

CAPITULO 3

PRINCIPIOS DEL MÉTODO DE ANÁLISIS POR ELEMENTOS

FINITOS Y DESCRIPCIÓN ALGOR FEA V16.0

3.1 Introducción y Principios Básicos.

El método de Análisis de Elementos Finitos (FEA), es una aproximación numérica que se usa para resolver problemas que conciernen a la ingeniería, se basa en fórmulas y cálculos que muchos ingenieros usaban de manera tradicional, actualmente esta aproximación se lleva a cabo con la ayuda de una computadora facilitando el trabajo de llevar a cabo este cálculo. (Williams, 2005ⁱ)

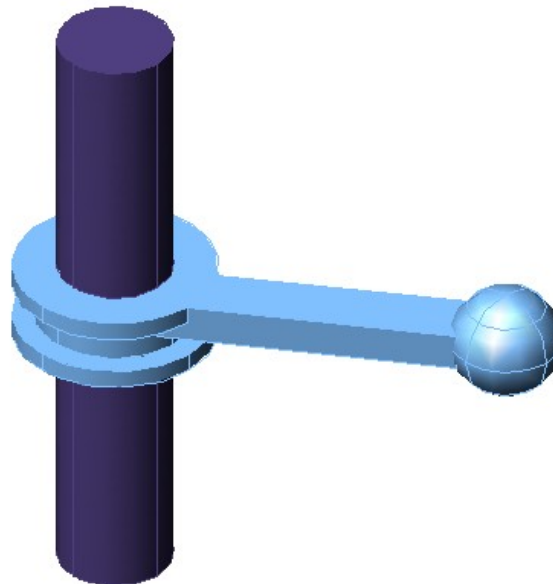


Figura 3.1: *Modelo en AUTOCAD, Elemento Mecánico.*

La discretización, es un proceso de modelación que consiste en la división de un cuerpo, de manera equivalente, en un sistema que se conforma por cuerpos de menor tamaño a los que les daremos el nombre de “Elementos Finitos” (Clough 1960ⁱⁱ), que son conectados entre sí por medio de puntos comunes llamados nodos, éstos a su vez pueden llegar a formar superficies y volúmenes de control completamente independientes entre sí, y que son afectados por las condiciones de frontera que afectan al cuerpo estudiado.

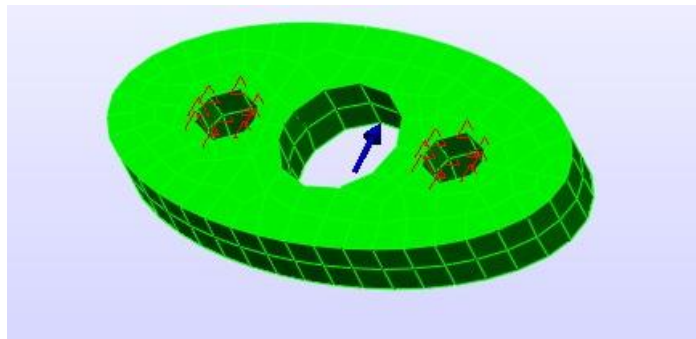


Figura 3.2: Discretización de un Modelo Mecánico.

Según Pérez, la frase “Elementos Finitos” fue introducida por primera vez en 1960 por Clough al usar elementos triangulares y rectangulares para el análisis de esfuerzos (Clough en Pérez 2004ⁱⁱⁱ). Dicho de otro modo, un modelo de Elementos Finitos es una representación discreta de una parte continua, que se va a analizar, como se muestra en la figura 3.2. Esto se lleva a cabo mediante la utilización de nodos, los cuales se van conectando para formar elementos. Un nodo es la representación discreta de esa parte continua que se analizará y donde se predice el resultado debido a las cargas aplicadas.

La malla comprende a todo el conjunto de elementos que une a los nodos, es debido a ella que se podrán transferir las cargas a través de los elementos pero para que estas cargas se puedan transferir de una parte a otra de manera satisfactoria se necesita que todos los nodos

sean comunes donde estos se junten. La respuesta que el análisis arroje estará ligada a los grados de libertad a los que los nodos estarán sujetos. Según el software para los análisis estáticos es posible hasta 6 grados de libertad para cada nodo, tres componentes para rotación y tres para traslación, y esto tendrá una relación con el tipo de elemento que se seleccione, (por ejemplo; viga, placa, elementos 2-D y 3-D, etc.), así serán los grados de libertad a los que estarán sujetos. Después de someter al análisis la pieza modelada, a partir de las suposiciones de los materiales y el entorno, el diseñador se dará cuenta en términos simples cuál es el punto más débil de la pieza, cual es el comportamiento de la misma y bajo que condiciones de trabajo se presentará la falla.

