

CAPÍTULO 4

PRINCIPIOS DE MODELACIÓN DE EVENTOS EN LAGOR.

4.1 Introducción a Algor simulación de eventos (MES).

El futuro de la ingeniería asistida por computadora reposa en la habilidad para representar de forma precisa el comportamiento natural de un producto por medio de la integración de la simulación del movimiento, análisis de tensiones y análisis multifenómeno (multiphysics). La línea de productos MES (Mechanical Event Simulation) de Algor proporciona un laboratorio un “laboratorio virtual” para el estudio de escenarios y situaciones de tal modo que ingenieros de todo tipo de disciplinas puedan entender como trabajarán sus diseños durante la operación en mundo real. [9]

MES combina las posibilidades de análisis cinemática y el análisis por elementos finitos para reproducir simultáneamente movimiento, flexión y tensiones de un mecanismo durante un evento hipotético. Los programas específicos de análisis cinemática, usados para determinar cargas, muestran movimiento rígido y no calculan las rigideces en uniones basadas en propiedades de material. Por tanto, los procesos típicos de transferencia de cargas desde estos programas a paquetes FEA producen resultados muy poco precisos. [7]

MES calcula específicamente cargas y esfuerzos cuando tiene lugar el movimiento en cada instante de tiempo, facilitando un proceso de diseño más eficiente debido a que se

elimina la necesidad de especificar las cargas. MES requiere solamente un modelo, mientras otras implementaciones requieren de modelos separados FEA y cinemáticas. [8]

Los elementos cinemáticos de Algor amplían las posibilidades de aplicación MES a modelos sólidos CAD en toda su extensión. Estos elementos pueden reducir los tiempos de ejecución al mismo tiempo que permiten al ingeniero mantener un modelo sólido detallado o un ensamblaje. Además, MES con modelos de material no lineales puede incorporar modelos de material no lineales, y se puede combinar MES con extensiones de análisis multifenómenos para análisis más avanzados. La visualización en tiempo de ejecución del resultado ayuda a ver la evolución de los esfuerzos según progresa el análisis.

4.2 Beneficios de Algor MES

La simulación de eventos mecánicos MES es capaz de mostrar el comportamiento posterior al fallo, de tal modo que se pueden diseñar productos que, en caso de que ocurra un fallo, éste será de un modo intencionalmente seguro. De esta manera se podrá usar MES para optimizar el comportamiento de componentes, reproduciendo los resultados del laboratorio o de campo, pero sin el tiempo y los costos asociados a ellos. La experiencia acelerada de diseño podrá ser aplicada en otros proyectos [7].

Los productos de Accupak trabajan desde programas de CAD o conectados de algún modo a dichos programas. Debido a que los ficheros de modelado sólo CAD llegan a constituir el centro del ciclo del proceso de diseño, Algor trabaja directamente con dichos modelos o con formatos de fichero universales. [8]

Con este tipo de análisis se puede obtener productos más seguros, en un menor tiempo y siempre al menor costo, ya que evita las pruebas destructivas y el tiempo de espera de los laboratorios, además de que permite probar inmediatamente posibles mejoras al diseño sin necesidad de complejas transferencias.

4.3 Bases de los Análisis

El análisis de tensiones estático tradicional está basado en la ley de Hooke, la cual dice que la fuerza F es igual a la rigidez K multiplicada por el desplazamiento d , ó $\mathbf{F}=\mathbf{Kd}$, donde la fuerza y la rigidez deben ser conocidas para obtener los desplazamientos.

La fórmula empleada es:

$$[\mathbf{M}]\{\mathbf{a}\}+[\mathbf{C}]\{\mathbf{v}\}+[\mathbf{K}]\{\mathbf{d}\} = \mathbf{0}$$

donde:

$[\mathbf{M}]$ = Matriz de masa.

$\{\mathbf{a}\}$ = Vector de aceleración.

$[\mathbf{C}]$ = Matriz constante.

$\{\mathbf{v}\}$ = Vector de velocidad.

$[\mathbf{K}]$ = Matriz de rigidez.

$\{\mathbf{d}\}$ = Vector de desplazamiento.

