campos **Motor Location (Ubicación del motor)** y **Motor Direction (Dirección del motor)**, como se muestra en la figura.
- En **Motion (Movimiento)**, seleccione **Constant Speed (Velocidad constante)** y especifique **360 deg/sec (360 grados/ segundo)**.
- Haga clic en **OK (Aceptar)**.



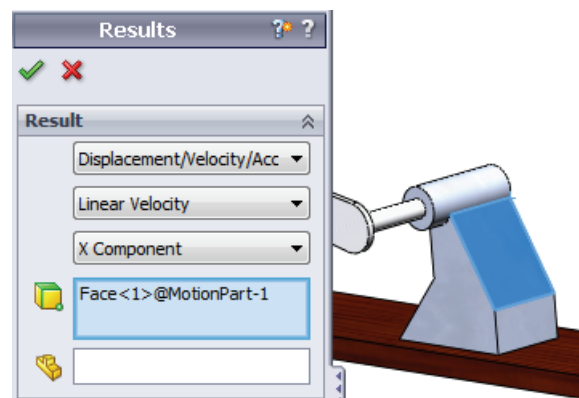
4 Ejecute la simulación.

Respuesta: En SolidWorks MotionManager, haga clic en el icono **Calculate (Calcular)**. Asegúrese de que el campo **Type of Study (Tipo de estudio)** esté establecido en **Motion Analysis (Análisis de movimiento)**.

5 Determine la velocidad y la aceleración de la MovingPart (Pieza móvil).

Respuesta: Haga lo siguiente:

- Haga clic en el icono **Results and Plots (Resultados y trazados)** para abrir el cuadro de diálogo **Results (Resultados)**.
- Seleccione **Displacement/Velocity/ Acceleration (Desplazamiento/ Velocidad/Aceleración)**, **Linear Velocity (Velocidad lineal)** y **X Component (Componente X)**.
- Seleccione cualquier cara de la MovingPart (Pieza móvil).



- Haga clic en **OK (Aceptar)** para generar el trazado.

De forma similar, genere el trazado para el componente X de la aceleración.

Hoja de vocabulario de la lección 1: Respuestas

Nombre: _____ Clase: _____ Fecha: _____

Instrucciones: Complete los espacios en blanco con las palabras adecuadas.

1. Secuencia de creación de un modelo en SolidWorks, fabricación y prueba de un prototipo: **ciclo de diseño tradicional**
2. El método usado por SolidWorks Motion para realizar un análisis de movimiento: **dinámica y cinemática de cuerpos rígidos**
3. La entidad que conecta dos piezas y rige el movimiento relativo entre dos piezas: **relaciones de posición**
4. ¿Cuántos grados de libertad tiene un cuerpo libre? : **Un cuerpo libre tiene seis grados de libertad (tres traslaciones y tres rotaciones)**
5. ¿Cuántos grados de libertad tiene una relación de posición concéntrica? : **Una relación de posición concéntrica tiene dos grados de libertad (rotación sobre su eje y traslación a lo largo de su eje)**
6. ¿Cuántos grados de libertad tiene una sujeción? : **Cero. Una sujeción no puede trasladar ni rotar en ninguna dirección**
7. Un recorrido que sigue cualquier punto en una pieza móvil: **trayectoria**
8. La trayectoria de un cilindro recíprocante con respecto al suelo representa: **una línea recta**
9. Los tipos de movimiento que se pueden dar a una relación concéntrica: **aceleraciones, velocidades y desplazamientos angulares y de traslación**
10. En SolidWorks Motion, el movimiento de engranajes se puede simular usando: **relaciones de posición de engranajes**
11. Un mecanismo que se usa para transformar movimiento rotatorio en movimiento recíprocante: **relación de posición de cremallera y piñón**
12. La relación del momento de torsión resultante ejercido por el eslabón accionado con el momento de torsión de entrada necesario en el accionador: **ventaja mecánica**

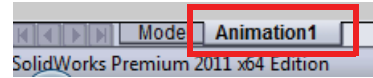
Cuestionario de la lección 1: Respuestas

Nombre: _____ Clase: _____ Fecha: _____

Instrucciones: Responda a cada pregunta escribiendo la respuesta o respuestas correctas en el espacio proporcionado.

1. ¿Cómo cambia entre SolidWorks Motion Manager y SolidWorks Feature Manager?

Respuesta: Haga clic en la pestaña Model (Modelo) o Animation1 (Animación 1) en la esquina inferior izquierda de la carpeta de documentos de SolidWorks.



2. ¿Qué tipo de análisis de movimiento puede realizar SolidWorks Motion?

Respuesta: Análisis de dinámica y cinemática de cuerpos rígidos

3. ¿Cómo crea SolidWorks Motion automáticamente articulaciones internas?

Respuesta: Las articulaciones internas de SolidWorks Motion se crean automáticamente a partir de relaciones de posición de SolidWorks.

4. ¿Cómo asigna movimiento a una pieza?

Respuesta: Haga clic con el botón derecho del ratón en el icono **Motor** para abrir el cuadro de diálogo **Motor**. En el cuadro de diálogo, puede asignar desplazamiento, velocidad y aceleración a la pieza seleccionada.

5. Si deseo asignar un movimiento rotatorio a una pieza suavemente con un tiempo determinado, ¿cómo debería asignar el movimiento?

Respuesta: El movimiento se asigna como una función gradual con relación al tiempo dado.

6. ¿Cuántos grados de libertad tiene una relación de posición coincidente punto a punto?

Respuesta: Una relación coincidente punto a punto tiene tres grados de libertad (rotación sobre los ejes X, Y y Z)

7. ¿Qué es una trayectoria?

Respuesta: Un recorrido que sigue cualquier punto en la pieza móvil.

8. Nombre una aplicación de trayectoria.

Respuesta: Las trayectorias se pueden usar para generar un perfil de LEVA.

Resumen de la lección

- ❑ SolidWorks Motion es un software de análisis de diseño (cinemática y dinámica) completamente integrado en SolidWorks.
- ❑ El análisis del diseño puede ayudarle a diseñar productos mejores, más seguros y más económicos.
- ❑ SolidWorks Motion supone que todos los componentes son cuerpos rígidos.
- ❑ SolidWorks Motion crea automáticamente articulaciones internas a partir de las relaciones de posición de SolidWorks.
- ❑ SolidWorks Motion puede crear una trayectoria en cualquier punto de un cuerpo móvil con respecto a cualquier otro cuerpo en el ensamblaje.
- ❑ Los pasos para realizar el análisis en SolidWorks Motion son:
 - Cree el ensamblaje de SolidWorks.
 - Fije la pieza con base en el suelo en el ensamblaje de SolidWorks.
 - Las juntas se crean automáticamente a partir de las relaciones de posición.
 - Aplique movimiento a las piezas.
 - Ejecute la simulación.
 - Analice los resultados.