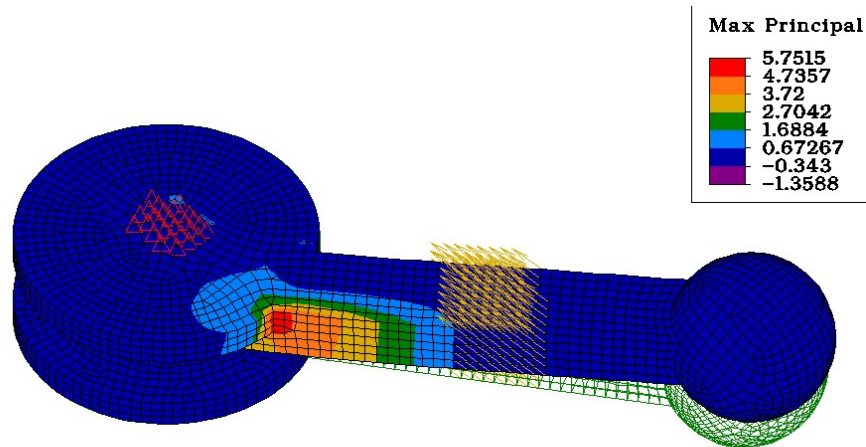


Figura 3.3: Resultado del Análisis de Esfuerzos en Cargas Estáticas en el modelo y su Desplazamiento.

3.2 Base del Método de Elementos Finitos.

En las aplicaciones prácticas de la mecánica de sólidos la totalidad de los eventos que se presentan pueden agruparse en dos problemas: los asociados a Sistemas Discretos y los asociados con los Sistemas Continuos.

En los primeros el elemento a analizar se encuentra dividido de manera natural, es decir, en elementos claramente definidos. Por ejemplo, el análisis de la estructura de una torre donde cada una de las vigas que lo constituye es una entidad que está aislada y definida. Para los segundos el sistema no puede ser dividido en forma natural, por lo que el análisis de estos sistemas resulta mucho más complejo.

Ahora bien el método de elementos finitos se puede entender como una generalización de las estructuras para pasar de un sistema discreto a uno continuo. El principio de este método recae en la reducción de un problema que tiene un número infinito de grados de libertad a un problema finito, donde intervendrán un número finito de variables que estarán asociadas a los nodos. Con esto las incógnitas de este problema dejan de ser funciones matemáticas, para convertirse en valores de estas funciones en un número infinito de puntos.

Bajo estas premisas el Método de Elementos Finitos supone que el comportamiento mecánico de cada una de las partes o elementos que conforman a dicho cuerpo, en los que lo subdivide, quedará definido por los grados de libertad asociados a los nodos. Supone también que dentro de cada elemento el comportamiento que éste presente quedará

perfectamente definido dependiendo de lo que suceda en los nodos a través de interpolaciones en los mismos.

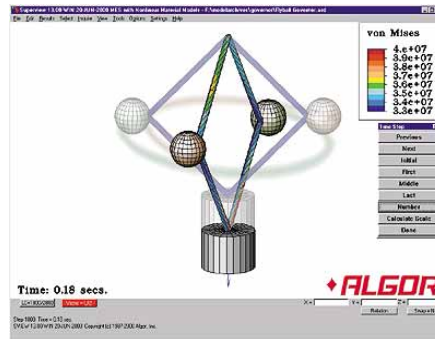


Figura 3.4: Representación del Movimiento de un Elemento Mecánico en ALGOR.

Los pasos que éste Método persigue para obtener las aproximaciones a los fenómenos a los que se someten los modelos son los siguientes:

- Discretización del elemento a analizar.
- Interpolación entre los nodos del elemento.
- Utilización de Métodos numéricos para su solución mediante la aplicación de principios de mecánica, mecánica de fluidos, transferencia de calor, electromagnetismo, etc.

3.2.1 Matriz de Rigidez

Estos métodos numéricos involucran la creación de una matriz que exprese la relación entre las fuerzas y los desplazamientos. A esta matriz se le conoce como matriz de rigidez (stiffness matrix) y se representa bajo la siguiente ecuación:

$$F = K D \quad (3.1)$$

Donde K es la matriz de rigidez, D representa los desplazamientos nodales y F las fuerzas aplicadas al sistema. Se deberá tomar en cuenta que tanto los desplazamientos como las fuerzas representan vectores de orden igual al número de grados de libertad de los nodos.