La cinemática tradicional de cuerpo rígido está basada en la segunda ley de Newton, que establece que la fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración, ó $\mathbf{F}=\mathbf{ma}$. La

simulación de eventos combina la segunda ley de Newton con la ley de Hooke, y por tanto la ecuación fundamental de la simulación de eventos es $\mathbf{ma}=\mathbf{Kd}$.

La simulación de eventos MES simultáneamente reproduce el comportamiento de flexión dinámico de un componente o mecanismo para estimar los esfuerzos que pueden resultar del movimiento o de la interacción entre componentes con otros objetos independientes.

Las principales ventajas de esto son:

Eliminación del cálculo de fuerzas, ya que el software calcula las tensiones basándose en la física del evento. [7]

Visualización en tiempo real donde se detecta como el diseño opera en el mundo real, si el producto falla, cambia de forma o experimenta altas tensiones debidas a muchos factores, incluyendo el movimiento (Accupak/MES y VE) y no lineales de material (Accupak/NLM y VE). [7]

Numerosos modelos de material. La simulación de eventos incluye modelos de material lineal (Accupak/MES y VE) y no lineal (Accupak/MES y VE), que permiten estudiar el comportamiento del mundo real. Por ejemplo, el modelo de material siguiendo una curva de Von Mises (strain-stress) describe un comportamiento no lineal entre deformaciones unitarias y tensiones típicas de metales y aleaciones. [7]

Múltiples fenómenos físicos. MES en conjunción con otros procesadores FEA simula fuerzas derivadas de fenómenos físicos, como transferencia térmica o flujo de fluidos. [7]

Reducción del tiempo de prototipado. MES hace posible el laboratorio virtual, para estudiar distintos escenarios, reproduciendo ensayos sin el costo de tiempo y recursos. [7]

4.4 Aplicaciones de MES

El análisis dinámico se hace cada día más popular, ya que el análisis estático no reproduce adecuadamente el mundo físico. MES con materiales lineales o no lineales tiene innumerables aplicaciones, incluyendo el movimiento de un componente o ensamblaje, impacto, ensayo de caída, contacto generalizado, contacto superficie-superficie, uniones mecánicas, amortiguamiento, efectos hidrodinámicos, deformación elástica y permanente, pandeo local, pandeo snap-through y fractura.

En muchos escenarios de diseño está involucrado el movimiento. Ya sea un componente en movimiento o que interactúa con otro que si lo está, MES permite analizar el evento real usando datos físicos conocidos, lo que permite entre otras cosas considerar lo siguiente:

- La posición del modelo es especificada para mostrar la interacción con los múltiples objetos.
- Las condiciones de contorno que artificialmente fijan un modelo aquí don eliminadas.
- Fuerzas y momentos no necesitan ser especificados, ya que los esfuerzos se generan por el movimiento.
- La duración del evento debe ser especificada, ay que los resultados se dan a lo largo del tiempo.

- Es necesario una razón de captura y presentación de resultados.
- Se pueden usar velocidades iniciales en el caso que sean conocidas las velocidades de los objetos.
- Pueden usarse desplazamientos impuestos para definir un cambio de lugar de un componente durante cualquier momento del evento. [7]

La reducción y aumento automático del tamaño de paso permite un análisis más detallado en los momentos críticos. MES puede determinar flexión fuera del plano a partir de movimiento. El análisis estático de tensiones convencional por sí mismo no puede predecir cambios de geometría perpendiculares a la carga.

4.4.1 Impacto

MES puede simular de forma precisa un impacto del mundo real, de tal modo que se puede determinar si un componente se flexionará, se estirará o deformará son necesidad de un ensayo previo. Sirve además para estimar los parámetros posteriores de ensayo, la instrumentación, deformaciones previstas y puntos de medida.

Para simular más fácilmente diferentes comportamientos asociados al impacto, MES tiene implementada la característica impact-wall o plano de impacto. Los planos de impacto permiten simular el impacto, rebote y deslizamiento de un objeto contra una o varias superficies planas, sin la necesidad de especificar los nodos que hacen contacto.

Algor también puede simular la interacción entre objetos usando el elemento contacto generalizado o las opciones de contacto superficie-superficie.

4.4.2 Contacto y Fricción.

El usuario de Algor puede simular contacto dinámico en eventos en los que se da interacción entre varios objetos, usando bien la opción de contacto entre superficies o bien los elementos de contacto generalizados. Simular movimiento junto con contacto es una característica clave de MES, porque permite al ingeniero obviar las fuerzas del choque (el propio programa las calcula) o hacer estimaciones sobre su magnitud (habitualmente erróneas).

El contacto superficie-superficie simula de forma automática el contacto entre un número ilimitado de superficies, permitiendo que la física del evento se desarrolle tal y como ocurre en la realidad. La utilidad de superficies de contacto es especialmente útil en escenarios donde hay que considerar fricción. El software considera la fricción con los correspondientes coeficientes entre cada par de superficies (fricción estática y dinámica).

El contacto generalizado permite especificar simultáneamente de múltiples fenómenos incluyendo contacto, acoplamiento, amortiguamiento, ruptura y fuerza resistente (en la dirección del contacto y con sentido vectorial). Los elementos de contacto generalizados pueden ser generados de forma automática entre conjuntos de elementos.

También están disponibles elementos de contacto, acoplamiento y amortiguamiento por separado, en eventos donde solamente uno de ellos es necesario para un análisis dinámico concreto. Los elementos de contacto determinan como componentes múltiples de un mecanismo se comportan cuando entran en contacto. Estos elementos requieren una entrada de área de sección, longitud a k_a que se activa el contacto y la rigidez del elemento.

4.4.3 Deformación elástica.

Se produce deformación elástica cuando una carga cambia la forma de un objeto de forma apreciable, pero sin que queden deformaciones permanentes cuando desaparece de nuevo la carga.

Algor puede calcular deformación elástica lineal para objetos metálicos, materiales hiper-elásticos o polímeros, a partir de su forma inicial. Algor también puede tomar en consideración la no linealidad de material (con Accupak/NLM y VE). Frecuentemente materiales hiper-elásticos o polímeros muestran este tipo de comportamiento, como por ejemplo un retén mecánico o el sellado de la junta de un carburador.

4.4.4 Deformación permanente.

La deformación permanente se da cuando un material supera su límite elástico, o lo que es lo mismo, cuando un objeto no recupera su forma inicial una vez que desaparece la carga.

Deformaciones permanentes, tales como pandeo o grietas, pueden darse debidas a estiramiento, flexión o torsión. Debido a que estas respuestas estructuralmente críticas van asociadas con fallos de diseño, la capacidad de Algor de obtener la deformación final es especialmente valiosa para la mejora de productos, determinar causas de fallo y entender los procesos de colapso. Una cosa que debemos resaltar es que Accupak/MES puede mostrar pequeñas deformaciones, mientras que NLM y VE pueden mostrar grandes deformaciones.

4.4.5 Amortiguamiento.

MES maneja tanto el amortiguamiento debido a material como el asociado a amortiguadores, de forma que pueden describir mejor los mecanismos y definir el fenómeno físico dentro de un solo modelo.

La opción de amortiguamiento de material permite tomar en cuenta la disipación de energía resultante de los cambios de deformación dentro de un elemento. Más concretamente, esta forma de amortiguamiento modela la pérdida irreversible de energía mecánica cuando la energía cinética se convierte en calor.

Un amortiguador es un dispositivo lineal de amortiguamiento. En ingeniería se usan amortiguadores para amortiguar vibración y movimientos excesivos que podrían causar una rotura, fatiga o pérdida de confort. Por ejemplo, los sistemas de absorción de choque en un coche disminuye los efectos de viajar por carreteras accidentadas. La fuerza de amortiguamiento se opone al movimiento y es proporcional a la velocidad de un nodo de un elemento relativa a otro nodo.

4.4.6 Uniones Mecánicas.

La simulación de eventos reproduce tanto el movimiento de las uniones mecánicas como las tensiones asociadas a las mismas, las cuales pueden ser causadas en parte por la interacción con otros componentes.

