

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Elaboración de prototipos virtuales de mecanismos de barras y simulación dinámica utilizando la aplicación Autodesk Inventor Professional 2008.

Trabajo Profesional presentado por Diego Américo Zapparolli Zetina
para optar al grado de Ingeniero Mecánico.

Guatemala

2007

Elaboración de prototipos virtuales de mecanismos de barras y simulación dinámica utilizando la aplicación Autodesk Inventor Professional 2008.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Elaboración de prototipos virtuales de mecanismos de barras y simulación dinámica utilizando la aplicación Autodesk Inventor Professional 2008.

Trabajo Profesional presentado por Diego Américo Zapparolli Zetina
para optar al grado de Ingeniero Mecánico.

Guatemala

2007

Vo.Bo.

Ing. Sara Espinosa Orantes
Asesora

Terna Examinadora:

Ing. Joaquín Garóz
Examinador

Ing. Jorge Mario Rodas
Examinador

Ing. Sara Espinosa Orantes
Asesora

PREFACIO

Uno de los motivos que me llevaron a realizar este trabajo fue la importancia de la ciencia de la mecánica en el desarrollo tecnológico de la humanidad. Se puede estudiar la historia de la humanidad a través de los instrumentos, herramientas y maquinaria que se han construido para diferentes propósitos: buscar el alimento a través de la caza, mejorar los procesos agrícolas, fabricar vestimenta adecuada a la región, construir vivienda y edificios, enfrentar al enemigo en la guerra, transportar, navegar, producir un determinado bien o servicio, etc. También me motivó el hecho de que todavía hay espacio para experimentar con nuevas ideas y que la sociedad guatemalteca puede aprovechar el conocimiento ya existente sobre la ciencia de la mecánica y utilizarla para crear o modificar tecnología, de tal manera que el resultado esté a su alcance económico y social, y su desarrollo sea sostenible.

Este trabajo busca introducir al lector en la resolución de problemas de mecanismos de maquinaria a través de programas informáticos que permiten visualizar, simular y obtener resultados antes de construir costosos prototipos o modelos reales. Existen diferentes opciones a elegir sobre el tipo de programa informático pero para este trabajo utilicé Autodesk Inventor Professional 2008 porque está disponible en la Universidad del Valle de Guatemala y porque actualmente se imparte un curso dentro del p nsum de la carrera de Ingeniería Mecánica que se basa en el mismo programa.

Finalmente, espero que este trabajo motive a otros estudiantes y diseñadores a publicar su conocimiento y compartirlo con el afán de colaborar con la construcción de una mejor sociedad de ingeniería aplicada en Guatemala y el mundo entero.

RESUMEN

Este trabajo es una guía para la resolución de problemas de mecanismos a través de la construcción de prototipos CAD (Computer Aided Design) y su contenido está distribuido en tres partes fundamentales: La primera es una referencia teórica a los conceptos de dinámica y mecanismos más importantes. La segunda es una referencia práctica al programa Inventor Professional 2008 con los procedimientos más importantes en la resolución de problemas de simulación dinámica. Finalmente, la tercera consiste en la resolución de un ejemplo de mecanismo.

ÍNDICE

PREFACIO.....	vi
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE.....	viii
LISTA DE PROCEDIMIENTOS.....	x
LISTA DE GRÁFICOS.....	x

I.INTRODUCCIÓN.....	1
II.FUNDAMENTOS DE MECANISMOS.....	2
A.Cinemática y cinética.....	2
B.Mecanismos y máquina.....	2
III.FUNDAMENTOS DE CINEMÁTICA.....	4
A.Movimiento de mecanismos.....	4
1.Trayectoria.	4
2.Dirección y sentido.....	4
B.Tipos de movimiento	4
1.Rotación alrededor de un eje fijo.	5
2.Traslación.	5
3.Movimiento plano.	5
4.Movimiento con respecto a un punto fijo.	5
5.Movimiento complejo.	5
6.Movimiento uniforme (plano o de rotación).	5
7.Movimiento uniformemente acelerado o retardado.	6
8.Movimiento armónico simple.	6
9.Movimiento combinado.	6
IV.FUNDAMENTOS DE CINÉTICA.....	7
A.Leyes de Newton.....	7
B.Momento inercial.....	7
C.Principio de d'Alembert.....	8
V.CONSIDERACIONES SOBRE MECANISMOS.....	9
A.Grados de libertad.....	9
B.Eslabones, uniones y cadenas cinemáticas.....	9
1.Eslabón.	9
2.Junta o unión.	9
3.Cierre de forma y de fuerza.	10
4.Orden de la unión.	10
5.Manivela.	10
6.Balancín.	10
7.Biela o acoplador.	10
8.Fijador o elemento fijo.	10
9.Cadena cinemática.	10

C.Determinación del grado de libertad.....	11
D.Diferencia entre mecanismos y estructuras.....	12
VI.TIPOS DE MECANISMOS.....	13
A.Mecanismos de cuatro eslabones o barras.....	13
1.Condición de Grashof.	13
2.Mecanismos de cinco y seis eslabones o barras.	14
B.Curvas de acoplador.....	14
VII.MECANISMOS UTILIZADOS EN LA MAQUINARIA.....	15
A.Mecanismo de manivela-balancín.....	15
B.Mecanismo de manivela-corredera.....	16
C.Mecanismos para movimiento de línea recta.....	17
D.Mecanismos de retorno rápido.....	20
VIII.ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS VIRTUALES DE MECANISMOS.....	21
A.Introducción a Inventor Professional 2008	21
B.Módulo de parte.....	22
C.Módulo de ensamble.....	22
D.Modelos paramétricos.....	22
IX.PROCEDIMIENTOS PARA LA SÍNTESIS DE MECANISMOS EN AIP 2008	
.....	26
X.SIMULACIÓN DINÁMICA DE MECANISMOS SELECCIONADOS.....	45
A.Limitaciones de la simulación dinámica.....	45
B.Alcances de la simulación dinámica.....	45
C.Mecanismo típico de manivela-balancín.....	46
1.Vista del ensamble.....	47
2.Introducción de condiciones iniciales.....	47
3.Ver resultados en datos y gráficas.	49
XI.CONCLUSIONES.....	56
XII.RECOMENDACIONES.....	57
XIII.BIBLIOGRAFÍA.....	58

LISTA DE PROCEDIMIENTOS

1	PROCEDIMIENTO GENERAL	37
1.1	RECOPILAR INFORMACIÓN DE DISEÑO	36
1.2	MODELAR CADA UNO DE LOS ESLABONES	37
1.3	ENSAMBLAR CONJUNTO DE ESLABONES	38
1.4	REALIZAR ANÁLISIS EN SIMULACIÓN DINÁMICA	39
1.2.1	CREAR NUEVO ARCHIVO DE PARTE	40
1.2.2	HACER SKETCH	41
1.2.3	APLICAR "FEATURES"	42
1.2.4	APLICAR PROPIEDADES	43
1.3.1	CREAR NUEVO ARCHIVO DE ENSAMBLE (.IAM)	44
1.3.2	COLOCAR ESLABON FIJO	45
1.3.3	COLOCAR ESLABONES MÓVILES	46
1.3.4	APLICAR RESTRICCIONES DE ENSAMBLE	47
1.4.1	ACTIVAR SIMULACIÓN DINÁMICA	48
1.4.2	INTRODUCIR CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	50
1.4.3	ANALIZAR PUNTOS DE INTERÉS	51
1.4.4	GUARDAR CAMBIOS O EXPORTAR	52

LISTA DE GRÁFICOS

Mecanismo Manivela-Balancín.....	15
Equipo de Entrenamiento Personal: Elíptica.....	15
Mecanismo Manivela-Corredera.....	16
Modelo de motor de Combustión Interna.....	16
Mecanismo de línea recta de Watt.....	17
Vista de suspensión trasera de vehículo.....	17
Mecanismo de línea recta de Chebyshev.....	18
Mecanismo de Peaucellier.....	19
Mecanismo de retorno rápido	20
Mortajadora Horizontal.....	20
Unión esférica.....	23
Union plano con plano.....	23
Union un punto y línea.....	23
Unión línea y un plano.....	23
Unión un punto y plano.....	23

Unión espacial.....	23
Unión de soldadura.....	23
Unión de revolución.....	23
Unión de engrane y cremallera.....	24
Unión de engrane y piñón.....	24
Unión de engrane interno.....	24
Unión de engrane cónico en ángulo.....	24
Unión leva seguidor de rueda que gira.....	24
Unión de engrane cónico a 90°.....	24
Unión de faja.....	24
Unión tangente a superficie cónica.....	24
Unión de rosca.....	25
Unión de engrane tornillo sin fin.....	25
Unión de rueda sin giro que desliza respecto a un plano.....	25
Unión de ruedas que deslizan entre sí.....	25
Unión de rueda interna que desliza en superficie cilíndrica.....	25
Unión de leva seguidor que desliza.....	25
Unión de leva sobre una trayectoria.....	25
Unión de contacto bidimensional.....	25
Unión de resorte.....	25
Unión de contacto tridimensional.....	25
Trazar líneas para formar sketch.....	33
Agregar dimensiones a sketch.....	33
Trazar círculos para formar sketch.....	33
Vista lateral de eslabón manivela.....	34
Vista isométrica de eslabón para aplicar agujero.....	34
Vista isométrica de eslabón manivela.....	34
Propiedades de la pieza.....	35
Vista frontal de eslabón fijo.....	37
Vista isométrica de todos los eslabones de mecanismo.....	38
Unión manivela-fijo.....	39
Unión manivela-acoplador.....	39
Unión acoplador-balancín.....	39
Unión Balancín-Fijo.....	39
Vista frontal de mecanismo.....	39
Mecanismo articulado.....	39
Menú de Simulación Dinámica.....	40
Menú de condiciones de la simulación dinámica.....	41
Menú expandido de condiciones de simulación dinámica.....	42
Aplicación del movimiento impuesto a la manivela.....	42
Vista que integra datos y gráfica de simulación dinámica.....	43
Resultados de análisis por elementos finitos de pasador.....	44
Mecanismo ejemplo de Manivela-Balancín.....	46
Vista isométrica de ejemplo Manivela-Balancín.....	47
Aplicación del valor de gravedad al sistema.....	47
Aplicación del movimiento impuesto.....	48

Datos de posición, velocidad, aceleración y torque motriz.....	49
Manivela: Posición Vrs. Tiempo.....	50
Manivela: Velocidad vrs. Tiempo.....	50
Manivela: Aceleración vrs. Tiempo.....	51
Manivela: Par motriz vrs. Tiempo.....	51
Trayectorias del acoplador.....	52
Unión manivela acoplador: Posición vrs. Tiempo.....	52
Unión manivela-acoplador: Velocidad vrs. Tiempo.....	53
Unión manivela-acoplador: Aceleración vrs. Tiempo.....	53
Unión manivela-acoplador: Fuerza vrs. Tiempo.....	54
Propiedad de la curva para encontrar mediana, máximo y mínimo.....	54
Máximo y mínimo de fuerzas.....	55

I. INTRODUCCIÓN

Para analizar el comportamiento de los mecanismos, la ciencia de la Mecánica utiliza los conceptos de dinámica, que a su vez se subdivide en cinemática y cinética aplicada a cuerpos rígidos. La cinemática se encarga de estudiar el movimiento de los cuerpos sin considerar la masa de los mismos, asumiendo que su comportamiento es similar al de una partícula; la cinética toma en cuenta la masa de los objetos para determinar las fuerzas que actúan sobre las uniones y cualquier punto dentro de los objetos. A partir de la dinámica de los cuerpos rígidos y las propiedades del material es posible determinar la resistencia de los cuerpos ante tales condiciones de funcionamiento. Existen muchas técnicas para la síntesis de mecanismos, desde modelos teórico-matemáticos hasta la construcción real de un modelo a escala y mediciones de laboratorio. El primero requiere un alto grado de habilidad matemática para realizar modelos teóricos y de igual manera deben suponerse situaciones para aproximarse a la realidad; el segundo requiere grandes inversiones de tiempo y dinero que afecta directamente el precio y tiempo de lanzamiento de los productos.

Es por eso que en este trabajo se introduce un programa conocido como Autodesk Inventor Professional 2008, que se encuentra disponible a nivel comercial y educativo, y en el cual se realizarán prototipos virtuales con condiciones de simulación dinámica.

Para aplicar las funcionalidades del programa referente a la construcción y simulación de prototipos de mecanismos se establecerán procedimientos y se presentarán ejemplos con el objetivo de guiar al lector en el uso del programa en esta aplicación en particular.

Finalmente se obtendrán prototipos virtuales de mecanismos con información de posición, velocidad, aceleración y fuerzas a través de datos y gráficas generadas desde el módulo de simulación dinámica.

II. FUNDAMENTOS DE MECANISMOS

Para entender el concepto de mecanismo es necesario conocer dos ciencias fundamentales y aclarar su relación con el concepto de máquina.

En la práctica ambos conceptos son dependientes uno del otro y han estado involucrados en el desarrollo de la humanidad de manera fundamental.

A. Cinemática y cinética

La **cinemática** tiene su origen del griego *kinēma*, *kinēmatos*¹ que significa movimiento; el conjunto de mecanismos en movimiento, sin referencia alguna de fuerzas o masas. Por otro lado, la **cinética** tiene su origen del griego *kinētikos*, que se refiere al resultado de un movimiento, y es la ciencia que estudia el movimiento de las masas en relación a las fuerzas que actúan sobre ellas. Ambas ciencias forman parte de la **dinámica**, que es la parte de la mecánica que se encarga del análisis de los cuerpos en movimiento.

B. Mecanismos y máquina

Un **mecanismo** es una combinación de piezas conectadas entre sí que producen un movimiento relativo predeterminado que al considerar la masa de las piezas y las fuerzas que actúan sobre ellas puede ser una **máquina** o parte de la misma, con la característica principal que realiza trabajo mecánico. Teóricamente todos los mecanismos que se construyen tienen masa y están sujetos a fuerzas externas para realizar un trabajo mecánico, pero debido a que las fuerzas que transmiten no son significativas, muchos de ellos son analizados únicamente por las leyes de la cinemática.

1 Webster`s New World Dictionary, Encyclopedic Edition, page 805

El límite entre aquello significativo y no significativo ha sido determinado por la propia percepción de los inventores y usuarios a través de la historia. Por ejemplo, el mecanismo de una sombrilla, a pesar de ser un mecanismo sencillo y no ser considerado máquina, requiere para su diseño y dimensionamiento consideraciones de masa y resistencia de materiales, para poder realizar un trabajo al abrirse luego de aplicarle una fuerza externa.