Se entiende por rigidez a la resistencia que opone un elemento frente a una deformación dada por la acción de fuerzas. Una estructura rígida es aquella que presenta mayor oposición a la deformación. Se deberán tomar en cuenta dos propiedades de la matriz de rigidez con respecto a la solución del algoritmo, el primero es que la matriz debe ser simétrica, es decir, que tenga el mismo número de filas y columnas, y el segundo es que la matriz deberá ser definida positiva, con esto se deberá buscar que no se presenten términos negativos en la matriz y que no haya términos cuyo valor sea cero en la matriz diagonal.

3.2.2 Tipos de Elementos

Hay muy pocos grupos básicos en los cuales se dividen los tipos de elementos, entre ellos se encuentran armazones, membranas, ladrillos o bloque, vigas, elementos elásticos, holguras, resortes, placas y elementos amortiguados.

3.2.3 Elementos Tipo Viga (Beam)

Estos tienen dos nodos, uno en cada extremo, pero presentan grados de libertad de tipo rotacional, cada nodo presenta 6 grados de libertad (3 desplazamientos y 3 rotacionales). Para este tipo de elementos es esencial proporcionar el área de sección transversal, y su momento de inercia, ya que con solo dos nodos no se puede determinar la geometría.

3.2.4 Elementos Tipo Placa (Plate)

Estos elementos al igual que los de tipo viga presentan seis grados de libertad por nodo y son un subconjunto de los elementos tipo viga. Son muy útiles cuando la geometría del elemento es muy complicada y/o es hueca. Comúnmente presentan un solo nodo en sus vértices y el grosor deberá ser especificado como una constante.

3.2.5 Elementos Tipo Armadura (Shell)

Estos elementos se utilizan en estructuras como torres, puentes y edificios. Tienen tres grados de libertad solo para la rotación. Tienen área constante y se presentan en análisis de tipo elástico. Por lo regular la longitud del elemento es mucho mayor a su ancho a razón de 8 a 1, o si las fuerzas externas se aplican en las articulaciones.

3.2.6 Elementos Tipo Membrana (Membrane)

Se forman por la unión de tres o cuatro nodos, se emplean para modelar objetos tales como redes o tejidos. Tienen tres grados de libertad y no presentan grados de libertad rotacionales. Por lo regular estos elementos no presentan tensiones normales al plano.

3.2.7 Elementos Elásticos.

Presentan 2 grados de libertad y se utilizan para simular empaques o rodamientos, se forman por la unión de tres o cuatro nodos. No presentan grados de libertad rotacionales.

3.2.8 Elementos Tipo Ladrillo o Bloque (Brick)

Se forman de la unión de seis u ocho nodos que forman caras en un plano tridimensional, se emplean para materiales isotrópicos y no presentan grados de libertad rotacionales. Se emplean cuando se desea conocer los esfuerzos colineales al grosor, únicamente se aplicarán fuerzas y no momentos en el elemento o si el modelo tiene una fuerza hidrostática aplicada.

NOTA: Para el caso estático ALGOR® utiliza la teoría de la distorsión de la energía, ya que ofrece un cálculo en extremo preciso de falla en materiales dúctiles que se someten a la acción de cargas estáticas, tensiones combinadas, por esfuerzo de corte, etc. Estableciendo que la falla se origina cuando la tensión de Von Mises excede la resistencia a punto cedente del material ($\sigma > S_y$).

3.3 Estructura de un programa de Elementos Finitos.

A partir de lo expuesto anteriormente, pasaremos a explicar de manera sencilla la estructura de un software de FEA. Un programa de elementos finitos es una pieza compleja, en la cual se llevan a cabo numerosas operaciones y donde no todas ellas se limitan al cálculo de soluciones, para esto estos programas se encuentran divididos en secciones y subsecciones que efectúan operaciones determinadas. La preparación de los datos y el análisis de los resultados que resultan de los cálculos llevados a cabo, son procesos que por lo general tienden a integrar su propio software. Por lo tanto la estructura consta de un procesador,

donde se incluyen todas las herramientas para preparar, modelar e insertar los datos que generarán los archivos con los resultados y un post-procesador que hará el análisis y la interpretación de los resultados.