Algor ofrece varios tipos de elementos para generar las uniones:

- Los elementos Coupling permiten restringir el movimiento en uniones mecánicas.
- Los elementos cinemáticos en áreas donde se conozca que se desarrollen tensiones y deformaciones insignificantes. Estos elementos transmiten fuerza y se comportan dinámicamente igual que los elementos flexibles, pero no desarrollan tensiones (son como cuerpos rígidos). El uso de los elementos cinemáticos puede reducir drásticamente los tiempos de ejecución.
- Los elementos Actuadores simulan la extensión y retracción axial en un espacio tridimensional. Es el movimiento típico de los cilindros neumáticos, hidráulicos o solenoides eléctricos. Estos elementos pueden reproducir movimientos complejos controlados por un ordenador en el tiempo y en cualquier dirección.

Las uniones entre componentes mecánicos se pueden analizar de forma mucho más precisa con MES que con programas de análisis cinemático. Esto se debe a que MES describe el movimiento flexible y las tensiones de forma simultánea y por tanto la transferencia de las fuerzas a otro software distinto desaparece. A diferencia del software cinemático, MES también considera propiedades del material cuando calcula la rigidez de las uniones, y toma en cuenta la resonancia y la rigidización por carga.

4.5 Análisis multifenómeno (multiphysics) en simulación de eventos.

Algor permite la integración de movimiento, análisis de tensiones y multifenómeno (transmisión térmica, flujo de fluidos o electrostática), para que así de forma precisa se

pueda simular el comportamiento físico de un producto en su entorno natural. La plataforma de software de interfaz único de Algor tiene recursos para de forma sencilla transferir los resultados de un análisis térmico, un flujo de fluido o un análisis electrostático a una simulación de eventos.

Por ejemplo, Algor puede automáticamente aplicar los resultados de un análisis térmico transitorio a una Simulación de Eventos para obtener las tensiones térmicas, incluso la duración del evento y el parámetro “capture rate” (resultados por unidad de tiempo) difieren entre ambos análisis.

4.6 Paquetes de actualización Inertial Load Transfer.

La actualización para transferencia de carga de inercia añade a Accupak/MES y Accupak/VE la posibilidad de extraer cargas generadas en un evento. A diferencia de otras soluciones ofrecidas por otros competidores FEA, Algor incluye una distribución detallada de fuerzas debido al movimiento de masas dentro de un componente o ensamblaje. La actualización también es aplicable cuando las cargas son el resultado de un contacto superficie-superficie. Todo en un mismo paquete de análisis (no necesitamos uno de cinemática y otros de tensiones FEA)

El analista puede comenzar con un modelo sólido CAD y llevar a cabo un análisis MES usando elementos cinemáticos, los cuales están incluidos en la actualización de cargas de inercia. Entonces, en un instante específico, puede transferir las cargas generadas a un modelo estático. Las fuerzas y momentos pueden opcionalmente ser filtradas. También se pueden aplicar condiciones de frontera de forma automática.

La principal ventaja de los elementos cinemáticos de Algor es la de reducir tremendamente los tiempos de ejecución en modelos de análisis no lineal, partiendo directamente de modelos sólidos CAD, ensamblajes y mallado automático. Los elementos cinemáticos se comportan dinámicamente igual que elementos flexibles, salvo que éstos desarrollan tensiones y deformaciones unitarias, y los elementos cinemáticos no. Se podrán insertar elementos cinemáticos en aquellas áreas del modelo sólido CAD o ensamblaje en que los efectos dinámicos son esenciales pero los esfuerzos tienen una importancia secundaria [8].

A los elementos cinemáticos se les pueden imponer condiciones de frontera, pueden ser cargados con fuerzas, presiones o gravedad. Poseen masa y pueden transmitir fuerzas, produciendo movimiento y tensiones en los elementos flexibles adyacentes. Tienen también posibilidad de establecer contacto, pueden interactuar con paredes de impacto y con distintos objetos con otros tipos de elementos diferentes.

La diferencia en la velocidad de ejecución gracias al uso de elementos cinemáticos es impresionante. Un modelo de aproximadamente 37,659 elementos de tipo bloque a partir de un ensamblaje CAD se comparó con un modelo que utilizaba 7,622 elementos flexibles y 30,037 cinemáticos. El modelo combinado completaba un paso 161 veces más rápido que el modelo con el 100% de elementos flexibles [7].

Todos estos beneficios recomiendan el uso de la metodología de los elementos finitos donde se permite realizar análisis completos desde las etapas tempranas de diseño, contribuyendo a mejorar enormemente el modelo a realizar de una forma eficaz y sostenible.