Así mismo pueden citarse otros ejemplos tales como, válvulas de paso, parabrisas de vehículo, bisagras de puerta, el mecanismo de suspensión y otros, los cuales consideramos popularmente como *mecanismos puros*.

III. FUNDAMENTOS DE CINEMÁTICA

La cinemática se puede analizar desde dos puntos de vista, cinemática de partículas y cinemática de cuerpos rígidos. El estudio de mecanismos se enfocará hacia el segundo punto de vista.

A diferencia de la cinemática de partículas, la cinemática de cuerpos rígidos si considera el análisis de los movimiento respecto al centro de gravedad de los cuerpos.

A. Movimiento de mecanismos

Es el cambio de posición de un cuerpo relativo a otro considerado fijo. En este caso de estudio, se considerará que por lo menos algún elemento del mecanismo es fijo.

1. Trayectoria. Algún punto dentro de un elemento en movimiento describe una línea denominada *trayectoria*, la cual puede ser rectilínea o curvilínea.

2. Dirección y sentido. Se considerará la convención de signos internacional aceptada. Es decir, dirección hacia la derecha (+), hacia la izquierda (-) hacia arriba (+) y hacia abajo (-), y sus respectivas combinaciones de acuerdo a las propiedades vectoriales del movimiento, así como el giro contrario a las agujas del reloj (+) y el giro a favor de las agujas del reloj (-).

B. Tipos de movimiento

Se considerarán tres tipos de movimiento básicos: rotación, traslación y complejo (producto de una combinación de las anteriores).

1. Rotación alrededor de un eje fijo. El elemento posee un eje de rotación y la trayectoria de cualquier punto del elemento es un arco total o parcial, a excepción de los puntos localizados sobre el eje de rotación.

2. Traslación. Se dice que un cuerpo está en traslación si cualquier línea recta de un cuerpo permanece en la misma dirección durante el movimiento, es decir, todos los puntos del cuerpo describen trayectorias paralelas curvas o rectas.

3. Movimiento plano. Se identifica de esta manera al movimiento de traslación en el cual sus puntos describen específicamente trayectorias rectas, sobre un plano particular.

4. Movimiento con respecto a un punto fijo. Es un movimiento tridimensional de un cuerpo rígido respecto a un punto fijo, un ejemplo de este movimiento es el de un trompo sobre un punto fijo.

5. Movimiento complejo. Es la combinación simultánea de rotación y traslación que produce diferentes movimientos.² Sin embargo, en el diseño de mecanismos se considera conveniente clasificar el movimiento de acuerdo a la aceleración del elemento. Esta clasificación depende del valor de la aceleración:

- Aceleración nula
- Aceleración constante
- Aceleración variable

6. Movimiento uniforme (plano o de rotación). <<Cuando la aceleración es nula, la velocidad es constante y la partícula en movimiento se mueve en una línea recta durante iguales distancias en iguales intervalos

² El movimiento complejo en un mecanismo regularmente se encuentra en el elemento acoplador, la curva del acoplador es la trayectoria de algún punto del elemento acoplador y suele ser la característica más importante dentro del diseño del mecanismo.

de tiempo>>³. La gráfica de posición es una línea recta con pendiente y la gráfica de velocidad es una línea paralela al eje del tiempo, finalmente la aceleración es cero.

7. Movimiento uniformemente acelerado o retardado.

Si la velocidad es no uniforme, pero la aceleración es constante, el punto tiene un movimiento uniformemente acelerado, la aceleración puede ser negativa o positiva. La gráfica de posición es una parábola y la gráfica de velocidad es una línea recta con pendiente, finalmente la gráfica de aceleración es una línea paralela al eje del tiempo.

8. Movimiento armónico simple. Se conoce como movimiento armónico simple a un tipo de movimiento en el que la aceleración vara directamente con el desplazamiento. El ejemplo más común es el movimiento del péndulo sujeto a la gravedad.

9. Movimiento combinado. Este movimiento se puede descomponer en tres fases. La primera fase corresponde a un movimiento acelerado hasta un tiempo determinado, a partir del cual la segunda fase es un movimiento uniforme hasta que un tiempo después el movimiento es desacelerado hasta el final de la trayectoria.

³ *Elementos de mecanismos*, Doughtie, V & James, W., Traducción al español por CECSA, 1era. publicación. Página 35

IV. FUNDAMENTOS DE CINÉTICA

Para comprender los principios de la cinética es conveniente recordar la primera, segunda y tercera ley de Newton, en especial atención a la segunda ley de Newton que relaciona la cinemática con la masa de los cuerpos rígidos.

A. Leyes de Newton

Las leyes se pueden resumir de la siguiente manera:

- Todo cuerpo se mantiene en estado de reposo o en movimiento uniforme en una línea recta, hasta que se le aplique una fuerza.
- La aceleración de un cuerpo es proporcional a la fuerza que actúa sobre el mismo, y toma lugar a lo largo de la línea de acción de dicha fuerza.
- Todo cuerpo bajo una fuerza de acción provoca una fuerza de reacción de igual magnitud y de dirección opuesta.

B. Momento inercial

<<El **momento de inercia** o **inercia estacional** es una magnitud que da cuenta de cómo es la distribución de masas de un cuerpo o un sistema de partículas alrededor de uno de sus puntos. En el movimiento de rotación, este concepto desempeña un papel análogo al de la masa inercial en el caso del movimiento rectilíneo y uniforme. Representa la inercia de un cuerpo a rotar⁴>>.

⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia#Definici.C3.B3n_de_momento_de_inercia

C. Principio de d'Alembert

Las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo rígido son equivalentes a las fuerzas inerciales de las diversas partículas que forman el cuerpo, y pueden sustituirse por un vector fijo al centro de masa del objeto y un par de momento inercial.

El **principio de d'Alembert**, enunciado por Jean d'Alembert en su obra maestra, *El tratado de dinámica* establece que la suma de las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo y las denominadas fuerzas de inercia forman un sistema de fuerzas en equilibrio. A este equilibrio se le denomina equilibrio dinámico.

V. CONSIDERACIONES SOBRE MECANISMOS

A. Grados de libertad

Grados de libertad (Degrees of Freedom, DOF, por su siglas en inglés) es el Número de variables que se necesitan para definir la posición de un cuerpo rígido en cualquier instante en particular, con respecto a un marco de referencia determinado. Por ejemplo, un cuerpo en el espacio tridimensional tiene 6 GDL, los cuales son, posición x,y,z para ubicar el centro de gravedad, y tres ángulos alfa, beta y gama para definir la dirección de cualquier punto del cuerpo rígido.⁵

B. Eslabones, uniones y cadenas cinemáticas

1. Eslabón. Es un cuerpo rígido que posee al menos dos nodos, que son los *puntos de unión* con otros eslabones. Los eslabones pueden clasificarse en:

- Eslabón Binario (2 nodos)
- Eslabón Ternario (3 nodos)
- Eslabón Cuaternario (4 nodos)

2. Junta o unión. Es el tipo de conexión que ocurre entre eslabones que puede o no permitir movimiento relativo. Se pueden clasificar de acuerdo a:

- El tipo de grados de libertad permitidos por la unión
- El tipo de contacto entre los elementos: de línea, de punto, de superficie.
- El tipo de cierre de la unión, de fuerza o de forma
- El Número de eslabones conectados (orden de la unión)

⁵ Para mayor ejemplificación sobre el concepto de grados de libertad se recomienda la lectura del capítulo 2 de libro Diseño de Maquinaria de Robert L. Norton, primera edición en español.

3. Cierre de forma y de fuerza. Una unión es de cierre de forma cuando se mantiene unida por la geometría cerrada, tal es el caso de un pasador en su agujero o una corredera con ranura o guía en la parte superior e inferior. Una unión es de cierre de fuerza cuando necesita de una fuerza externa para permanecer en contacto. Estas fuerzas pueden ser la producida por la gravedad o por el accionamiento de un resorte. En los eslabonamientos regularmente se prefiere cierre de forma, pero para levas regularmente se utiliza cierre de fuerza.

4. Orden de la unión. El orden la unión se define como el Número de eslabones conectados en una misma unión, menos uno.

5. Manivela. Es un eslabón que efectúa una vuelta completa o revolución, y está pivotada a un elemento fijo.

6. Balancín. Un eslabón que tiene rotación oscilatoria y está pivotado a un elemento fijo.

7. Biela o acoplador. Un eslabón que tiene movimiento completo y que no está pivotado a un elemento fijo.

8. Fijador o elemento fijo. Cualquier eslabón o conjunto de eslabones que no se encuentran en movimiento en relación con el marco de referencia.

9. Cadena cinemática. <<Es un ensamble de eslabones y uniones, conectados de modo que proporcionen un movimiento de salida controlado en respuesta a un movimiento de entrada proporcionado⁶>>.

6 Diseño de Maquinaria de Robert L. Norton, primera edición en español. Página 29

Tabla No.1 Tipos de uniones y sus características

Nombre	Tipo	Características
Junta de pasador para rotación (con cierre de forma)	Junta completa	Un grado de libertad de primer orden
Junta de corredera para traslación (con cierre de forma)	Junta completa	Un grado de libertad de primer orden
Eslabón apoyado contra un plano (con cierre de fuerza)	Semijunta	Dos grados de libertad de primer orden
Eslabón con pasador en ranura (con cierre de forma)	Semijunta	Dos grados de libertad de primer orden
Junta de rótula (o de bola)	Semijunta	Tres grados de libertad de primer orden
Junta de pasador (con cierre de forma)	Semijunta	Dos grados de libertad de segundo orden
Junta de rodamiento (junta de fuerza)	Semijunta	Puede rodar, deslizar o rodar y deslizar, según la fricción, con uno o dos grados de libertad.

C. Determinación del grado de libertad

<<Una cadena cinemática, el grado de libertad es el Número de condiciones que se necesitan proporcionar a fin de lograr un movimiento de salida predecible⁷>>. Estas condiciones pueden ser variables de posición, velocidad o aceleración de alguno de los elementos del mecanismo que sea considerado como elemento propulsor del movimiento.

⁷ *Diseño de Maquinaria* de Robert L. Norton, primera edición en español., página 29

D. Diferencia entre mecanismos y estructuras

Los grados de libertad de un ensamble de eslabones predicen por completo su carácter. Hay únicamente tres posibilidades. Si el GDL es positivo se tendrá un mecanismo, y los eslabones tendrán movimiento relativo. Si el GDL es exactamente igual a cero, entonces se tendrá una estructura y ningún movimiento es posible. Si el GDL es negativo, entonces se tendrá una estructura pre cargada, que no permite el movimiento y que contiene esfuerzos presentes en la estructura.

VI. TIPOS DE MECANISMOS

A. Mecanismos de cuatro eslabones o barras

Los mecanismos de cuatro eslabones son los más utilizados en el diseño de maquinaria por ser simplificados en su análisis y control. Son utilizados en aplicaciones muy comunes como en motores de combustión interna, en el mecanismo de dirección de un automóvil, en un sistema de bombeo de agua manual, un pantógrafo copiadador o escalador de plantillas de corte en lámina, un sistema de reglas paralelas, el mecanismo de transmisión de potencia de ruedas de ferrocarril, el brazo articulado y amortiguado de puertas en edificios y buses urbanos, en el mecanismo de suspensión de un automóvil, etc. Los mecanismos de cuatro barras regularmente están formados por un bastidor fijo, una manivela, un elemento acoplador y un balancín o corredera. Cada uno de ellos se dimensiona de tal manera que se cumpla con la condición inicial de Grashof.

1. Condición de Grashof. Es una relación que pronostica el comportamiento de un mecanismo de cuatro eslabones considerando las longitudes de cada eslabón. Considerando:

S= longitud del eslabón más corto

L= longitud del eslabón más largo

P= longitud de un eslabón restante

Q= longitud de otro eslabón restante, entonces:

$$S + L \leq P + Q$$

Cumpliendo con esta condición, al menos un eslabón (el más corto) será capaz dar una revolución completa con respecto al bastidor. Si esta desigualdad no se cumple, entonces es un mecanismo es no-Grashof y

necesita de eslabones adicionales para funcionar de manera continua. Tal es el caso de mecanismos de cinco y seis barras que se utilizan en ocasiones especiales y que producen movimientos especiales utilizados en maquinaria como mortajadoras horizontales o cepillos industriales para arranque de viruta en metales.

2. Mecanismos de cinco y seis eslabones o barras. Los mecanismos de cinco o seis eslabones se utilizan en aplicaciones especiales y normalmente se forman de un eslabón de cuatro barras que no cumple con la condición de Grashof conectado desde uno de los balancines con un par articulado de manivela-acoplador que sí cumple con la condición de Grashof.

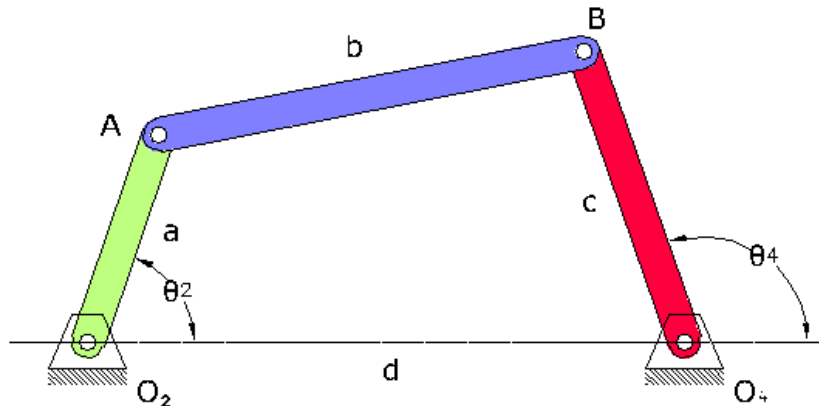
B. Curvas de acoplador

El acoplador es el eslabón más importante en cualquier mecanismo. Su movimiento es complejo y produce trayectorias de formas especiales. Estas trayectorias simulan el movimiento real. En el diseño de mecanismos, se recomienda buscar en un atlas de acoplador la curva que más se asemeje al movimiento deseado en la maquinaria, regularmente estos documentos tienen las proporciones de la longitud de los eslabones para su construcción. Estos son algunos ejemplos de curvas de acoplador resultantes de un mecanismo de cuatro barras, especificando la trayectoria de un punto del acoplador⁸.