Los siguientes tipos de análisis que deberá incluir éste post-procesador son los más comunes dentro de un programa de Elementos Finitos: El Análisis Estático, El Análisis Dinámico (Este abarca 3 tipos de Cálculos: De frecuencias y modos de vibración, de respuesta en función del sistema, y de respuesta a una sollicitación transitoria), Análisis de Transferencia de Calor, de Mecánica de Fluidos, y Electromagnetismo.

3.4 Consideraciones para el Análisis.

Al utilizar cualquier programa de FEA y en cualquier escenario de análisis, el ingeniero necesita saber primero a que tipo de fenómenos físicos estará expuesto su diseño para poder decidir que tipo de análisis deberá realizarse. La gran mayoría de los ingenieros dirigen sus esfuerzos para aumentar al máximo la durabilidad de los materiales para resistir las tensiones mecánicas creadas durante su uso en el mundo real.

Por lo tanto el primer paso para hacer este tipo de análisis es, determinar, si el diseño estará sujeto a condiciones estáticas o dinámicas. Para esto, durante años, los ingenieros han usado el software lineal y el no-lineal de FEA para calcular las tensiones a un solo tiempo, ya que éste método puede proporcionar resultados muy confiables si la base es completamente estática y si el diseño no experimentará impacto, movimiento o cambios con respecto al tiempo en las cargas que se le apliquen.

Sin embargo, si el problema no involucra completamente la estática, ni siquiera un experto en FEA podrá asumir correctamente las cargas y los límites como para poder definir si usará el software lineal o el no-lineal de FEA para validar su diseño de manera correcta. La mejor alternativa en éste caso será simular el escenario con la mayor precisión posible de manera que se eviten, tanto como sea posible, los errores que resultan de asumir las fuerzas o las cargas.

Actualmente hay varios métodos para simular estos eventos. Uno de ellos es la simulación de movimiento a gran escala, el cual, llega a ser crítico para poder reproducir de manera fiel la conducta, en el mundo real, de los mecanismos con precisión y determinar de qué manera los componentes se comportarán en las situaciones que involucren impacto, contacto, etc. Con esto el beneficio que se obtiene del FEA resulta que estos modelos pueden determinar la deformación resultante y las tensiones con bastante precisión sin la necesidad de asumir las fuerzas que actuarán durante el desarrollo del evento mecánico. Para esto según Williams hay dos métodos disponibles:

1. (Motion Load Transfer) Traslado de Carga en Movimiento, pide que se use por separado un paquete de cinemática para poder obtener las cargas aproximadas que necesita el FEA. Por consiguiente, no se podrá simular el movimiento del elemento finito, en cambio se utilizará para realizar un análisis de tensión estático (Williams, 2005^{iv}).

2. (Explicit Timestep Method) Método de periodo de tiempo, el cuál determina una solución al correr del tiempo, al extrapolar los resultados de la solución del periodo de

tiempo anterior. Este método resulta rápido para un periodo de tiempo definido, pero requiere de muchos periodos pequeños para completar problemas que involucren problemas de movimiento a gran escala, a menos que uno se salte algunos pasos para llevarlo a cabo esto puede resultar impráctico. Además, puede ser necesario el conocimiento detallado de las soluciones de dicho modelo de elemento finito para lograr resultados fiables (Williams, 2005^v).

En éste método la tensión basada en el FEA y el análisis de movimiento utilizan un periodo de tiempo predefinido para dar una solución eficaz y muy exacta. Este tipo de software produce movimiento, deformaciones y tensiones de manera simultánea en un proceso que en ingles significa “Lo que se ve es lo que se obtiene” (Williams, 2005^{vi}). Éste proceso es muy estable y sólo requiere que el usuario especifique la duración de este evento mecánico y una proporción para la captura de resultados, con el fin de obtener una solución exacta, además pueden modificarse los periodos de tiempo para que en determinado caso se procesen tiempos de captura de datos en intervalos de tiempo mayores, en donde no se tenga ninguna tensión en el modelo y acortar estos intervalos de tiempo en el caso de analizar impacto, tensión o cargas aplicadas.

Los ingenieros que quieran realizar un FEA dentro de un ambiente de CAD, deben asegurarse que la solución que escogieron de CAD/FEA ofrezca la capacidad de simulación dentro de FEA. Así como también es importante que el software de FEA proporcione las herramientas necesarias para ayudar en la comprobación de los análisis de cualquier diseño. Se buscaría que este software no sólo tuviese las herramientas que incluyan desplazamiento y contornos de tensión, sino también los contornos de precisión que nos proporcionan

indicaciones cualitativas y cuantitativas a las que un modelo obedece al someterlo a la teoría de elementos finitos.

A menudo, el análisis y las suposiciones que el ingeniero hace al modelo determinarán que tan sencillo será interpretar los resultados. Cabe señalar que los resultados deberán ser interpretados de alguna manera, por ejemplo, comparar los valores obtenidos con respecto al rendimiento del material que se uso en determinado análisis. O bien si el modelo en cuestión involucra movimiento, alguna deformación o bien un impacto, estos resultados pueden grabarse en un archivo de animación.

Estas herramientas podrán ayudar al preparar una presentación de resultados a otros ingenieros e incluso a personas no afines al área de la ingeniería, como gerentes o clientes. Al considerar cuidadosamente para el análisis, la planeación y la interpretación de los resultados ayudará a que se presenten de manera más confiable los proyectos de diseño basados en los resultados de FEA. (Williams, 2005^{vii})

3.5 Descripción de ALGOR FEA V16.0

ALGOR, es un software desarrollado por la compañía Algor Inc. El cual incluye herramientas para diseño, análisis y simulación que permiten a los ingenieros probar de manera virtual y predecir a través de un comportamiento muy similar al real, de los diseños de los productos ya que éstos sean nuevos o que ya existan en el mercado. A continuación explicare las novedades de este software con respecto a versiones anteriores del mismo.



Figura 3.5: Logotipo de ALGOR FEA V16.0.

La nueva versión de este software, ALGOR V16.0, ofrece una nueva red paramétrica que está estructurada para el Análisis de Elementos Finitos FEA para modelos en 2-D y 3-D, así como para crear las mallas en dichos modelos de una manera más sencilla, con la flexibilidad de efectuar cambios posteriores en el diseño. Esto proporciona un ahorro de tiempo al no tener que modificar los modelos físicos al efectuarle las pruebas necesarias.

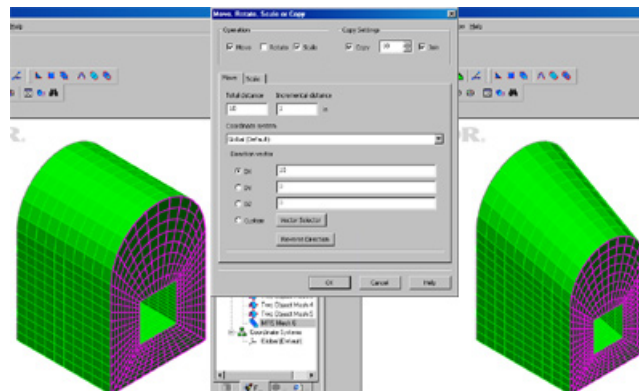
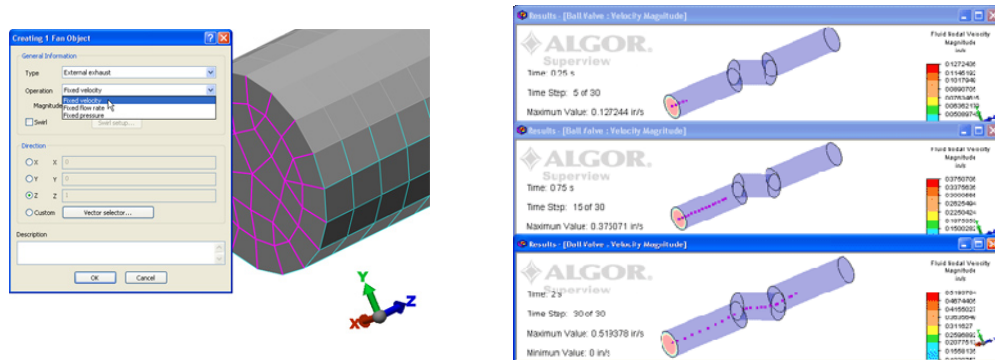


Figura 3.6: Imagen que muestra la creación de la malla paramétrica en un dibujo de 3-D en ALGOR V16.0.

Los efectos del flujo de fluidos, pueden ser simulados fácilmente aplicando una carga en la superficie. Esto permite a los usuarios simular sistemas de CFD complejos de una manera más realista. Así como también podrán visualizar el flujo de las partículas al analizar un flujo de algún fluido. Esto facilita la evaluación de los resultados y mejora las capacidades de presentación para las simulaciones de CFD.