⁸ *Diseño de Maquinaria* de Robert L. Norton, primera edición en español., página 97

VII. MECANISMOS UTILIZADOS EN LA MAQUINARIA

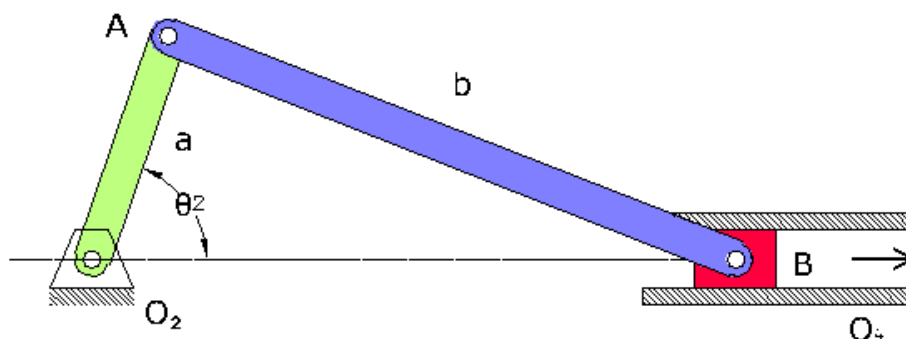
A. Mecanismo de manivela-balancín



Descripción: Este mecanismo es de 4 eslabones, está formado de manivela "a", acoplador "b", balancín "c", bastidor (O_2O_4 , fijo). El mecanismo tiene un grado de libertad, es decir, solamente se necesita un valor del ángulo θ_2 para definir la posición de los siguientes eslabones. Además, para que la manivela gire completamente deberá cumplir con la condición de Grashof. Una gran diversidad de máquinas utilizan mecanismos de manivela balancín. En la

imagen se muestra una máquina conocida como "la elíptica" utilizada como equipo de entrenamiento personal.

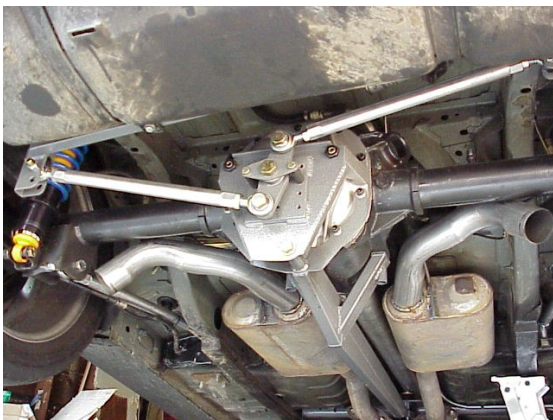
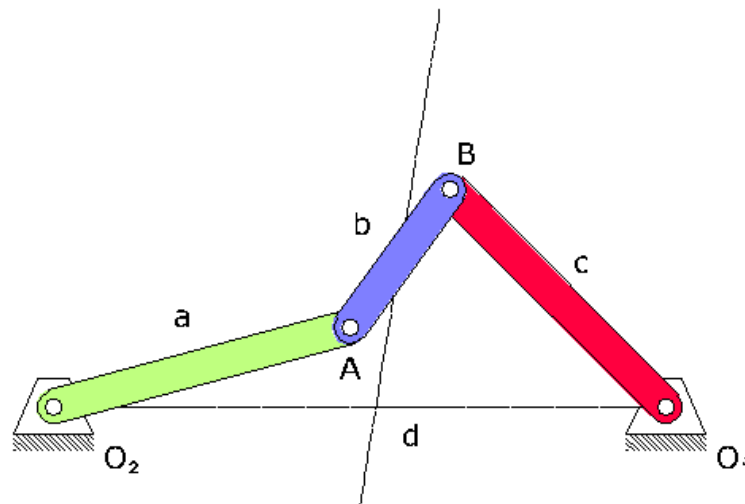
B. Mecanismo de manivela-corredera



Descripción: Este mecanismo es de cuatro eslabones, está formado de manivela "a", acoplador "b", corredera "c", bastidor (O_2O_4 , fijo). El mecanismo tiene un grado de libertad, es decir, solamente se necesita un valor del ángulo θ_2 para definir la posición de los siguientes eslabones.

Además, para que la manivela gire completamente deberá cumplir con la condición de Grashof, tomando en cuenta que la longitud de la corredera será mayor que la longitud de la manivela. La aplicación más conocida es aquella que ocurre dentro de un motor de combustión interna; la presión resultante de la combustión que se ejerce sobre el pistón (corredera) se transmite a través de la biela (acoplador) hacia el cigüeñal (manivela). En este mecanismo un movimiento lineal tiene como salida un movimiento angular. Aplicaciones similares, como la de un compresor recíprocante, difiere de la del motor de combustión interna por el lugar donde se aplica la fuerza; en este caso, un movimiento angular provoca un movimiento lineal de salida.

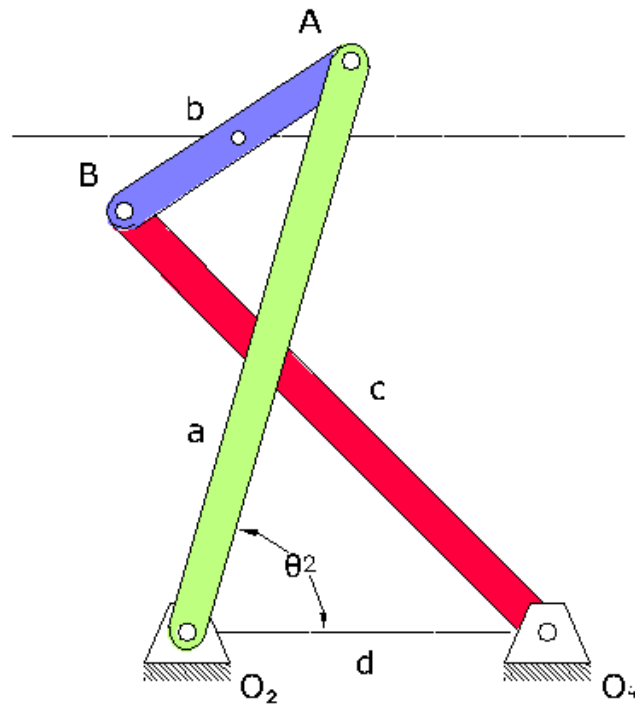
C. Mecanismos para movimiento de línea recta



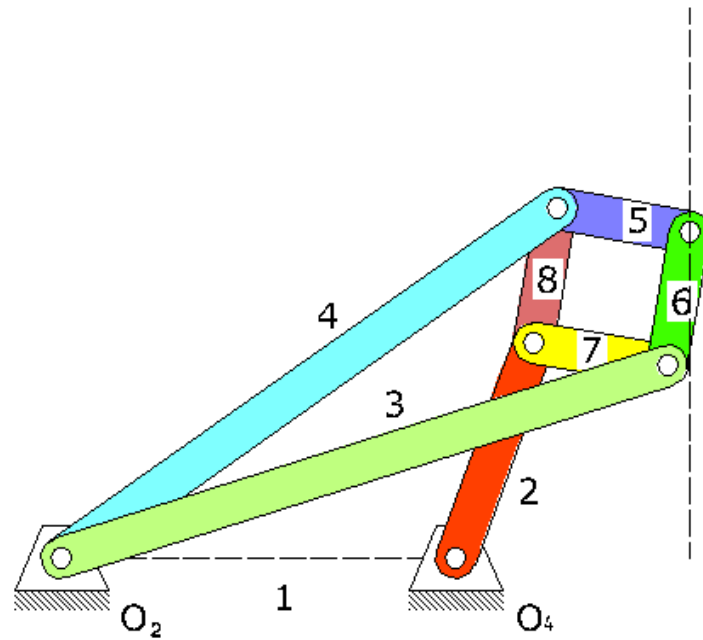
Este eslabonamiento es parte de un **mecanismo de línea cuasi-recta de Watt**, en este caso los eslabones "a" y "c" son balancines de la misma longitud, y el eslabonamiento "b" es acoplador. Este mecanismo es de un grado de libertad, su posición depende del valor del ángulo de alguno de los

balancines. Notar que el eslabón fijo es de mayor longitud que la longitud de los balancines y que no cumple con la condición de Grashof. Para que funcione de manera continua de ida y retorno, sería necesario añadir dos eslabonamientos adicionales que se conectan entre sí, con uno de los extremos conectados a un eslabonamiento fijo y otro hacia alguno de los balancines; lo que haría un eslabonamiento de seis barras. Fue inventado por James Watt (1736-1819) para restringir el movimiento de un motor de pistón de vapor respecto a una línea recta. La trayectoria generada no es una recta formal, pero se asemeja lo suficiente como para considerársela para aplicaciones reales. Este mecanismo se usa con frecuencia en los sistemas de suspensión de los automóviles, para guiar el eje trasero hacia

arriba y abajo en línea recta. En la imagen se muestra el eje trasero de un vehículo con el mecanismo de línea cuasi-recta de Watt.

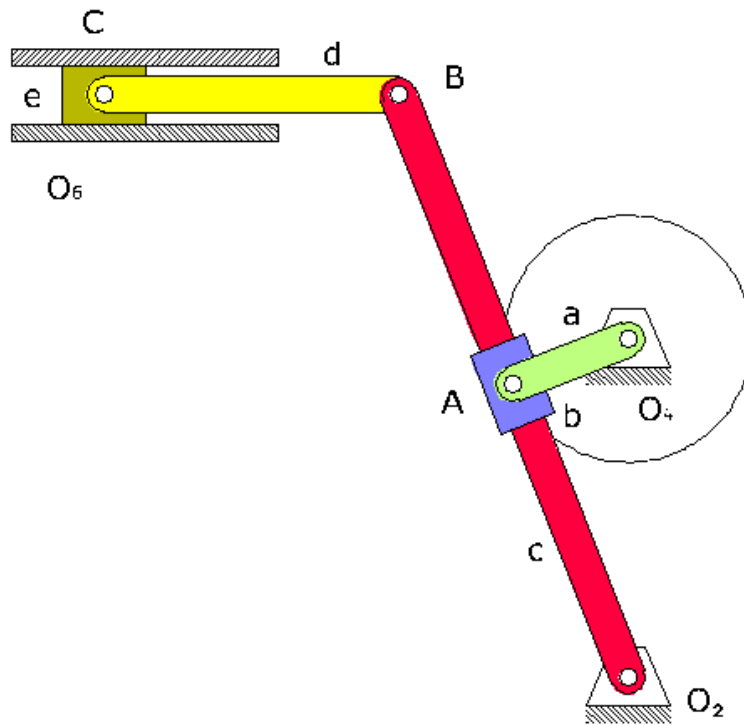


Este eslabonamiento es parte de un **mecanismo de línea cuasi-recta de Chebyshev**, en este caso los eslabones "a" y "c" son balancín, y el eslabonamiento "b" es acoplador. Notar que si cumple con la condición de Grashof, el eslabón "b" dará al menos una revolución completa. Las proporciones necesarias para el funcionamiento correcto del mecanismo son: $d:a:b$, como 2:2.5:1. Este mecanismo fue inventado por un matemático ruso Pafnuty Chebyshev (1821-1894) en una época en la que se buscaba un mecanismo que transformara el movimiento rotatorio en movimiento lineal, para aplicarlo al desarrollo de máquinas de vapor.



Para generar una **línea recta** es necesario construir un mecanismo de más de cuatro barras. Uno de los mecanismos más conocidos es el de **Peaucellier (1824)**, quien descubrió un mecanismo con movimiento de línea recta exacto. Utilizando 8 barras, 4 de las cuales están son de la misma longitud y están unidas entre sí formando un rombo. Los eslabones 3 y 4 son iguales, así como también la distancia O_2O_4 y la longitud del eslabón 2 también son iguales. El punto de unión del eslabón 5 con el eslabón 6 tiene un movimiento resultante en línea recta. Haciendo pequeñas variaciones entre la distancia O_2O_4 y la longitud de eslabón 2 es posible también obtener como resultado trayectorias en forma de arco relativamente grandes.

D. Mecanismos de retorno rápido



Este eslabonamiento es un **mecanismo de retorno rápido**; el movimiento de la corredera se descompone en dos movimientos diferentes: hacia un lado la corredera "e" se desplaza lentamente y hacia el otro lado se desplaza rápidamente. Este es el caso de una máquina herramienta de arranque de viruta conocida como mortajadora horizontal, en la cual la carrera de corte es lenta y el retorno rápido. En eslabón "a" gira completamente, así que cumple con la condición de Grashof de un grado de libertad. El mecanismo queda definido por la posición angular del eslabón "a" dentro de los 360° de rotación.

VIII. ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS VIRTUALES DE MECANISMOS

A. Introducción a Inventor Professional 2008

Inventor Professional 2008 es un programa informático que integra aplicaciones CAD (Computer Aided Design) con aplicaciones CAE (Computer Aided Engineering) en la elaboración de prototipos virtuales de maquinaria y equipo. Es parte de la tercera generación de programas informáticos CAD y es producido por la empresa Autodesk, propietaria del programa AutoCAD.

Dentro de sus principales atributos están:

- Modelado tridimensional de piezas
- Ensamblajes
- Presentaciones de ensamblaje y desensamblaje
- Documentos constructivos
- Chapa metálica
- Simulación cinemática y dinámica
- Análisis de Elementos Finitos
- Administración de versiones de diseño
- Animación y renderizado

En este estudio en particular se estará reforzando la creación de partes y ensamblajes, para luego aplicar el módulo de simulación dinámica. El módulo de simulación dinámica opera únicamente con archivos de ensamblaje (.iam). Inventor Simulation utiliza las propiedades físicas asociadas a cada parte, es decir, masa, inercia y posición del centro de masa. Todas las partes del mecanismo inicialmente tienen cero grados de libertad, hasta que se especifican las uniones entre eslabones se añaden los grados de libertad

correspondientes. Para simular el comportamiento dinámico de un eslabonamiento (ensamble), es necesario definir las uniones mecánicas entre los eslabones y adicionalmente ubicar las fuerzas internas o externas que actúan sobre ellos. Una vez está creado el ensamblaje y activado el módulo de simulación dinámica, el ensamble puede considerarse un mecanismo. Algunas de las restricciones estándar creadas en el ensamble pueden ser interpretadas automáticamente por el módulo de simulación dinámica, este será el caso de los mecanismos que se estudiarán en este texto, sin embargo, pueden definirse tipos de uniones especiales. En la siguiente tabla se ilustran varios tipos de uniones disponibles en Inventor Professional 2008.

B. Módulo de parte

El módulo de parte es muy versátil para la creación de piezas de formas regulares e irregulares, aunque es importante recalcar que su fortaleza es la creación de piezas regulares, mayormente utilizadas en maquinaria, debido a que uno de sus objetivos es mantener coherencia con los procesos de ingeniería de la manufactura.

C. Módulo de ensamble

El módulo de ensamble se asemeja al proceso real de ensamblaje de piezas. Este proceso se lleva a cabo a través del manejo de restricciones de ensamble que controlan los grados de libertad del mecanismo. Normalmente todas las piezas sin restricciones tendrán 6 grados de libertad.

D. Modelos paramétricos

Un modelo paramétrico le permitirá establecer un sistema de variables de diseño, tales como ancho, alto, espesor, diámetro, etcétera; las variables pueden ser compartidas con otras partes y ensambles dentro de un proyecto en particular.

Tabla No2. Uniones estándar disponibles en Inventor Professional 2008


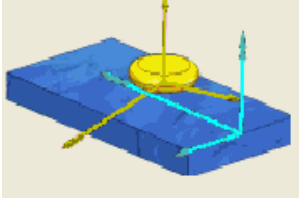
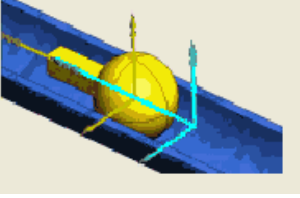
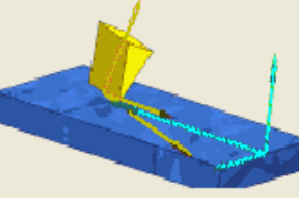
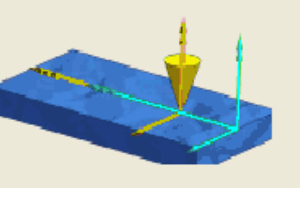
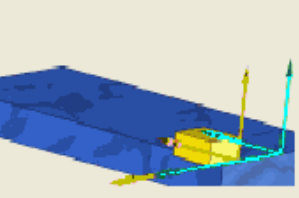
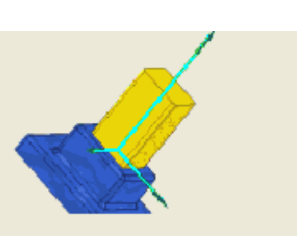
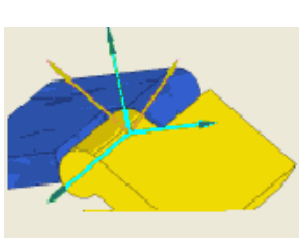
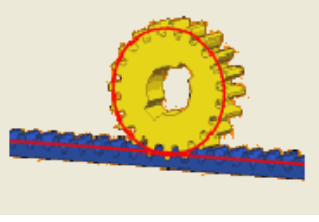
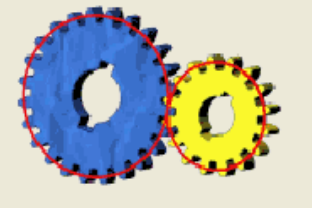
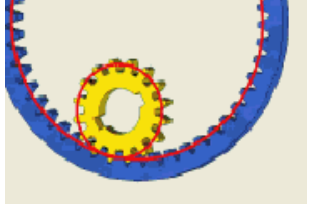
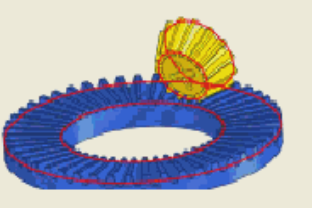
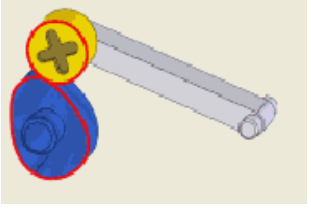
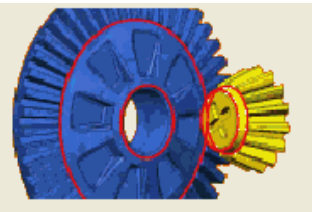

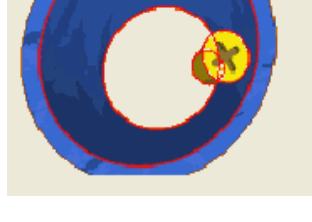
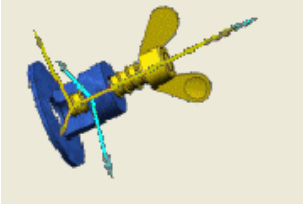
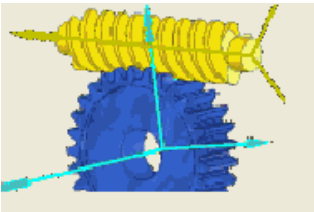
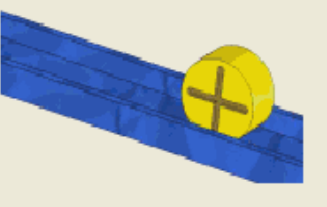
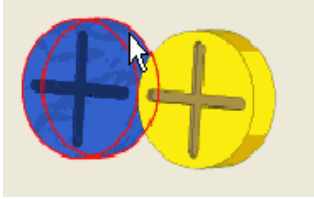

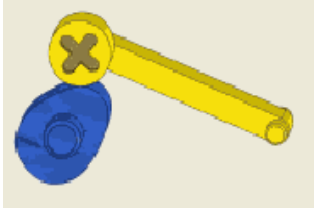
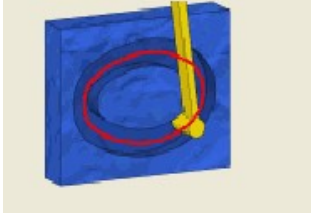
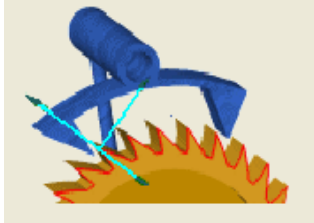
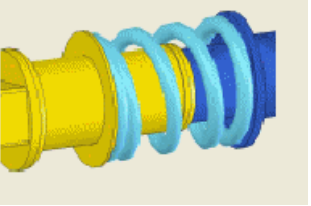

	Esférico		Planar
	Punto y línea		línea y plano
	Punto y plano		Espacial
	Soldadura		Revolución

Tabla No3. Uniones no-estándar disponibles en Inventor Professional 2008

	<p>Engrane y cremallera</p>		<p>Engrane y piñón</p>
	<p>Engrane interno</p>		<p>Engrane cónico en ángulo</p>
	<p>Leva-rueda girando</p>		<p>Engrane cónico a 90°</p>
	<p>Faja</p>		<p>Tangente a superficie cónica</p>

Continuación Tabla No3. Uniones no-estándar disponibles en Inventor Professional 2008

	<p>Unión de rosca</p>		<p>Engrane tornillo sin fin</p>
	<p>Rueda sin giro que desliza</p>		<p>Ruedas que deslizan</p>
	<p>Rueda que gira sobre superficie interna de otra rueda</p>		<p>Leva seguidor que desliza</p>
	<p>Punto y leva</p>		<p>De contacto bidimensional</p>
	<p>De resorte</p>		<p>De contacto tridimensional</p>

IX. PROCEDIMIENTOS PARA LA SÍNTESIS DE MECANISMOS EN AIP 2008

A continuación se presenta el eje central de este trabajo que consiste en una serie de diagramas de procedimientos y sus respectivas descripciones de tal manera que puede servir de guía en la resolución de problemas de diseño de mecanismos de barras o de otro tipo. Los procedimientos no son únicos para utilizar el programa Inventor Professional 2008 ya que depende de la experiencia y la habilidad del diseñador para plantear las soluciones a sus problemas particulares, sin embargo, pretenden guiarle de una manera sencilla hacia la obtención de resultados concretos y rápidos.

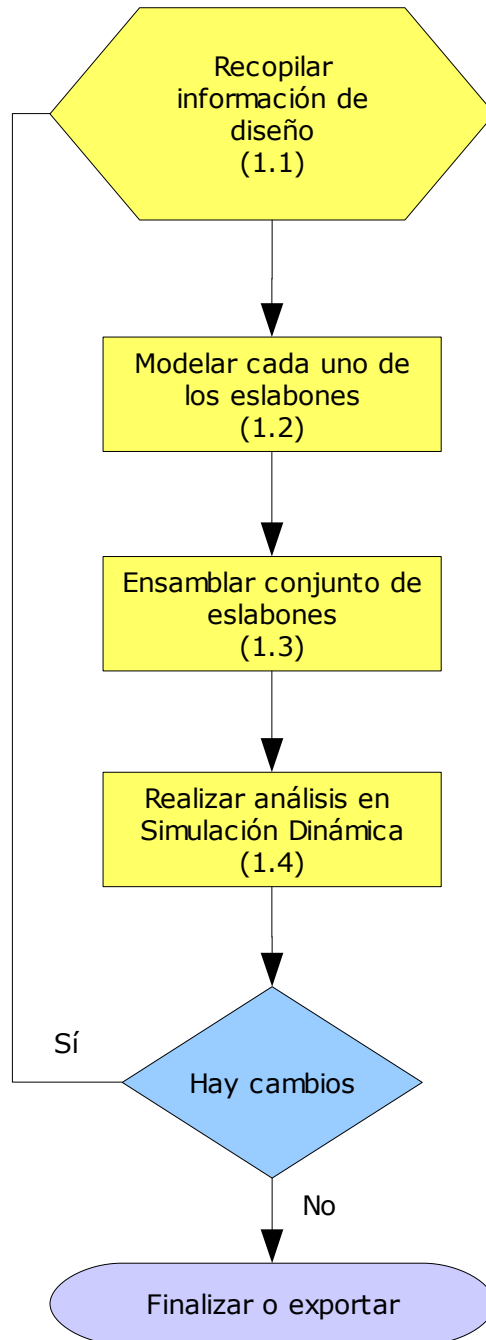
Antes de iniciar un proyecto de diseño de mecanismos de barras se recomienda la creación de sketch a mano o en programas como AutoCAD a manera de tener una solución previa. Esta preparación permitirá ahorrar tiempo y esfuerzos en el proceso de modelar para el análisis en Inventor Professional 2008.

También se recomienda considerar solamente aquellos elementos de mecanismos que van a participar en el análisis para disminuir la carga sobre los recursos de hardware disponibles.

Los procedimientos y la disponibilidad de Inventor Professional 2008 no eliminan en lo absoluto, la necesidad de que el diseñador se prepare en los conceptos teóricos fundamentales para el acondicionamiento, preparación y análisis de los mecanismos. Un uso inadecuado o ilógico del programa generará un error de la misma naturaleza.

Se recomienda realizar comprobaciones sobre los resultados gráficos con el cálculo teórico matemático con el objetivo de ejercer controles que le den mayor factor de seguridad al análisis del diseño.

1. Diagrama general de procedimiento para la síntesis de mecanismos en Inventor 2008



Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
RECOPIRAR INFORMACIÓN DE DISEÑO	1.1	1.0	8-10-2007
	Utilización	Recopilar información sobre materiales, dimensionamiento general, condiciones de velocidad, posición o aceleración, fuerzas externas, etc.	
<p>Objetivo:</p> <p>Tener la información necesaria para la realización del modelo virtual del mecanismo, de tal manera que, el resulta final esté de acuerdo al planteamiento de diseño requerido.</p> <p>Descripción:</p> <p>La información que resulta ser útil en las diferentes partes del proceso es:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar tipo de eslabonamiento y tipo de uniones a realizar. 2. Realizar sketch a mano con el dimensionamiento básico del mecanismo. 3. Dimensionar y comprobar condición de Grashof 4. Definir posición y velocidad iniciales. 5. Definir un sistema de medidas congruente 6. Definir posición de fuerzas externas. <p>Recomendaciones:</p> <p>Crear proyecto de trabajo.</p> <p>Realizar un sketch inicial representando los eslabones como líneas. Agregar dimensiones y restricciones de sketch. Parametrizar las dimensiones y exportar los parámetros para que puedan ser utilizados en la creación de eslabonamientos que se adaptan a nuevos valores de longitud, de una manera automatizada.</p>			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		1/1	

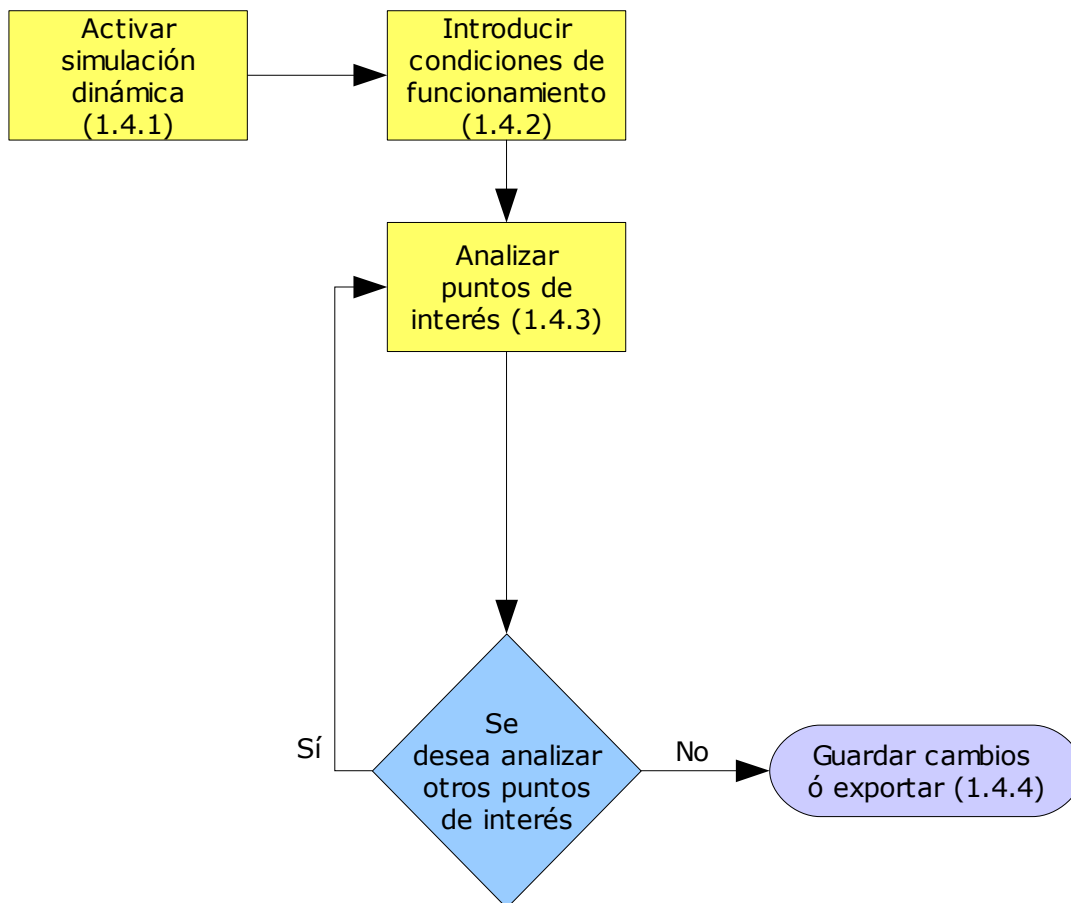
Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
MODELAR CADA UNO DE LOS ESLABONES	1.2	1.0	8-10-2007
	Utilización	Los modelos de cada eslabón serán utilizados para realizar el ensamblaje	
<p>Objetivo:</p> <p>Crear cada uno los eslabones del mecanismo utilizando el módulo de partes de Inventor Professional 2008.</p> <p>Diagrama de procedimiento:</p> <pre> graph TD A[Crear nuevo archivo *.ipt (1.2.1)] --> B[Hacer sketch (1.2.2)] B --> C[Aplicar "Features" (1.2.3)] C --> D{Hay cambios} D -- Sí --> B D -- No --> E[Aplicar Propiedades (1.2.4)] E --> F([Guardar cambios]) </pre>			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		1/1	

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
ENSAMBLAR CONJUNTO DE ESLABONES	1.3	1.0	8-10-2007
	Utilización	El ensamblaje resultante se utilizará para el análisis de simulación dinámica.	
<p>Objetivo:</p> <p>Colocar los diferentes eslabones en su posición para formar un mecanismo articulado.</p> <p>Diagrama de procedimiento:</p> <pre> graph TD A[Crear nuevo archivo *.iam (1.3.1)] --> B[Colocar eslabón fijo (1.3.2)] B --> C[Colocar eslabones móviles (1.3.3)] C --> D[Aplicar restricciones de ensamble (1.3.4)] D --> E{Errores en la aplicación de restricciones?} E -- Sí --> D E -- No --> F([Guardar cambios]) </pre>			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		1/1	

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
REALIZAR ANÁLISIS EN SIMULACIÓN DINÁMICA	1.4	1.0	8-10-2007
	Utilización	Se utilizará este módulo para realizar análisis cinemático y cinético de mecanismos, definir condiciones de operación, y obtener las gráficas de posición, velocidad y aceleración de cuerpos rígidos y partículas.	