Figuras 3.7 y 3.8: Ejemplos de herramientas para la simulación de CFD en ALGOR.

Este nuevo software, toma los datos proporcionados de manera directa desde KeyCreator (anteriormente conocido como CADKEY) incluyendo la lectura automática de la parte seleccionada, los colores de la piezas, y el sistema de unidades. También mantiene un API y la documentación de los resultados de manera que los usuarios pueden acceder a éstos fácilmente y personalizarlos para la optimización del diseño.

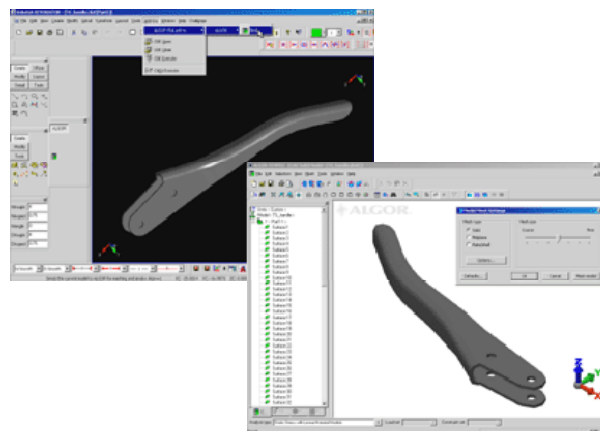


Figura 3.9: Ejemplo de la adaptación de un sólido importado en KeyCreator a ALGOR.

Como una opción nueva, este software utiliza un nuevo sistema que sondea, diagnostica e identifica áreas de posible dificultad entre superficies de contacto, antes de someterlas al modelo de Simulación de Eventos Mecánicos (MES). Esto se ejecuta automáticamente sobre las áreas del problema de contacto para proporcionar al usuario la información sobre como se comportará esta unión. Esta información ayuda a los usuarios a determinar si los elementos necesitan de alguna modificación en el diseño.

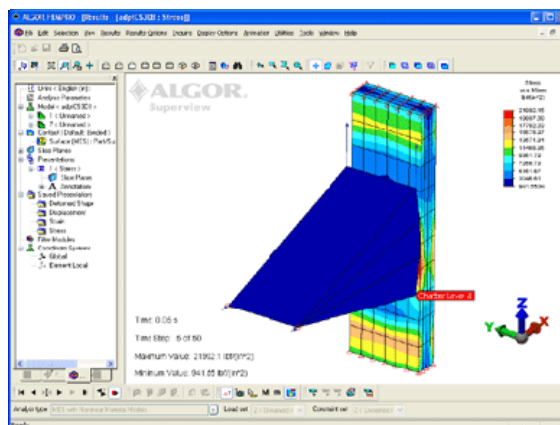


Figura 3.10: Ejemplo del sondeo entre las superficies de contacto.

3.6 Principios de modelación de ensambles mecánicos en algol utilizando (MES).

La ingeniería asistida por computadora, siempre se encontrará íntimamente ligada a la habilidad del usuario de representar de forma precisa el comportamiento de los fenómenos a los que los modelos estarán sujetos durante su análisis. El obtener resultados que sean confiables es uno de los problemas a los que nos enfrentamos durante la modelación de cualquier evento mecánico, porque como mencionó anteriormente el cálculo de Elementos

Finitos no es sino tan solo una aproximación numérica del comportamiento de estas geometrías al aplicarles condiciones de frontera, y esto sin tomar en cuenta que el mismo modelo en la realidad estará sujeto a condiciones como temperatura, gravedad o algún otro factor que afecte a nuestro modelo.

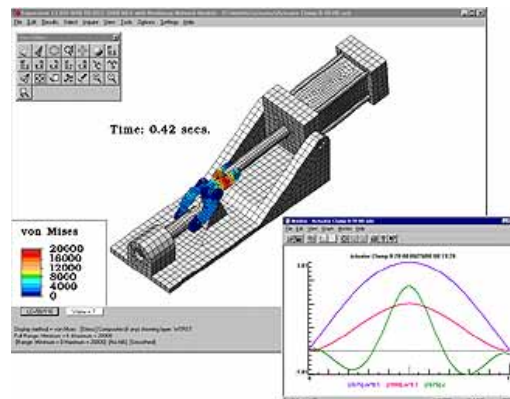


Figura 3.11: Simulación de un Evento Mecánico en un Ensemble.

Los paquetes que involucran el FEA en su parte lineal han exigido siempre una especialización muy pequeña por parte de los ingenieros excepto en un solo aspecto, al estimar o calcular las cargas aplicadas al modelo. Aplicarlas al modelo dentro de ALGOR no es una tarea complicada, pero si estimar su magnitud y su dirección. En la actualidad con el uso de nuevos materiales y los altos niveles de resistencia que los consumidores exigen, muy pocos análisis, en la práctica, son solo lineales o estáticos.

Por lo tanto para encontrar una solución que facilite esta estimación, se proporciona un paquete de cinemática que nos ayuda a obtener las cargas que representan los efectos del movimiento y el Análisis de Elemento Finito para obtener las tensiones basadas en esas cargas. Este acercamiento requiere de un acto de fe al asumir las deformaciones causadas

por las cargas aplicadas al modelo que se analizará. Por lo que se utiliza un análisis estático lineal para resolver problemas en donde interviene movimiento.

3.7 Simulación de Eventos Mecánicos (MES).

La técnica que ALGOR utiliza para resolver estos problemas recae al emplear la Simulación de Eventos Mecánicos (MES), esto, según Decker (2005, ¶ 5^{viii}), es la culminación de años de estudio y desarrollo que dieron lugar a este módulo tres años atrás. Este es un método que acopla el movimiento del elemento mecánico con un análisis de tensión. MES utiliza cálculos no lineales de FEA dependientes del tiempo para poder responder a fenómenos como inercia, forma y conducta del material del modelo. Esto hace que no exista la necesidad de calcular o estimar las cargas al usar MES; en este caso las fuerzas y los momentos serán automáticamente equilibrados según las leyes de Newton de Movimiento. A pesar de que esta técnica es muy rigurosa es una de las mejores opciones al analizar modelos que experimenten contacto en su superficie. La práctica común aproxima los efectos de dichos efectos, por ejemplo, impactos usando cargas estimadas fuera del Análisis de Elementos Finitos. Al usar MES, además de permitir la interacción dinámica de un ensamble de piezas, flexiones y movimiento; se elimina la necesidad de estimar estas cargas al simular el evento entero asociando con el impacto, incluso el cuerpo mientras cae, el momento del impacto, y los rebotes del cuerpo mientras este va siendo deformado, todo esto mientras se proporciona al diseñador datos sobre las tensiones, deformaciones y puntos críticos del modelo.

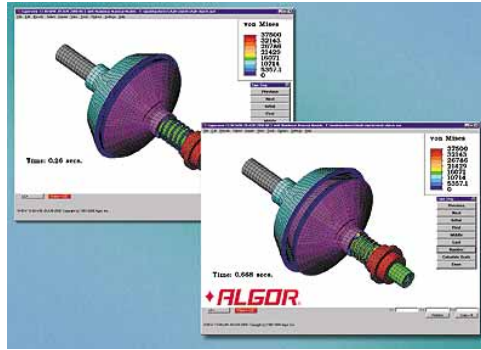


Figura 3.12: En este MES, un mecanismo de embrague de cono se modela usando el contacto de la superficie junto con los efectos friccionales.

3.8 Ventajas de la Simulación de Eventos Mecánicos (MES).

Según Decker una de las ventajas primordiales del uso de MES, es la capacidad de mostrar el comportamiento de los modelos a analizar antes, durante y después del evento, por lo que los ingenieros de diseño utilizan éste módulo para optimizar el comportamiento de los componentes de los cuales estará conformado el modelo, y en caso de presentarse algún evento que éste sea de un modo predecible para poder controlarlo.

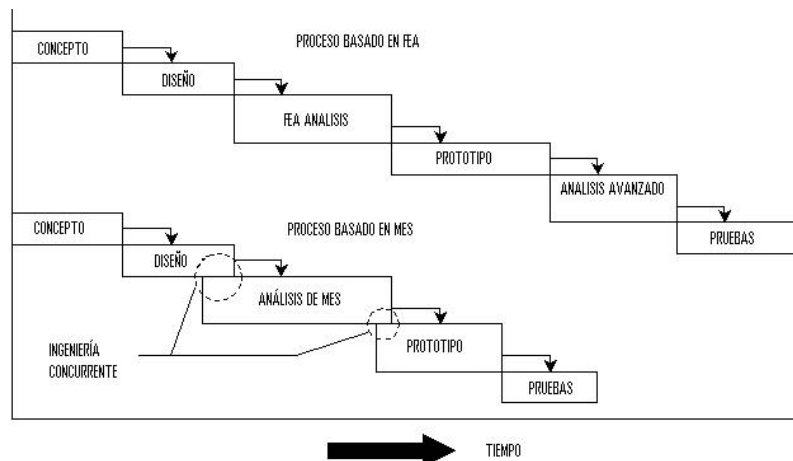


Tabla 3.1 Diferencias entre los procesos de diseño empleando como método el FEA y empleando MES propuesto por Decker.