Objetivo:

Introducir las condiciones de operación del mecanismo y obtener resultados para el análisis cinemático y dinámico de mecanismos.

Diagrama de procedimiento:

Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página
DIEGO ZAPAROLLI		1/1


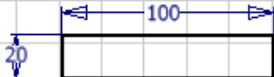
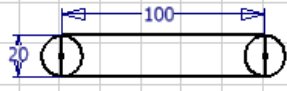
Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
CREAR NUEVO ARCHIVO DE PARTE (.IPT)	1.2.1	1.0	8-10-2007
	Utilización	Creación de sketch y features de eslabones con el dimensionamiento deseado.	
<p>Objetivo:</p> <p>Crear un archivo para modelado tridimensional del eslabón.</p> <p>Procedimiento:</p> <p>Iniciar Inventor Professional 2008, en Start>All Programs>Autodesk>Inventor 2008>Inventor Professional 2008, o presionar ícono desde el Desktop de Windows.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Presionar el botón "Projects" para crear nuevo proyecto; la ubicación por default es My Documents>Inventor 2. Introducir nombre al proyecto; por ejemplo, "Mecanismo de línea Recta de Watt", presionar "Next", presionar "Finish", aparecerá el cuadro de diálogo referente a la creación de una ubicación específica del proyecto, presionar "Yes". Retornará al cuadro de diálogo que muestra el listado de proyectos, asegúrese que está en el proyecto creado y presione el botón "Done". 3. Retornará al cuadro de diálogo "Open", presione ESC y expanda el menú Tools>Application Options; seleccione la pestaña "Part" y elija la opción "Sketch on X-Z Plane", esto permitirá que los eslabones estén orientados en la vista frontal, respecto a una vista SurEste. 4. Expanda el menú File>New, y elija entre las pestañas el sistema de unidades en que desea trabajar, las opciones son: "English, Metric o Professional"; esta última opción permite seleccionar entre otras normas, tales como: DIN, JIS, BS, etcétera. Seleccione el tipo de documento mostrado como standard (mm).ipt. Presione OK. 5. Luego presione F6 para activar la vista isométrica, expanda el menú View>Look_at, y presione el sketch1 para alinear la vista al sketch. 6. A sugerencia, trace la vista lateral del eslabonamiento según el perfil del eslabonamiento, apoyado por las herramientas de dibujo de sketch, finalice el sketch y seleccione la opción "Extrude" para darle profundidad al perfil del eslabonamiento, luego agregue la operación "Hole" para hacer los agujeros del pasador en los extremos del eslabón. 7. Presione F6, para ver pieza terminada, guarde el archivo en la ubicación por "default", para que esté relacionada al proyecto anteriormente creada. Para ver el procedimiento de dibujo en detalle, ver ejemplos en este documento. 			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		1/1	

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
HACER SKETCH	1.2.2	1.0	8-10-2007
	Utilización	El sketch es el primer paso para crear una pieza, en sketch se realiza en un plano de trabajo y luego de haberlo creado se realizan operaciones sobre el mismo (Features)	

Objetivo:

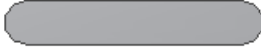
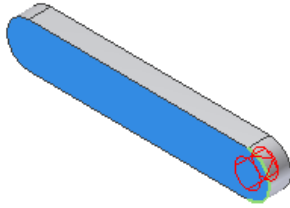
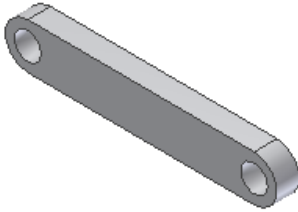
Mostrar cómo se realizaría un sketch para una manivela.

Procedimiento:

		
Trazar un rectángulo con las proporciones sugeridas en la ilustración	Presionar la letra "D" para activar la acotación, cambiar el valor de la cota por los mostrados en la ilustración	Hacer dos círculos en las posiciones mostradas en la ilustración, Presionar la letra S para finalizar el Sketch.

El resultado final es el perfil de un eslabonamiento, en este caso una manivela.

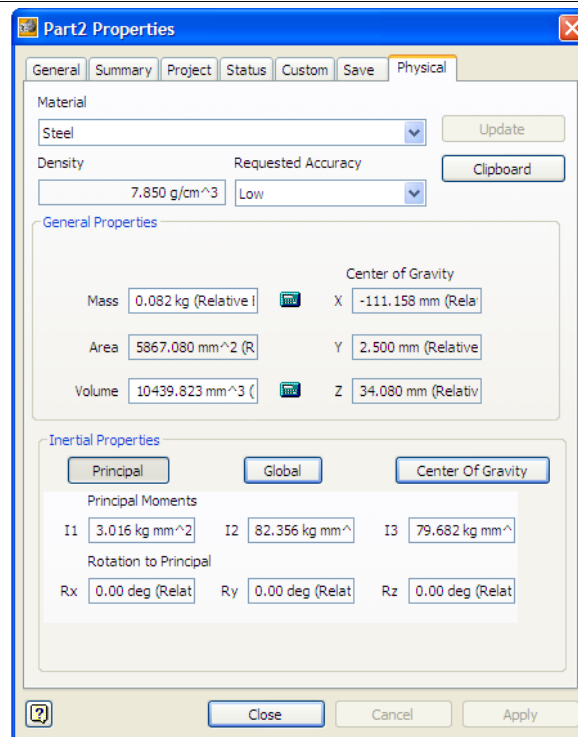
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página
DIEGO ZAPAROLLI		1/1

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
APLICAR "FEATURES"	1.2.3	1.0	8-10-2007
	Utilización	Una vez creado el sketch, se agregarán las operaciones de extrusión y agujero para crear el cuerpo rígido y definir los agujeros.	
<p>Objetivo:</p> <p>Mostrar cómo se realizaría una manivela a partir de un sketch ya creado.</p> <p>Procedimiento:</p>			
			
Presionar la letra "E" y seleccionar todas las áreas que encierra el sketch, agregar el valor de profundidad (5mm)	Presionar F6 para ver la vista isométrica de la pieza, presionar la letra "H" para hacer agujero con diámetro 12mm	Repetir el comando de agujero para el otro extremo de la pieza. Guardar el archivo con nombre manivela.ipt	
<p>El resultado final es un cuerpo rígido con propiedades de material de acero, con masa, volumen y módulos inerciales.</p>			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		1/1	

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
APLICAR PROPIEDADES	1.2.4	1.0	8-10-2007
	Utilización	La pieza puede tener propiedades reales	

Objetivo:

Asignar propiedades de material a la pieza creada.

Procedimiento:

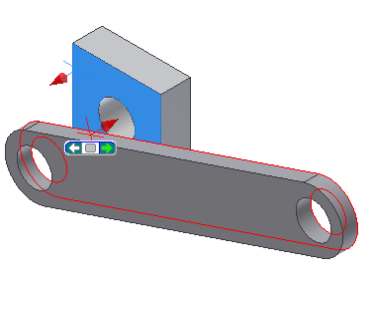
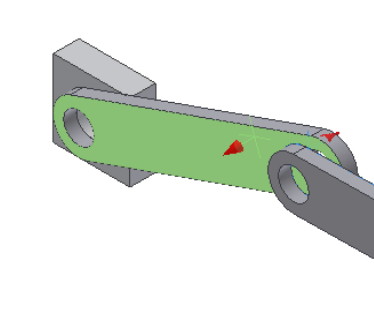
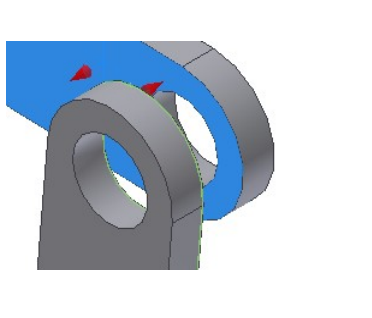
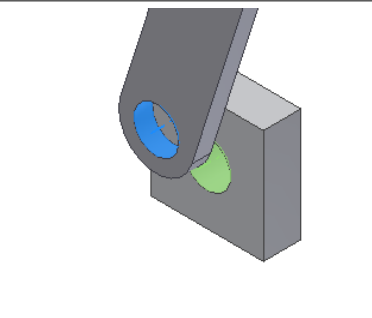
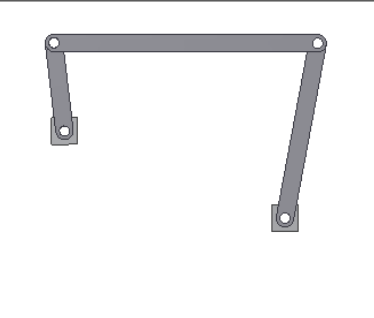
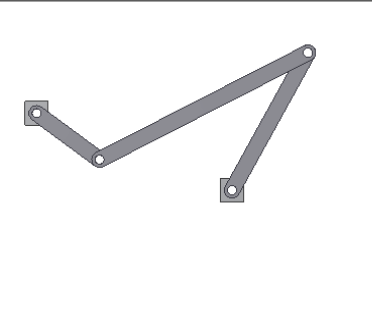
Las propiedades calculadas son: Centro de Gravedad, Momentos de Inercia, Masa, Área superficial y Volumen.

Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página
DIEGO ZAPAROLLI		1/1

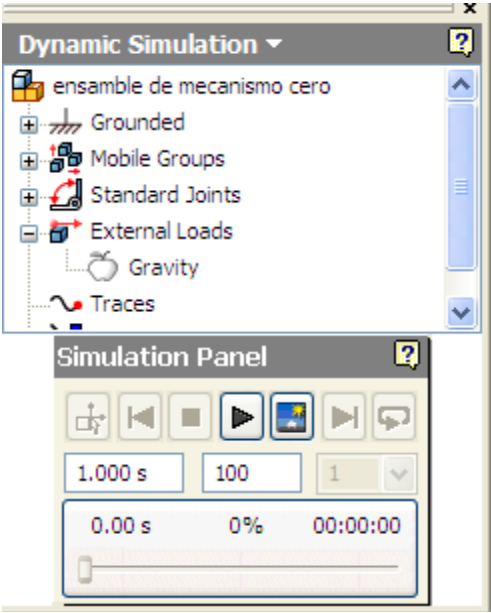
Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
CREAR NUEVO ARCHIVO *.IAM	1.3.1	1.0	8-10-2007
	Utilización	Una vez creadas todos los eslabones se lleva a cabo el ensamble de cada uno de los componentes.	
<p>Objetivo:</p> <p>Obtener un mecanismo articulado con los eslabones creados anteriormente.</p> <p>Procedimiento:</p> <p>Expandir el menú File>New, y elegir entre las pestañas el sistema de unidades que utilizó para la creación de partes. Seleccione el tipo de documento mostrado como standard (mm).iam Presione OK.</p> <p>Luego presione F6 para activar la vista isométrica. Ahora está listo para colocar el primer eslabón del mecanismo.</p> <p>Información adicional:</p> <p>El módulo de ensamble contiene diversas herramientas utilizadas en el diseño de maquinaria, por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Diseño de ejes y componentes de ejes 2. Diseño de engranes rectos, cónicos y de gusano 3. Conexión por pernos 4. Cálculo de cojinetes 5. Cálculo de poleas 6. Cálculo de resortes 7. Cálculo de tornillos de potencia 8. Viga y columna 9. Frenos de tambor, disco y faja 10. Generador de estructuras metálicas 11. Enrutamiento de tubería 12. Enrutamiento de conexiones flexibles. 13. Análisis de Interferencia de partes móviles 			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:		página
DIEGO ZAPAROLLI			1/1

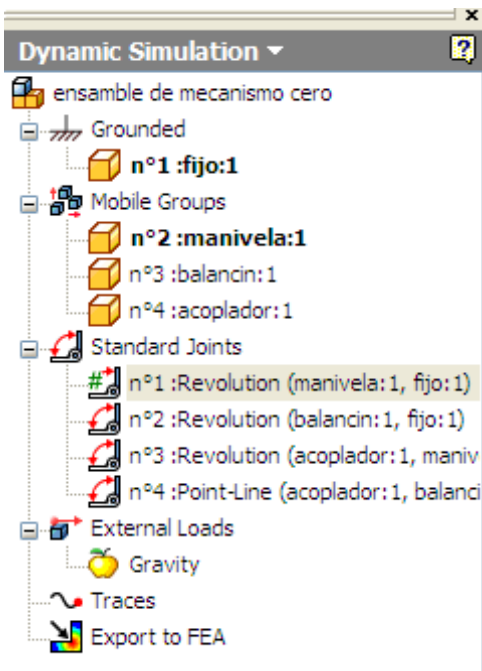
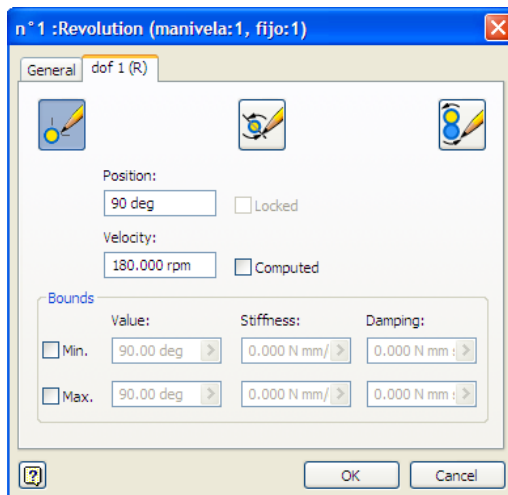
Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
COLOCAR ESLABÓN FIJO	1.3.2	1.0	8-10-2007
	Utilización	El primer eslabón que se coloca en el ensamblaje tiene la propiedad de ser fijo (ésta condición puede cambiar a criterio del diseñador)	
<p>Objetivo:</p> <p>Definir el eslabonamiento fijo dentro del mecanismo.</p> <p>Procedimiento:</p> <p>Seleccione la letra P (Place Component); en el cuadro de diálogo mostrado, busque el archivo *.ipt que funcionará como el eslabonamiento fijo, presione OK, ubique la pieza en alguna posición y presione ESC.</p> <p>En el "Browser Bar", posicionarse sobre la parte colocada, presionar click del lado derecho y observar que tiene activada la opción "Grounded".</p>			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		1/1	

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
COLOCAR ESLABONES MÓVILES	1.3.3	1.0	8-10-2007
	Utilización	Los eslabones móviles se colocarán sobre el espacio de ensamble para luego iniciar con el proceso de ensamble.	
<p>Objetivo:</p> <p>Colocar sobre el espacio de trabajo todos los eslabones a utilizar.</p> <p>Procedimiento:</p> <p>Seleccione la letra P (Place Component); en el cuadro de diálogo mostrado, busque el archivo *.ipt que funcionará como eslabonamiento móvil, presione OK, ubique la pieza en alguna posición y presione ESC. Repita el procedimiento para los otros eslabones.</p>			
			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		1/1	

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
APLICAR RESTRICCIONES DE ENSAMBLE	1.3.4	1.0	8-10-2007
	Utilización		
Objetivo: Restringir el movimiento relativo entre eslabones		El ensamble será un mecanismo cuando se le hayan añadido restricciones al movimiento relativo entre piezas.	
Procedimiento:			
			
Presionar "C" para añadir restricciones y seleccionar la restricción de eje concéntrico y cara con cara para restringir la manivela al eslabón fijo.	Añadir el mismo tipo de restricciones del paso anterior entre la manivela y el acoplador	Añadir el mismo tipo de restricciones del paso anterior entre la acoplador y el balancín	
			
Añadir el mismo tipo de restricciones del paso anterior entre la acoplador y el balancín	Ahora el ensamblaje es un mecanismo articulado.	Realizar la operación "Drag and Drop" con el "mouse" y girar la manivela.	
Actualizar las propiedades de sketch.			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		1/1	

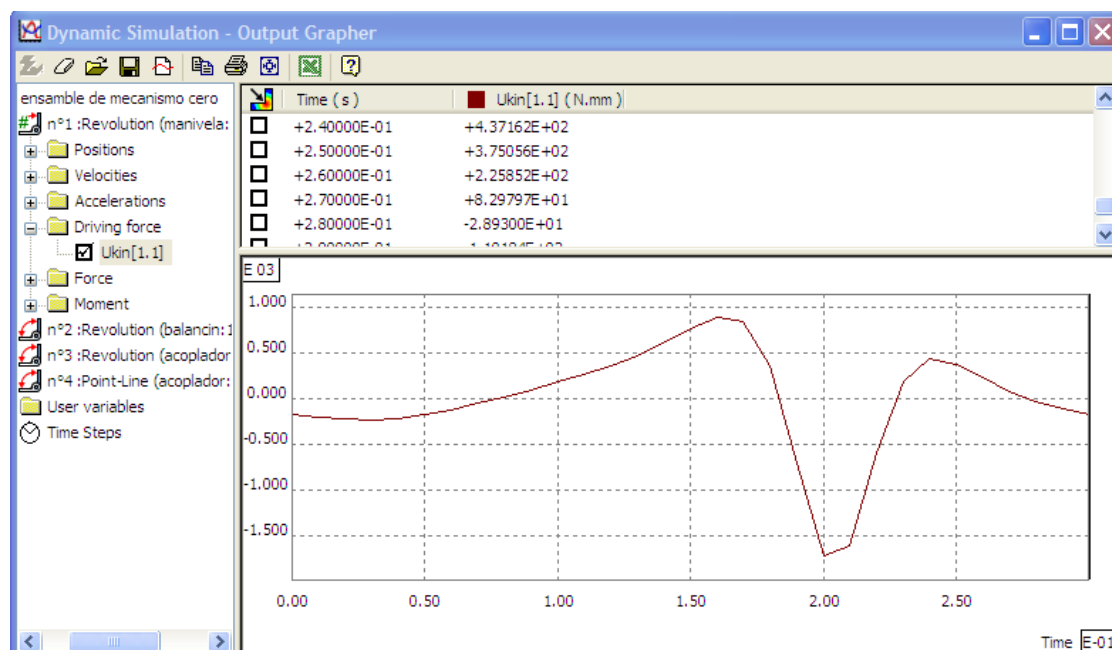
Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
ACTIVAR SIMULACIÓN DINÁMICA	1.4.1	1.0	8-10-2007
	Utilización	Permite acceder a las funciones del módulo de simulación dinámica.	
<p>Objetivo:</p> <p>Activar el módulo de simulación dinámica.</p> <p>Procedimiento:</p> <p>Busque en el menú principal "Applications>Dynamic Simulation" para activar el módulo de simulación dinámica.</p>			
		<p>El flujo de trabajo para utilizar la simulación dinámica es:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Un conjunto de partes rígidas que tengan articulación entre sí. 2. Crear uniones acordes al tipo de cadena cinemática que se desea analizar. 3. Definir factores generales, como la gravedad, la fricción, si su movimiento depende de la acción de un motor, y otras fuerzas externas. 4. Usar las gráficas para visualizar los datos de salida, tales como fuerzas que se reciben, fuerzas transmitidas, momentos, par, aceleraciones, velocidades y posiciones. 5. Exportar los resultados a un análisis de elementos finitos para evaluar la resistencia de materiales. 	
<p>Cuando se han aplicado restricciones estándar en el modo ensamblaje, al activar el modo simulación dinámica son reconocidas automáticamente como uniones estándar.</p>			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		1/2	

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
ACTIVAR SIMULACIÓN DINÁMICA	1.4.1	1.0	8-10-2007
	Utilización	Permite acceder a las funciones del módulo de simulación dinámica.	
 <p>El menú de Simulación Dinámica se compone de:</p> <p>Insert Joint: Herramienta para insertar uniones estándar y no estándar.</p> <p>Force: Aplicar alguna magnitud y dirección de fuerza constante o variable a cualquier cuerpo rígido para que al hacer el análisis se tome en consideración sus efectos.</p> <p>Par: Aplicar magnitud y dirección de par en cualquier cuerpo rígido para que al hacer el análisis se tome en consideración sus efectos.</p> <p>Trace: Seleccionar cualquier punto dentro del ensamblaje a ser estudiado por las leyes de la cinemática, posición, velocidad o aceleración.</p> <p>Output Grapher: Permite visualizar las variables de interés, de manera individual o simultáneamente entre eslabones o puntos seleccionados de una manera gráfica que depende del tiempo.</p>			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		2/2	

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
INTRODUCIR CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	1.4.2	1.0	8-10-2007
	Utilización	Permite visualizar variables de posición, velocidad, aceleración, fuerza motriz, fuerza	
<p>De esta manera se introducen la condiciones de funcionamiento. Así también pueden agregarse condiciones de fuerza, par, posición, fricción, amortiguamiento, siempre y cuando sea congruente con el diseño en general.</p>			
			
<p>Las condiciones de operación del mecanismo se introducen dependiendo de la naturaleza del mecanismo. Para un mecanismo manivela-balancín de un grado de libertad, con la manivela conectada a un motor que le transmite un determinado par, las condiciones iniciales pueden definirse, presionando click del lado derecho del "mouse" sobre la unión manivela:1, fijo:1, y seleccionando "Properties"; la pantalla que despliega es la siguiente:</p>			
			
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página	
DIEGO ZAPAROLLI		1/1	

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
ANALIZAR PUNTOS DE INTERES	1.4.3	1.0	8-10-2007
	Utilización	Permite visualizar variables de posición, velocidad, aceleración, fuerza motriz, fuerza	

Cada eslabonamiento puede ser analizado en diferentes gráficas de posición, velocidad, aceleración, fuerzas, pares, respecto al tiempo. La información puede analizarse buscando puntos máximos y mínimos dentro de la curva o simplemente por observación. resultados se muestran en este gráfica que se actualiza con el movimiento del mecanismo.



En esta gráfica se muestra la fuerza motriz necesaria para mover el mecanismo deseado a 180rpm, si se desea velocidad constante y aceleración nula. Esta información sería útil para dimensionar contrapesos o volantes, de tal manera de lograr una fuerza más constante.

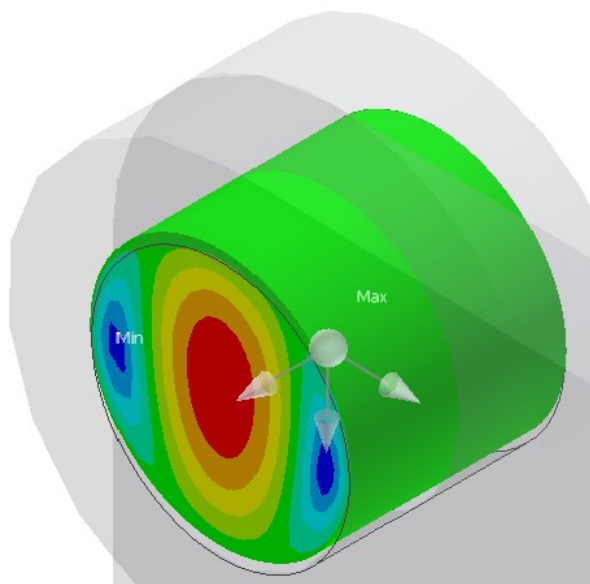
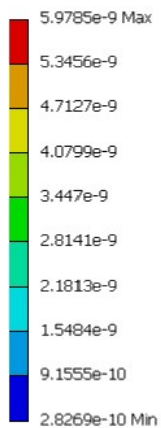
Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página
DIEGO ZAPAROLLI		1/1

Título del procedimiento	Número del procedimiento	Versión	Fecha de realización
GUARDAR CAMBIOS O EXPORTAR	1.4.4	1.0	8-10-2007
	Utilización	Exportar los datos de simulación hacia el módulo de cálculo por elementos finitos FEA.	

La información que resulte del análisis puede servir para calcular la deformación en piezas producto de las fuerzas que se aplican sobre el mecanismo.

A continuación se muestra un mapa de colores de la deformación resultado de haber exportado las cargas en movimiento de la simulación dinámica (Dynamic Simulation) hacia el módulo de "análisis por elementos finitos" (FEA) para un pin que une los eslabones manivela-acoplador.

Deformation
Type: Deformation
Unit: mm
Time: 1.0e-009
10/24/2007 2:23 PM



Realizado por:	Para uso exclusivo de:	página
DIEGO ZAPAROLLI		1/1

X. SIMULACIÓN DINÁMICA DE MECANISMOS SELECCIONADOS

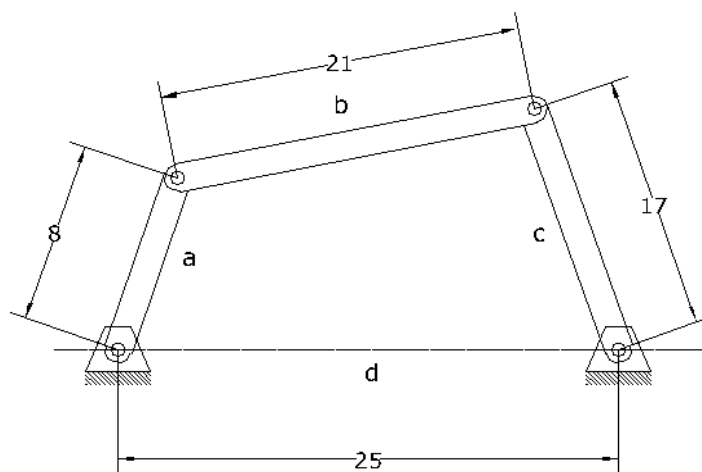
A. Limitaciones de la simulación dinámica

Las herramientas de simulación dinámica de la ayuda de Autodesk Inventor guían al usuario en los pasos de concepción y desarrollo, y ayudan a reducir el Número de prototipos. Sin embargo, debido a la hipótesis utilizada en la simulación, sólo proporcionan una aproximación del comportamiento que se produce en los mecanismos reales.

B. Alcances de la simulación dinámica

- Preparar AIP2008 para que convierta automáticamente las restricciones de coincidencia y de inserción relevantes a uniones estándar.
- Acceder a una amplia biblioteca de uniones de movimiento.
- Definir fuerzas y momentos externos.
- Crear simulaciones de movimiento basadas en la posición, la velocidad, la aceleración y el par de torsión como funciones de tiempo en las uniones, además de las cargas externas.
- Visualizar movimiento 3D mediante trazados.
- Exportar gráficos de salida completos y diagramas a Microsoft® Excel.
- Transferir uniones dinámicas y estáticas, y fuerzas de inercia al análisis de tensión de Autodesk Inventor o a ANSYS WorkBench.
- Calcular la fuerza necesaria para mantener la simulación dinámica en un estado de equilibrio.
- Convertir restricciones de ensamblaje en uniones de movimiento.
- Utilizar la fricción, el amortiguamiento, la rigidez y la elasticidad como funciones de tiempo para definir las uniones.

C. Mecanismo típico de manivela-balancín

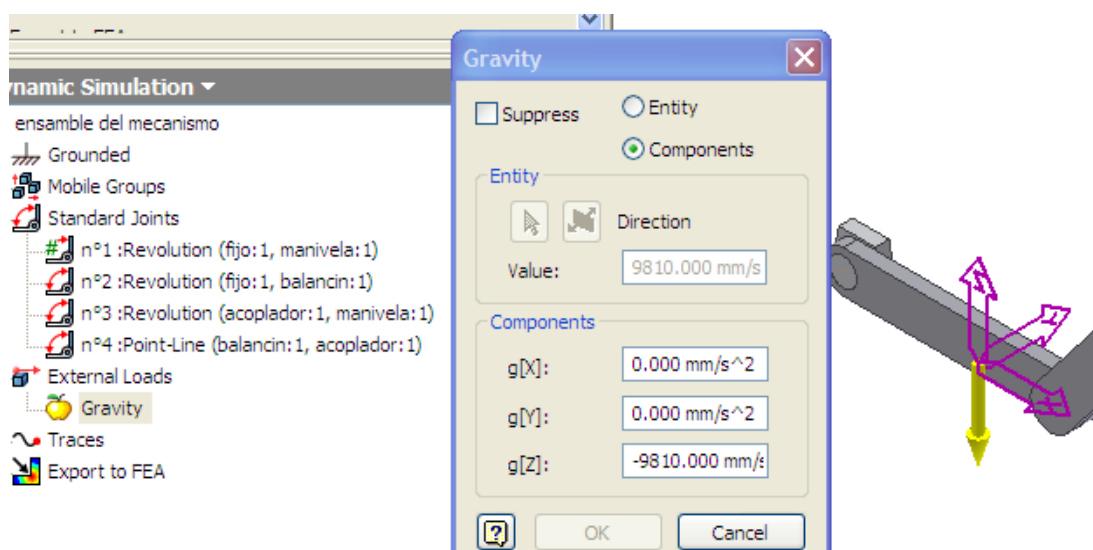


Material:	Acero 1020 (Cold Rolled)
Dimensiones:	Centímetros
Condición de Grashof:	$8 + 25 < 21 + 17$, la condición de Grashof se cumple. El eslabón que gira 360° es el eslabón $a=8\text{cm}$, a 180° como punto inicial.
Velocidad de giro:	180rpm impuesta por un motor.
Fuerzas que actúan:	Fuerza por gravedad y fuerza motriz.
Determinar:	Las gráficas de posición, velocidad, aceleración y fuerza sobre las uniones de eslabonamientos móviles.
Obtener:	La gráfica del par motriz que se necesita para impulsar la manivela a velocidad constante.

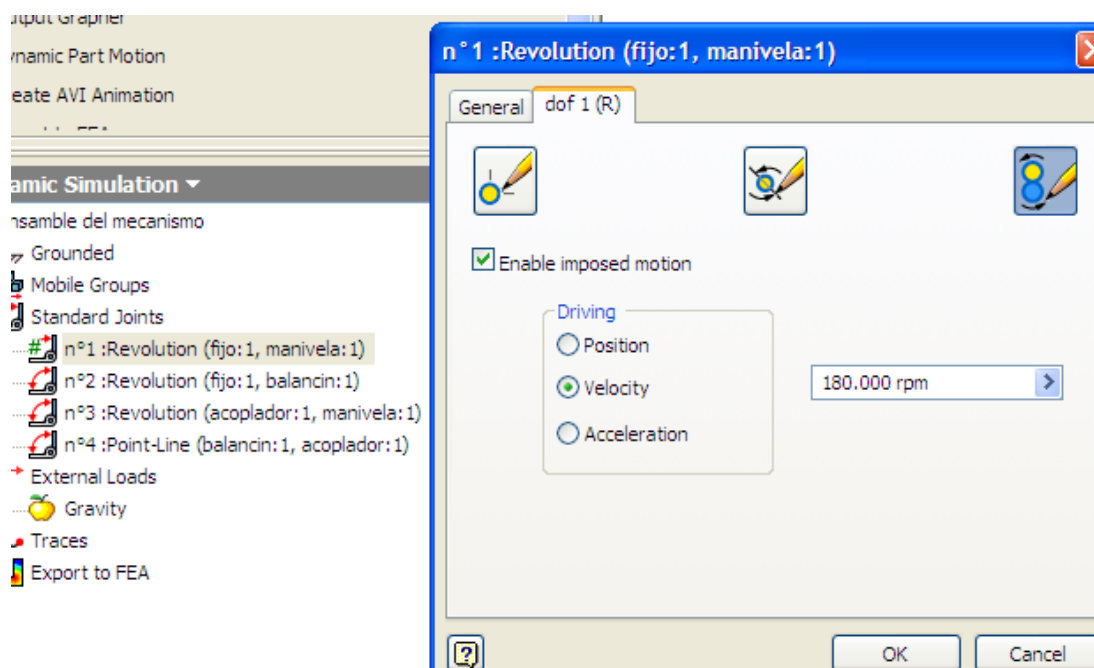
1. Vista del ensamble



2. Introducción de condiciones iniciales



Activar Dynamic Simulation. En "external loads", ubicar "Gravity", presionar con "mouse", seleccionar "component" introducir la dirección de gravedad hacia -Z, colocando el signo (-) previo a valor desplegado: -9810mm/s²



Presionar doble click sobre Eslabón No1., presionar la pestaña DOF 1(R), seleccionar el botón "Imposed Motion", luego marcar la casilla "Enable imposed motion", seleccionar velocidad; constante e introduzca el valor de 180rpm, presionar OK. Ahora ya tiene aplicada una par motriz que le hace avanzar a 180rpm. El valor de este par variará respecto del tiempo.

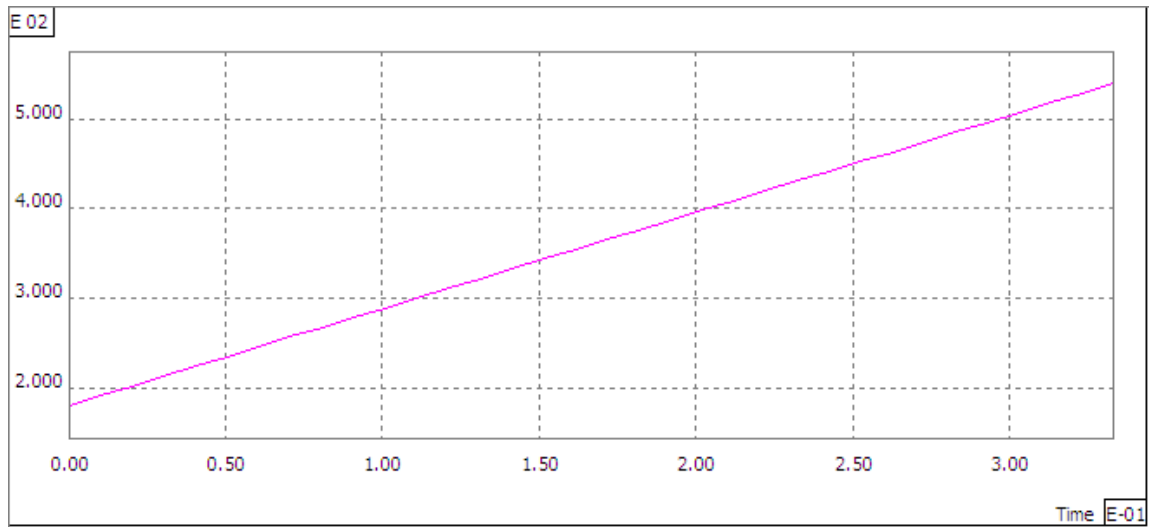
3. Ver resultados en datos y gráficas. Observe los datos de posición, velocidad y aceleración de la manivela, además puede buscar el valor más alto de par motriz. Note que la velocidad es constante y la aceleración es nula.

	Time (s)	p[1.1] (deg)	v[1.1] (deg/s)	a[1.1] (deg/s ²)	Ukin[1.1] (N.mm)
<input type="checkbox"/>	+0.00	+0.00	+1080.00	+0.00	+199.62
<input type="checkbox"/>	+0.01	+10.91	+1080.00	+0.00	+99.53
<input type="checkbox"/>	+0.02	+21.82	+1080.00	+0.00	-58.46
<input type="checkbox"/>	+0.03	+32.73	+1080.00	+0.00	-189.25
<input type="checkbox"/>	+0.04	+43.64	+1080.00	+0.00	-255.03
<input type="checkbox"/>	+0.05	+54.55	+1080.00	+0.00	-263.99
<input type="checkbox"/>	+0.06	+65.45	+1080.00	+0.00	-238.90
<input type="checkbox"/>	+0.07	+76.36	+1080.00	+0.00	-198.26
<input type="checkbox"/>	+0.08	+87.27	+1080.00	+0.00	-152.67
<input type="checkbox"/>	+0.09	+98.18	+1080.00	+0.00	-106.86
<input type="checkbox"/>	+0.10	+109.09	+1080.00	+0.00	-62.25
<input type="checkbox"/>	+0.11	+120.00	+1080.00	+0.00	-18.47
<input type="checkbox"/>	+0.12	+130.91	+1080.00	+0.00	+25.70
<input type="checkbox"/>	+0.13	+141.82	+1080.00	+0.00	+71.64
<input type="checkbox"/>	+0.14	+152.73	+1080.00	+0.00	+119.81
<input type="checkbox"/>	+0.15	+163.64	+1080.00	+0.00	+168.24
<input type="checkbox"/>	+0.16	+174.54	+1080.00	+0.00	+211.31
<input type="checkbox"/>	+0.17	+185.46	+1080.00	+0.00	+240.76
<input checked="" type="checkbox"/>	+0.18	+196.36	+1080.00	+0.00	+249.62
<input type="checkbox"/>	+0.19	+207.27	+1080.00	+0.00	+235.94
<input type="checkbox"/>	+0.20	+218.18	+1080.00	+0.00	+202.94
<input type="checkbox"/>	+0.21	+229.09	+1080.00	+0.00	+156.17
<input type="checkbox"/>	+0.22	+240.00	+1080.00	+0.00	+100.80
<input type="checkbox"/>	+0.23	+250.91	+1080.00	+0.00	+40.72
<input type="checkbox"/>	+0.24	+261.82	+1080.00	+0.00	-21.02
<input type="checkbox"/>	+0.25	+272.73	+1080.00	+0.00	-81.22
<input type="checkbox"/>	+0.26	+283.64	+1080.00	+0.00	-135.07
<input type="checkbox"/>	+0.27	+294.55	+1080.00	+0.00	-174.48
<input type="checkbox"/>	+0.28	+305.45	+1080.00	+0.00	-186.66
<input type="checkbox"/>	+0.29	+316.36	+1080.00	+0.00	-154.98
<input type="checkbox"/>	+0.30	+327.27	+1080.00	+0.00	-67.35
<input type="checkbox"/>	+0.31	+338.18	+1080.00	+0.00	+63.24
<input type="checkbox"/>	+0.32	+349.09	+1080.00	+0.00	+178.89
<input type="checkbox"/>	+0.33	+360.00	+1080.00	+0.00	+199.62

Delete
 Unselect all Curves
Search Max.
 Search Min.
 Search 0
 Local
 Global
 Save Simulation
 Save Values as...
 Print...
 Grapher Options
 Curve Properties
 Post-Processing ▶

A continuación las gráficas correspondientes a posición, velocidad, aceleración y par motriz.

Manivela: Posición vrs. Tiempo



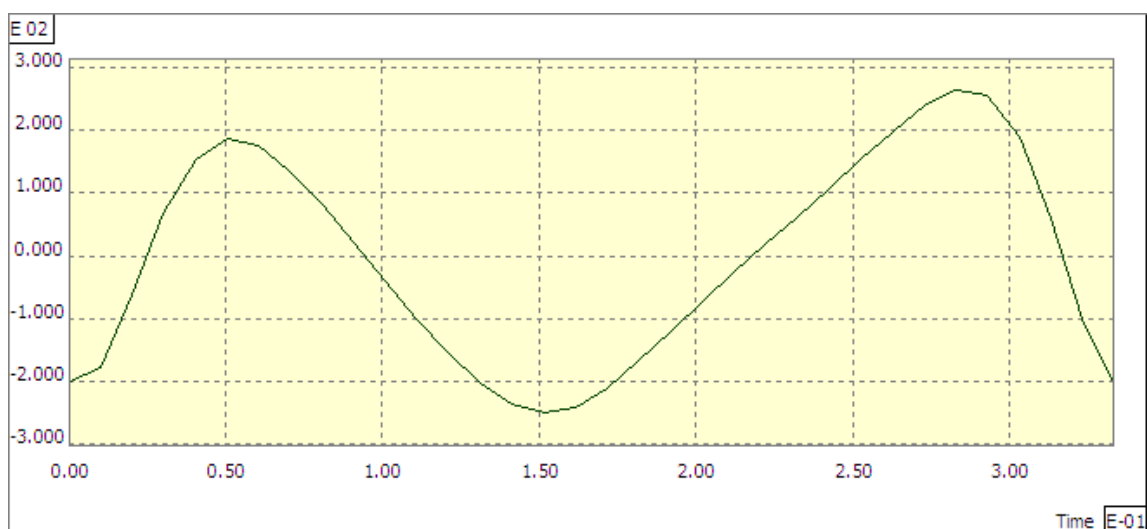
Manivela: Velocidad vrs. Tiempo



Manivela: Aceleración vrs. Tiempo



Manivela: par motriz vrs. Tiempo

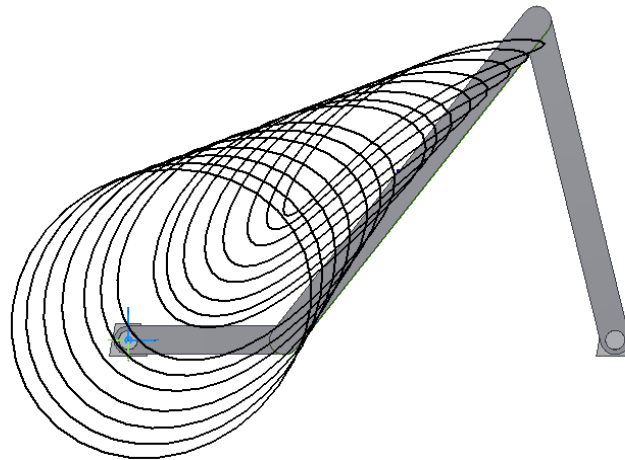


Con la gráfica anterior se puede calcular el área bajo la curva a través de una integral numérica y el valor obtenido se utiliza para dimensionar un volante que permita reducir la potencia del motor que impulse el mecanismo.

9

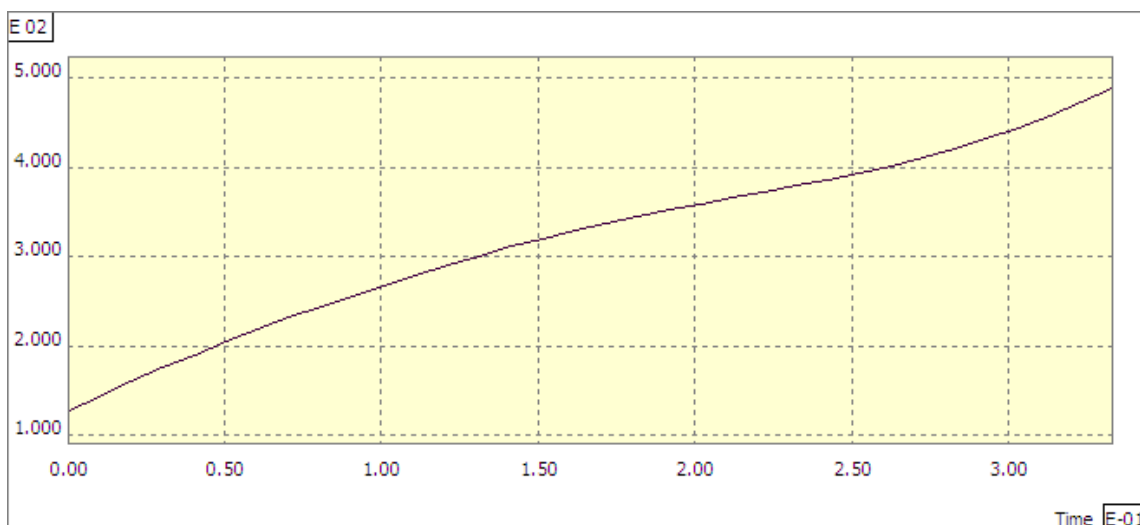
9 Para más información consulte *Diseño de Maquinaria* de Robert L. Norton, primera edición en español., página 543.

Se puede añadir puntos de análisis en "Trace Path" para observar la trayectoria del acoplador en diferentes puntos a lo largo del mismo. Notar que en los puntos cercanos a la manivela, la trayectoria del acoplador se asemeja al movimiento de rotación pura.

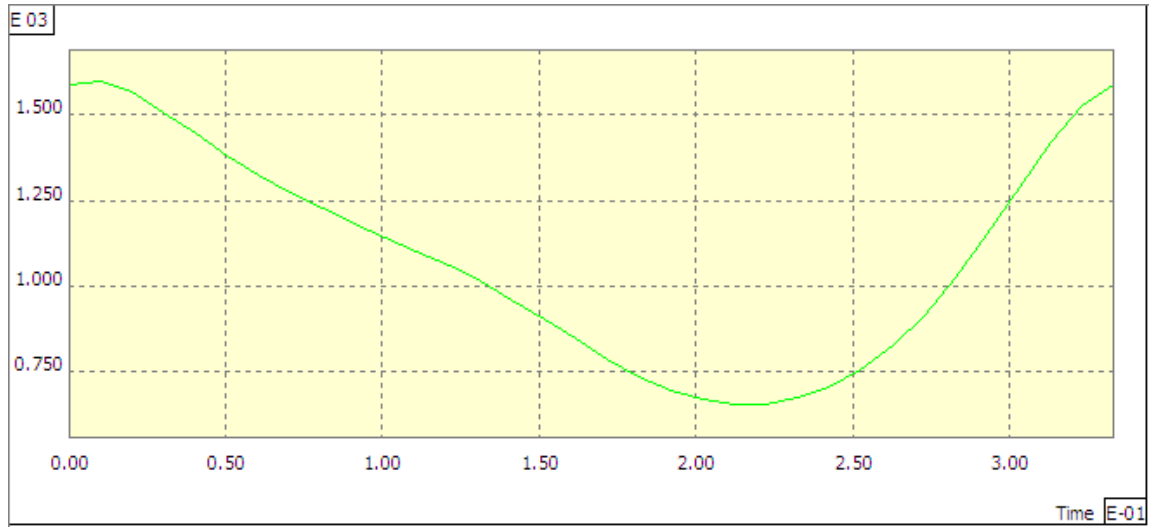


También se puede obtener los resultados de las características de posición, velocidad, aceleración y fuerza de las uniones entre eslabones. Por ejemplo, se muestran las gráficas correspondientes a posición, velocidad, aceleración y fuerza en la unión manivela-acoplador.

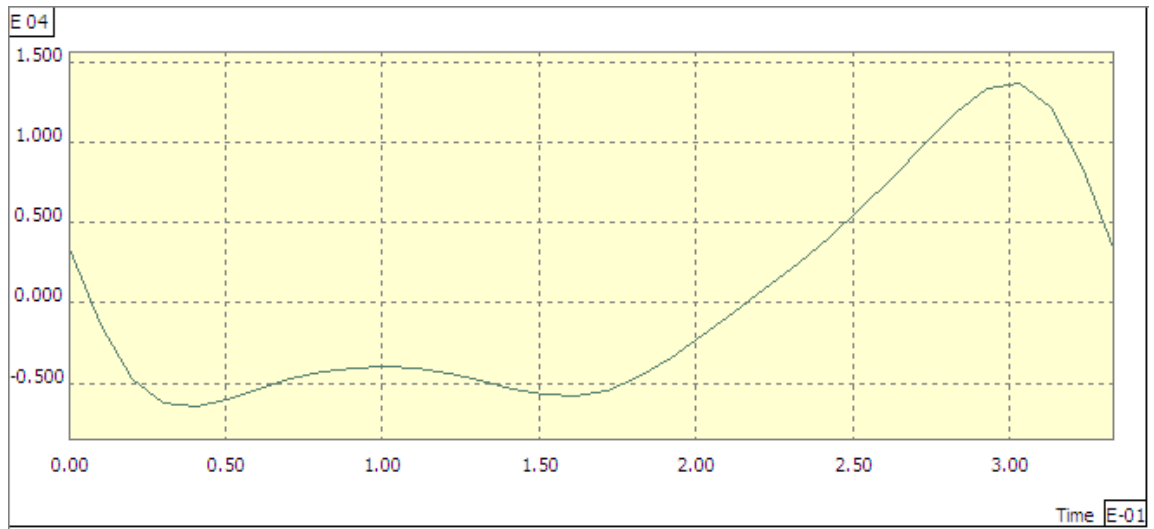
Unión manivela-acoplador: Posición vs. Tiempo



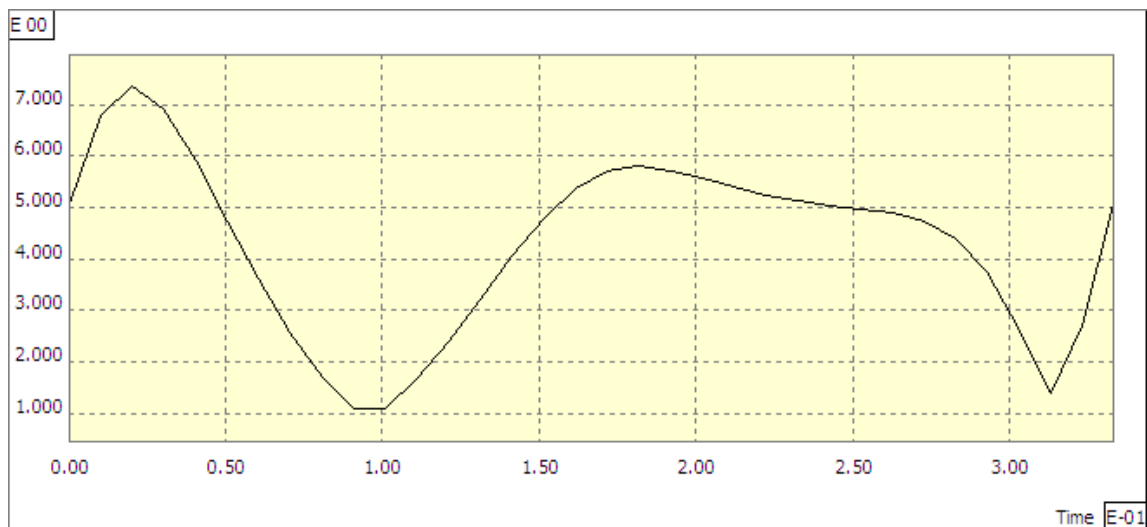
Unión manivela-acoplador: Velocidad vrs. Tiempo



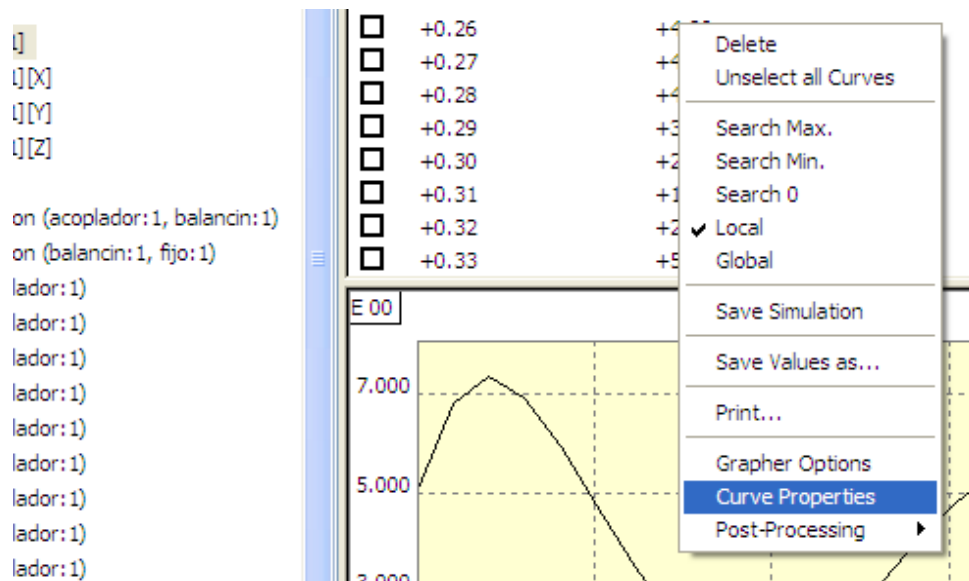
Unión manivela-acoplador: Aceleración vrs. Tiempo



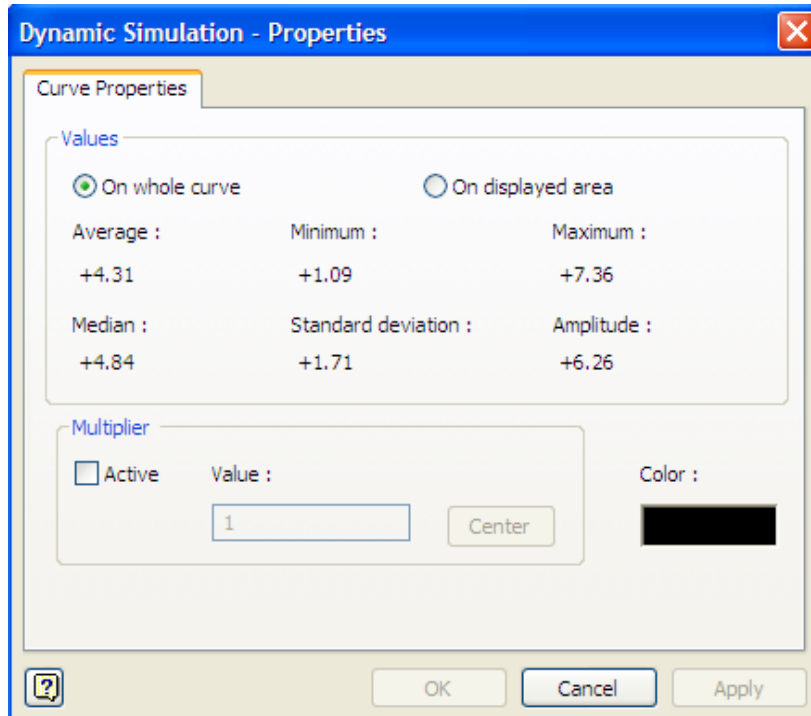
Unión manivela-acoplador: Fuerza vrs. Tiempo



Si necesita más información sobre las curvas mostradas en las gráficas anteriores, presione click del lado derecho del "mouse" sobre el listado de datos y seleccione "Curve Properties".



Observe los valores mínimos, máximo, promedio, mediana, desviación estándar y amplitud.



XI. CONCLUSIONES

La manera de resolver problemas en Inventor Professional 2008 es similar a la manera de resolver problemas en un proceso de diseño real, lo que permite cierto grado de intuición para primeros usuarios diseñadores o ingenieros mecánicos.

El análisis dinámico que resulta en Inventor Professional 2008 utiliza condiciones de fuerzas, momentos y condiciones que están presentes en situaciones reales.

La aplicación de tecnología CAD y la simulación por computadora permite ahorrar tiempo y recursos en la fabricación de costosos prototipos.

Los procedimientos descritos en este trabajo y las características de Inventor Professional 2008 no eliminan en lo absoluto, la necesidad de que el diseñador se prepare en los conceptos fundamentales de mecanismos para interpretar correctamente los resultados obtenidos del análisis. Un uso inadecuado o ilógico del programa generará un error de la misma naturaleza.

Desarrollar y aplicar programas informáticos en la resolución de problemas de ingeniería permitirá a los diseñadores e ingenieros mecánicos situarse en un nivel alto de competitividad, ya que este tipo de tecnología es actualmente parte fundamental en la metodología de diseño de última generación para maquinaria y productos de consumo

XII. RECOMENDACIONES

Mantener actualizado el taller de CAD Avanzado con la última versión de Inventor Professional y un equipo con las condiciones óptimas para su funcionamiento adecuado.

Motivar la utilización de la tecnología CAD en otros cursos y proyectos universitarios, principalmente en el campo de la Ingeniería.

Adquirir un atlas de mecanismos para disposición de los estudiantes del departamento de ingeniería mecánica.

Realizar concursos de diseño de mecanismos de barras para motivar su aplicación y uso en tareas específicas, con fines académicos y comerciales.

Comparar los resultados obtenidos del análisis de simulación dinámica con los resultados teóricos esperados del cálculo matemático.

Integrar esfuerzos de desarrollo de aplicaciones de software entre estudiantes universitarios para ampliar la posibilidad de soluciones efectivas.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Robert L. Norton. 1996. *Diseño de Maquinaria*. Traducción de Francisco Paniagua. 1ª ed. en español. México, McGraw-Hill. 794 págs.
2. Mabie, Hamilton y Fred Ocvirk. 1963. *Dynamics of Machinery*. Wiley International Edition. USA. 527 pages.
3. Webster`s New World Dictionary, Encyclopedic Edition, page 805
4. Doughtie, Venton y Walter James. *Elementos de Mecanismos*. Traducción al español por CECSA, 1era. Publicación. 559 pages.
5. George E. Drabble. 1971. *Applied Mechanics*. Made Simple Edition. London, UK. 198 pages.
6. Buameister, Theodore. Avallone, Eugene A. 1998. *Marks: Manual del Ingeniero Mecánico*. Mexico D.F. 1598 pags.
7. <http://iel.ucdavis.edu/chhtml/toolkit/mechanism/fourbar/> , Autor Anónimo
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Linkage_%28mechanical%29 , Autor Anónimo
9. http://es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia, Autor Anónimo
10. Autodesk. *Para empezar Autodesk Inventor 2008*. 2007. Autodesk Publications. 324 pags.