Nótese la diferencia entre el tiempo necesitado para llevar a cabo cada uno de los procesos.

El uso de MES le permite al ingeniero enfocar desde el principio “la física” del problema, en lugar de procedimientos no-intuitivos o las cargas complicadas y los límites condicionales como se requiere por el cálculo de FEA tradicional. También puede comprimir de manera notable el ciclo de planeación de diseño de los productos, no sólo minimizando los análisis de prototipos asociados con el análisis de tensión y estático, sino también promoviendo la práctica de ingeniería concurrente (Decker, ¶ 9^{ix}).

Hay dos particularidades del uso de MES de ALGOR V16.0 que presenta sobre otros programas del mercado, uno de ellos es la disponibilidad con la que contamos de este software dentro de la universidad, para el estudio de ésta tesis, y la segunda es que a diferencia de versiones anteriores, ya cuenta con una interfaz que nos permitirá determinar la interacción entre las superficies de contacto de nuestro modelo de ensamble.

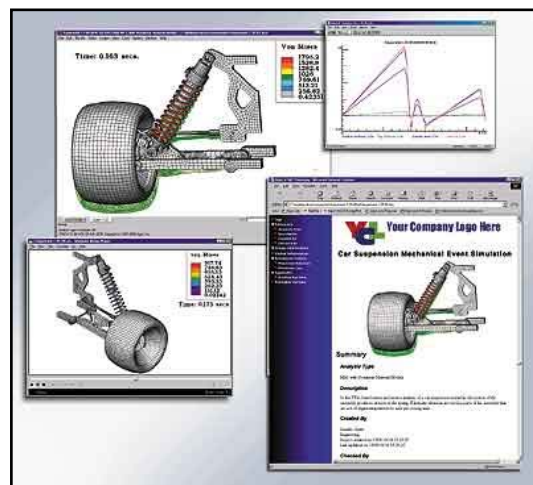


Figura 3.13: En este MES, un mecanismo de ensamble que pertenece a la suspensión de un automóvil, usando el contacto de la superficie de la rueda junto con los efectos de amortiguamiento, ALGOR.

Por último, coincido con Bussler acerca del poder de la Simulación de Eventos Mecánicos (MES) sobre al simple análisis de (FEA), ya que además de reducir el ciclo de la fase diseño de nuestro producto, con la elaboración de un solo modelo, pueden realizarse simulaciones complejas al usar estimaciones dentro de un ambiente virtual, que tiene el mismo nivel de exactitud que la comprobación física. (Bussler, 2005^x)

[ⁱ] Williams Bob, (© 2005). *What All Engineers Need to Know Before Using Finite Element Analysis*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[ⁱⁱ] Clough, R. W. (© 1960). *The Finite Element Method in Plane Stress Analysis*: American Society of Civil Engineers, 2nd Conference on Electronic Computation, Pittsburg, PA, pp. 345-378.

[ⁱⁱⁱ] Pérez, M. A. (© 2004) *Análisis y optimización con interacción de Dummy, de la carrocería del automóvil "Turbolare SAND CAR" de Tecnoidea S.A. de C.V., en Impacto frontal empleando el método de elementos finitos en ALGOR FEA, mediante la simulación de eventos mecánicos*. UDLA, México Pue, pp. 23

[^{iv}] Williams Bob, (© 2005). *What All Engineers Need to Know Before Using Finite Element Analysis*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[^v] Williams Bob, (© 2005). *What All Engineers Need to Know Before Using Finite Element Analysis*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[^{vi}] Williams Bob, (© 2005). *What All Engineers Need to Know Before Using Finite Element Analysis*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[^{vii}] Williams Bob, (© 2005). *What All Engineers Need to Know Before Using Finite Element Analysis*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[^{viii}] Decker Mark, (© 2005). *Organizational Impact of Emerging Engineering Software*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[^{ix}] Decker Mark, (© 2005). Organizational Impact of Emerging Engineering Software. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[^x] Bussler *Michael L*, (© 2005). Mechanical Event Simulation: Kinematics, Kinetics and Stress Analysis Combined. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo