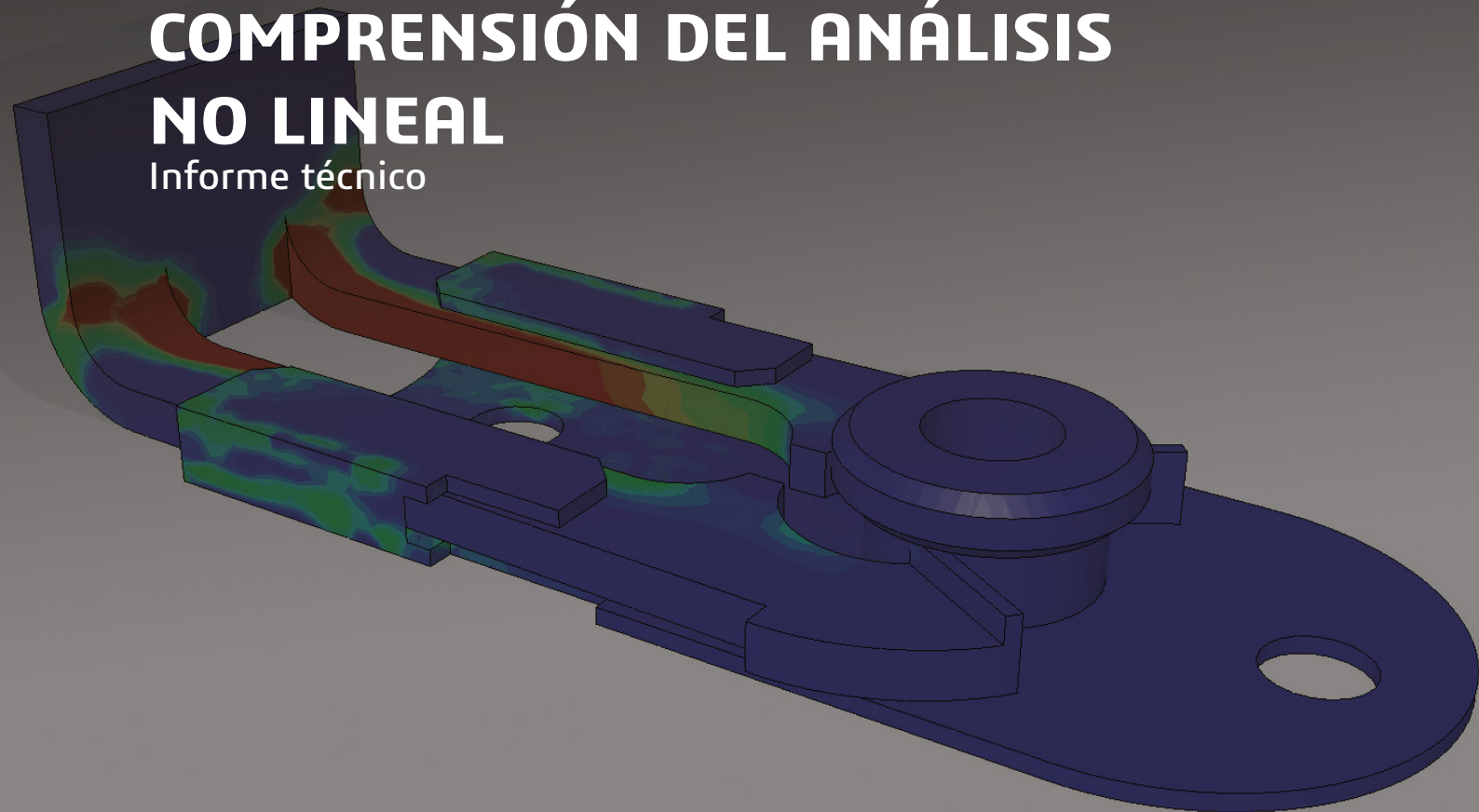


COMPRENSIÓN DEL ANÁLISIS NO LINEAL

Informe técnico



DESCRIPCIÓN

En este documento se tratarán las diferencias entre el análisis lineal y no lineal, y se discutirá cuál es el momento óptimo para utilizar un tipo de análisis o el otro. Veremos cómo descuidar los efectos no lineales puede causar importantes errores de diseño. Una vez examinados los ejemplos obtenidos de la práctica diaria del diseño, aprenderá cómo puede ayudarle el análisis no lineal a evitar un diseño sobredimensionado y a crear productos mejores.

CONTENIDO

P.1

INTRODUCCIÓN

P.3

GEOMETRÍA NO LINEAL

P.4

MATERIAL NO LINEAL

P.8

PÉRDIDA DE ESTABILIDAD
ELÁSTICA (PANDEO)

P.9

TENSIONES DE CONTACTO
Y SOPORTE NO LINEAL

P.10

ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL

P.11

ANÁLISIS NO LINEAL EN LA
PRÁCTICA DIARIA

P.14

CONCLUSIÓN

INTRODUCCIÓN

Durante la última década, el análisis por elementos finitos (FEA) dejó de considerarse únicamente como una herramienta del analista y pasó al mundo práctico de la ingeniería de diseño. El software de CAD ahora se suministra con funciones de FEA incorporadas y los ingenieros de diseño utilizan el FEA como herramienta de diseño diaria para dar soporte al proceso de diseño de productos.

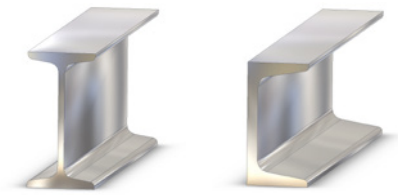
Sin embargo, hasta hace poco, la mayoría de las aplicaciones de FEA utilizadas por los ingenieros de diseño se limitaban al análisis lineal. Este análisis lineal proporciona una aproximación aceptable de las características reales de la mayoría de los problemas que encuentran los ingenieros de diseño. No obstante, de vez en cuando surgen problemas más desafiantes, problemas que requieren un enfoque no lineal.

En el pasado, los ingenieros eran reticentes al uso del análisis no lineal, debido a la complejidad de la formulación de problemas y al tiempo prolongado de solución. Esto está cambiando, ya que las interfaces de software de FEA no lineal con CAD son mucho más fáciles de utilizar. Además, los algoritmos de solución mejorados y los potentes ordenadores personales han reducido los tiempos de solución. Hace diez años, los ingenieros reconocieron el FEA como una valiosa herramienta de diseño. Ahora empiezan a ser conscientes de los beneficios y de la mayor comprensión que el FEA no lineal aporta al proceso de diseño.

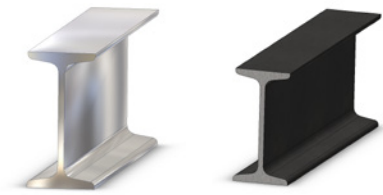
Diferencias entre análisis lineal y no lineal

El término "rigidez" define la diferencia fundamental entre el análisis lineal y el no lineal. La rigidez es una propiedad de una pieza o ensamblaje que caracteriza la respuesta ante la carga aplicada. Una serie de factores afectan a la rigidez:

1. Forma: Una viga en I tiene una rigidez diferente de una viga de canal.



2. Material: Una viga de hierro es menos rígida que una viga de acero del mismo tamaño.



3. Soporte de la pieza: Una viga con un soporte simple es menos rígida y se curvará más que la misma viga con soportes integrados, tal como se muestra en la Figura 1.

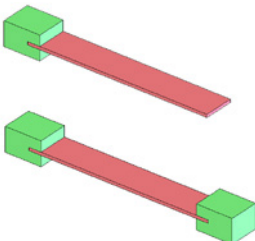


Figura 1: Una viga voladiza (parte superior) tiene una rigidez inferior que la misma viga soportada por ambos extremos (parte inferior).

El término "rigidez" define la diferencia fundamental entre el análisis lineal y el no lineal. La rigidez es una propiedad de una pieza o ensamblaje que caracteriza la respuesta ante la carga aplicada. Hay tres factores principales que afectan a la rigidez: forma, material y soporte de la pieza.

Cuando una estructura se deforma bajo una carga, su rigidez cambia, debido a uno o más de los factores que se han mencionado anteriormente. Si se deforma mucho, la forma puede cambiar. Si el material alcanza su límite de fallo, las propiedades del material cambiarán.

Por otro lado, si el cambio de rigidez es suficientemente pequeño, es lógico asumir que ni las propiedades de la forma ni las del material cambiarán durante el proceso de deformación. Esta suposición es el principio fundamental del análisis lineal.

Esto significa que a través de todo el proceso de deformación, el modelo analizado mantuvo la rigidez que poseía en la forma no deformada antes de la aplicación de la carga. Independientemente de cuánto se deforme el modelo, si la carga se aplica en un paso o gradualmente, y sin importar lo altas que sean las tensiones que se desarrollan en respuesta a la carga, el modelo mantiene la rigidez inicial.

Esta suposición simplifica enormemente la formulación del problema y su solución. Recuerde la ecuación fundamental de FEA:

$$[F] = [K] * [d]$$

donde: **[F]** es el vector conocido de cargas nodales

[K] es la matriz de rigidez conocida

[d] es el vector desconocido de los desplazamientos nodales

Esta ecuación de matriz describe el comportamiento de los modelos de FEA. Contiene un gran número de ecuaciones algebraicas lineales, que varían de miles a millones dependiendo del tamaño del modelo. La matriz de rigidez [K] depende de la geometría, las propiedades del material y las restricciones. Con la suposición de análisis lineal que indica que la rigidez del modelo nunca cambia, estas ecuaciones se agrupan y solucionan solo una vez, sin necesidad de actualizar nada mientras el modelo se está deformando. Por lo tanto, el análisis lineal sigue una vía directa desde la formulación del problema hasta su conclusión. Produce resultados en cuestión de segundos o minutos, incluso para modelos muy grandes.

Todo cambia al entrar en el mundo del análisis no lineal, porque el análisis no lineal requiere que los ingenieros abandonen la idea de rigidez constante. En su lugar, la rigidez cambia durante el proceso de deformación y la matriz de rigidez [K] debe actualizarse ya que el solver no lineal progresa a través de un proceso de solución iterativa. Estas iteraciones aumentan la cantidad de tiempo que se tarda en obtener resultados precisos.

Si el cambio de rigidez es suficientemente pequeño, es lógico asumir que ni las propiedades de la forma ni las del material cambiarán durante el proceso de deformación. Esta suposición es el principio fundamental del análisis lineal.

COMPRESIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE COMPORTAMIENTO NO LINEAL

Aunque el proceso de cambio de la rigidez es común para todos los tipos de análisis no lineales, el origen del comportamiento no lineal puede ser diferente, lo que hace que sea lógico clasificar los análisis no lineales basándose en el origen principal de la no linealidad. Como no es posible indicar una única causa del comportamiento no lineal en muchos problemas, algunos análisis deberán contar con más de un tipo de no linealidad.

Geometría no lineal

Como ya se ha comentado, el análisis no lineal es necesario cuando la rigidez de la pieza cambia bajo sus condiciones de funcionamiento. Si los cambios en la rigidez se deben únicamente a cambios en la forma, el comportamiento no lineal se define como no linealidad geométrica.

Estos cambios de rigidez provocados por la forma pueden producirse cuando una pieza tiene grandes deformaciones visibles a simple vista. Una regla de aceptación general sugiere la realización de un análisis de geometría no lineal si las deformaciones son superiores a $1/20$ de la cota más grande de la pieza. Otro factor importante que se debe tener en cuenta es que en el caso de grandes deformaciones, la dirección de carga puede cambiar a medida que se deforma el modelo. La mayoría de los programas de FEA ofrecen dos opciones para responder a este cambio de dirección: cargas de seguimiento y de no seguimiento.

Una carga de seguimiento mantiene su dirección en relación con el modelo deformado, tal como se muestra en la Figura 2. Una carga de no seguimiento mantiene su dirección inicial.

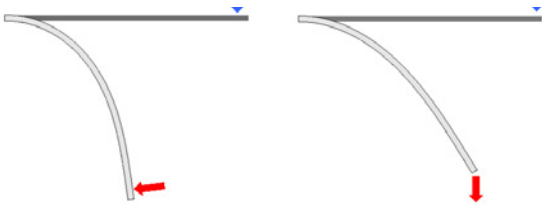


Figura 2: Una carga de seguimiento, o no conservadora, cambia de dirección durante el proceso de deformación y se mantiene en un plano normal a la viga deformada (izquierda). Una carga de no seguimiento, o conservadora, mantiene la dirección original (derecha).

Un recipiente a presión sometido a muy alta presión que sufre un cambio de forma drástico proporciona otro buen ejemplo de la situación anterior. La carga de presión siempre actúa de forma normal sobre las paredes del recipiente a presión. Mientras que el análisis lineal de este escenario presupone que la forma del recipiente no cambia, un análisis realista del recipiente a presión requiere el análisis de la no linealidad geométrica con una carga no conservadora (o de seguimiento).

Una regla de aceptación general sugiere la realización de un análisis de geometría no lineal si las deformaciones son superiores a $1/20$ de la cota más grande de la pieza. Otro factor importante que se debe tener en cuenta es que en el caso de grandes deformaciones, la dirección de carga puede cambiar a medida que se deforma el modelo.

Los cambios de rigidez provocados por la forma también pueden ocurrir cuando las deformaciones son pequeñas. Un ejemplo típico es una membrana inicialmente plana que se curva por efecto de la presión (véase la Figura 3).

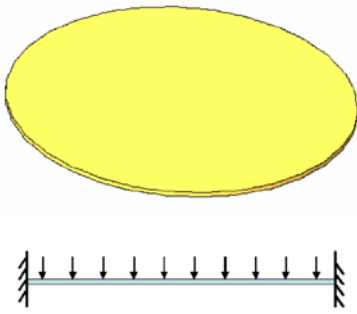


Figura 3: El análisis de una membrana plana bajo carga de presión requiere un análisis de geometría no lineal aunque el grado de deformación sea muy pequeño.

Inicialmente, la membrana resiste la carga de presión solo con rigidez a la flexión. Cuando la carga de presión ha provocado una cierta curvatura, la membrana deformada muestra una rigidez adicional a la rigidez a la flexión original (Figura 4). La deformación cambia la rigidez de la membrana de modo que la membrana deformada es mucho más rígida que la membrana plana.

Algunos programas de FEA utilizan una terminología confusa, denominando a todos los análisis de no linealidades geométricas “análisis de grandes deformaciones”. Esto omite la necesidad de efectuar análisis no lineales para deformaciones más pequeñas.

Los cambios de rigidez provocados por la forma también pueden ocurrir cuando las deformaciones son pequeñas. Un ejemplo típico es una membrana inicialmente plana que se curva por efecto de la presión. Inicialmente, la membrana resiste la carga de presión solo con rigidez a la flexión. Cuando la carga de presión ha provocado una cierta curvatura, la membrana deformada muestra una rigidez adicional a la rigidez a la flexión original.

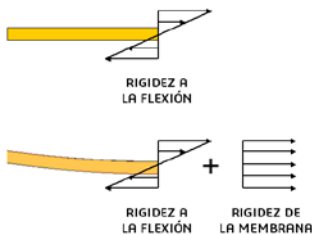


Figura 4: Una membrana plana responde a la carga solo con rigidez a la flexión. A causa de la deformación, también adquiere rigidez de membrana. Por lo tanto, es mucho más rígida de lo previsto con el análisis lineal.

Material no lineal

Si los cambios de rigidez ocurren únicamente a causa de cambios en las propiedades del material bajo condiciones operativas, el problema es la no linealidad del material. Un modelo de material lineal implica que la tensión sea proporcional a la deformación unitaria (Figura 5, siguiente). Esto significa que se presupone que cuanto más elevada sea la carga que se aplica, más altas serán las tensiones y la deformación, proporcionales a los cambios de la carga. También se presupone que no se producirán deformaciones permanentes y que, una vez que la carga se haya eliminado, el modelo siempre volverá a su forma original.



Figura 5

Aunque esta simplificación es aceptable, si las cargas son suficientemente elevadas para provocar deformaciones permanentes, como es el caso en la mayoría de los plásticos, o si las deformaciones unitarias son muy elevadas (a veces > 50 %), como sucede con cauchos y elastómeros, debe utilizarse el modelo de material no lineal.

A causa de las amplias diferencias de comportamiento de los diferentes tipos de materiales bajo sus condiciones de funcionamiento, los programas de FEA han desarrollado técnicas especializadas y modelos de material para simular estos comportamientos. En la tabla siguiente se ofrece un breve repaso de qué modelos de material funcionan mejor para qué problema.

MATERIAL

CLASIFICACIÓN	MODELO	COMENTARIOS
Elastoplástico	Von Mises o Tresca	Estos modelos funcionan bien para materiales para los que una curva de deformación unitaria-tensión muestra un "estancamiento" antes de alcanzar la tensión final. La mayoría de los metales utilizados en ingeniería y algunos plásticos se caracterizan por este modelo de material.
	Drucker-Prager	Este modelo funciona para suelos y materiales granulares.
Hiperelasticidad	Mooney-Rivlin y Ogden	Funciona bien para elastómeros incompresibles, como el caucho.
	Blatz-Ko	Este modelo funciona para gomaespuma de poliuretano compresible.
Viscoelástico	Varios (opcional con otros modelos)	Este modelo funciona para caucho duro o vidrio.
Fluencia	Varios (opcional con otros modelos)	La fluencia es una deformación unitaria que depende del tiempo producida en un estado de tensión constante. La fluencia se observa en la mayoría de los materiales de ingeniería, especialmente metales a temperaturas elevadas, plásticos de polímero elevado, cemento y propelente sólido en los motores de los cohetes.
Superelástico (aleaciones con memoria de formas)	Nitinol	Las aleaciones con memoria de formas (SMA), como Nitinol, presentan el efecto superelástico. Este material sufre grandes deformaciones en los ciclos de carga y descarga sin mostrar deformaciones permanentes.

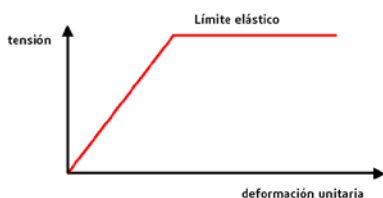


Figura 6: Curva tensión-deformación unitaria de un modelo de material plástico perfectamente elástico. Con este modelo de material la magnitud de tensión máxima no puede superar el límite de tensión plástica (límite elástico).

Al tratar el análisis de un modelo de material plástico perfectamente elástico, es decir, un material que ha perdido toda posibilidad de volver a su forma original después de la deformación, la tensión se mantiene constante por encima de un cierto valor de deformación unitaria. Describe el material de hierro fundido de un mamparo sujeto con ocho pernos.

El análisis lineal revela una tensión de von Mises máxima de 614 MPa (89 600 psi) en comparación con un límite elástico del material de 206 MPa (30 000 psi). Los resultados de ese análisis lineal se muestran en la Figura 7.

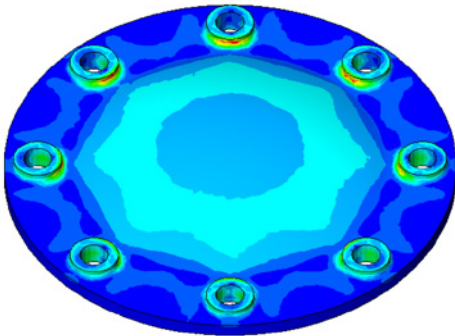


Figura 7: La solución de tensión lineal de un mamparo muestra concentraciones de tensiones muy elevadas y localizadas.

¿Si se supera el límite elástico, se descompondrá el mamparo? Para descubrirlo, debe utilizarse un modelo de material elastoplástico para examinar cuánto material se volverá plástico. La Figura 8 muestra la solución no lineal donde la tensión máxima equivale al límite elástico. Las zonas plásticas siguen siendo locales, lo que indica que el mamparo no se descompondrá. Por supuesto, hay que analizar cuidadosamente la ingeniería para decidir si este diseño es aceptable.

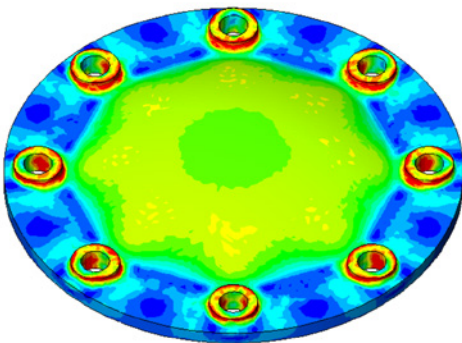
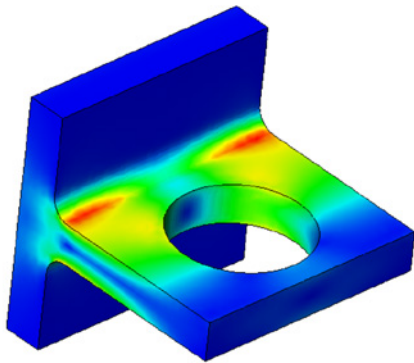


Figura 8: Solución de tensión no lineal obtenida con un modelo de material elástico perfectamente plástico. Las zonas marcadas en rojo indican el material que se convierte en plástico. La extensión de las zonas plásticas es local.

Al tratar el análisis de un modelo de material plástico perfectamente elástico, es decir, un material que ha perdido toda posibilidad de volver a su forma original después de la deformación, la tensión se mantiene constante por encima de un cierto valor de deformación unitaria.

La Figura 9 muestra la solución de tensión lineal de un soporte de aluminio. La tensión máxima alcanza 44 MPa (6400 psi) y omite que el material tiene un límite elástico de 28 MPa (4100 psi).



¿Si se supera el límite elástico, se descompondrá el mamparo? Para descubrirlo, debe utilizarse un modelo de material elastoplástico para examinar cuánto material se volverá plástico. Las zonas plásticas siguen siendo locales, lo que indica que el mamparo no se descompondrá.

Figura 9: La solución de tensión lineal de un soporte hueco transmite la tensión por encima del límite elástico del material.

El análisis de material no lineal puede explicar estos resultados, donde el material es elástico cuando la tensión máxima se mantiene en 28 MPa (4100 psi) (Figura 10). Los resultados de la tensión no lineal indican que el soporte está a punto de romperse. Las zonas plásticas ocupan casi toda la sección transversal del voladizo, y un leve aumento en la magnitud de la carga haría que la sección transversal fuera completamente plástica y desarrollara una articulación plástica que provocaría la caída del soporte.

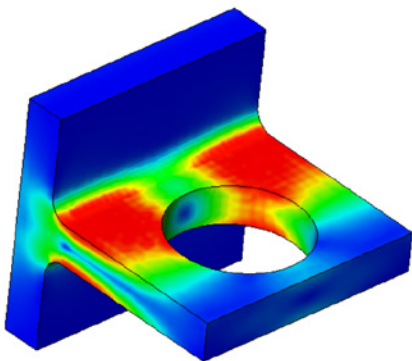


Figura 10: La solución de tensión no lineal muestra que la tensión máxima no es superior al límite de elasticidad. La extensión de las zonas plásticas indica que el soporte está próximo a formar una articulación plástica. Está al límite de la capacidad de carga.

Modelar el sencillo acto de agarrar un clip de aluminio normal, “desplegarlo” y volverlo a “doblar”, requiere la consideración de material no lineal y de geometría no lineal. La Figura 11 muestra la forma deformada del clip mediante un modelo de material elástico perfectamente plástico. La Figura 12 muestra las tensiones residuales cuando el clip se ha vuelto a doblar según la forma original.

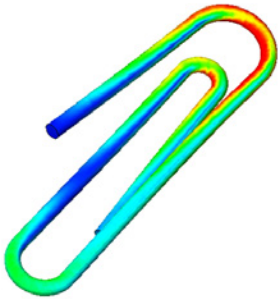


Figura 11: El análisis del doblado del clip requiere un análisis de material no lineal y de geometría no lineal. El clip en la posición “no doblada” muestra tensiones plásticas.

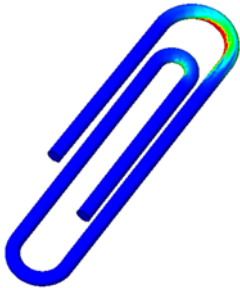


Figura 12: El clip doblado de nuevo según la forma original muestra tensiones residuales.

Pérdida de estabilidad elástica (pandeo)

La rigidez de una pieza también cambia a causa de las cargas aplicadas. A veces, las cargas, dependiendo de cómo se apliquen, pueden aumentar la rigidez (cargas de tensión) o reducirla (cargas compresivas). Por ejemplo, una cuerda tensada puede soportar el peso de un acróbata. En cambio, una cuerda floja le hará caer. En los casos de carga compresiva, si los cambios de rigidez son suficientes para hacer que la rigidez de la estructura baje hasta cero, se produce el pandeo y la estructura sufre una deformación rápida. Entonces, la estructura se desmorona, o bien adquiere una nueva rigidez en su estado postpandeo.

El análisis de pandeo lineal se puede utilizar para calcular la carga bajo la cual una estructura sufrirá pandeo (carga de Euler). Sin embargo, los resultados del análisis de pandeo lineal no son conservadores. Además, las idealizaciones del modelo de FEA pueden provocar que la carga de pandeo prevista sea muy superior para el modelo de FEA que para la pieza real. Por lo tanto, el resultado del análisis de pandeo lineal debe utilizarse con cuidado.

El pandeo no equivale necesariamente a un fallo catastrófico y es posible que la estructura todavía pueda soportar la carga cuando se haya producido el pandeo. El análisis no lineal explicará el comportamiento postpandeo.

Las Figuras 13 y 14 muestran un efecto snap-through. La pieza mantiene las capacidades de carga incluso después de producirse el pandeo.

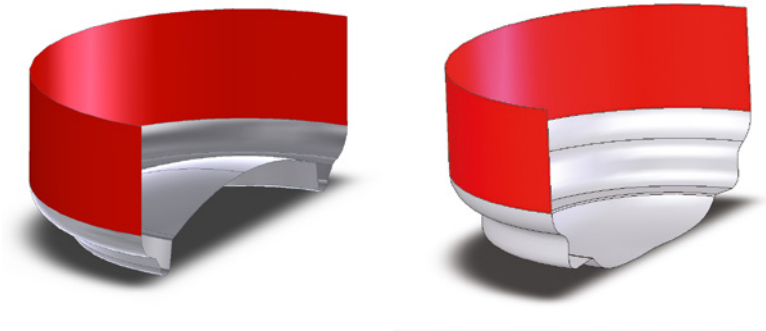


Figura 13

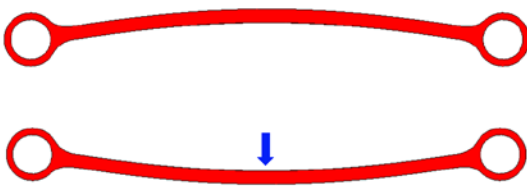


Figura 14: El análisis del efecto snap-through requiere un análisis no lineal.

Tensiones de contacto y soporte no lineal

Si las condiciones de soporte, incluidos los contactos, cambian durante la aplicación de cargas funcionales, será necesario el análisis no lineal.

Las tensiones de contacto se desarrollan entre dos superficies en contacto. Por lo tanto, la zona de contacto y la rigidez de la zona de contacto se desconocen antes de la solución. La Figura 15 muestra una solución de tensión de un problema típico de contacto. Aunque la zona de tensión de contacto sea muy pequeña en comparación con el tamaño del modelo global, el cambio en la rigidez de la zona de contacto requiere un análisis no lineal.

Si las condiciones de soporte, incluidos los contactos, cambian durante la aplicación de cargas funcionales, será necesario el análisis no lineal.

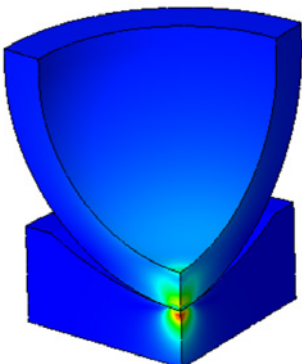


Figura 15: El análisis de tensión de contacto que las tensiones de modelos desarrollan entre dos esferas (solo se muestra una de las dos partes en contacto) pertenece a la categoría de análisis con soportes no lineales.

La Figura 16 muestra un ejemplo de soportes no lineales. La longitud efectiva de la viga y la consecuente rigidez dependen de la cantidad de deformación de la viga. Cuando la viga entra en contacto con el soporte, la rigidez aumenta a causa de la reducción de la longitud activa.

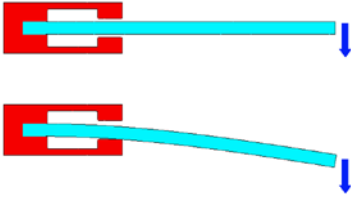


Figura 16: Este soporte (cuando se activa) cambia la longitud efectiva de la viga. Como consecuencia, la rigidez de la viga cambia y el problema requiere un análisis no lineal.

Análisis dinámico no lineal

El análisis dinámico explica los efectos de la inercia, la amortiguación y las cargas que dependen del tiempo. Una prueba de choque, las vibraciones de la bancada de un motor, el despliegue de un airbag o la simulación de un accidente requieren un análisis dinámico. ¿Pero, el análisis dinámico es lineal o no lineal? Las reglas de calificación son exactamente las mismas que en el análisis estático.

Si la rigidez del modelo no cambia significativamente bajo la carga aplicada, el análisis dinámico lineal es suficiente. La bancada de un motor que vibra o un diapasón experimentan pequeñas deformaciones sobre el punto de equilibrio y se pueden analizar con el análisis dinámico lineal.

Los problemas como la simulación de accidentes, el análisis de despliegue de un airbag o el modelado de un proceso de estampación metálica requieren un análisis dinámico no lineal porque se producen grandes deformaciones (geometría no lineal) y grandes deformaciones unitarias (material no lineal).

¿Cómo puede ayudarnos el análisis no lineal a crear mejores productos?

La naturaleza no es lineal. Esto significa que el análisis lineal solo puede aproximarse al comportamiento no lineal real de piezas y ensamblajes. La mayor parte del tiempo, esta aproximación es aceptable, y el análisis lineal puede proporcionar una percepción valiosa de las características del producto. En muchos casos, sin embargo, las suposiciones lineales también difieren mucho de la realidad y proporcionan información rudimentaria o engañosa.

El uso de los resultados del análisis lineal para decidir si una pieza fallará bajo sus cargas operativas puede conducir a un diseño sobredimensionado. Por ejemplo, el diseño de un soporte analizado solo con análisis lineal requiere que el diseñador no olvide que la tensión no debe superar la elasticidad. Pero el análisis no lineal puede mostrar que una cierta elasticidad es aceptable. En ese caso, es posible ahorrar en la cantidad de material que se utiliza o escoger un material más económico sin comprometer la integridad de la estructura. Un ingeniero puede preocuparse por una curvatura demasiado grande de un panel plano probado con análisis lineal, por ejemplo, y se excederá en el diseño para compensar esa curvatura sin saber que el análisis lineal ha exagerado las deformaciones, y que era correcto tal como se diseñó originalmente.

En muchos casos, sin embargo, las suposiciones lineales también difieren mucho de la realidad y proporcionan información rudimentaria o engañosa. El uso de los resultados del análisis lineal para decidir si una pieza fallará bajo sus cargas operativas puede conducir a un diseño sobredimensionado.

Análisis no lineal en el diseño diario

Cuando un ingeniero tiene suficiente experiencia para reconocer problemas no lineales, resulta obvio que la aplicación de esta tecnología no se limita a situaciones excepcionales. Los diseños que requieren o se pueden beneficiar del análisis no lineal abundan en todos los sectores y en la práctica diaria del diseño.

Los siguientes son algunos ejemplos de productos donde la decisión de diseño correcta requiere análisis no lineal. Muchos de estos problemas implican más de un tipo de comportamiento no lineal.

Polea de tensión (Figura 17)

Esta polea de acero estampado puede sufrir pandeo bajo la carga de correa antes de desarrollar tensiones excesivas. Aunque un análisis de pandeo lineal puede ser suficiente para determinar la carga de pandeo, el análisis no lineal es necesario para estudiar el comportamiento posterior al pandeo.

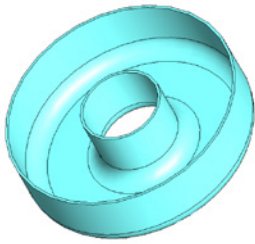


Figura 17

Resorte de diafragma (Figura 18)

La característica de resorte no lineal requiere un análisis de geometría no lineal para explicar los efectos de membrana.

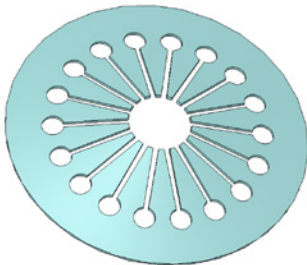


Figura 18

Estructura protectora rotativa (Figura 19)

En el caso de objetos rotativos, la estructura se deforma pasado el punto de elasticidad, y absorbe la energía de rotación. Durante este proceso, sufre una gran deformación. Para comprender los efectos de la rotación, es necesario combinar el análisis de material no lineal con el de geometría no lineal.



Figura 19

Fórceps obstétricos blandos (Figura 20)

Los fórceps obstétricos blandos se han diseñado para “amoldarse” a la cabeza de un bebé en un parto asistido con fórceps. Si se aplican una tracción o compresión elevadas, los fórceps están diseñados para deslizarse de la cabeza del bebé con el fin de evitar lesiones. El análisis de estos fórceps debe combinar material no lineal y geometría no lineal para explicar las grandes deformaciones y el material elástico no lineal.



Figura 20

Protección de ventilador (Figura 21)

Esta pieza requiere un análisis de geometría no lineal debido a las tensiones de la membrana que se desarrollan durante el proceso de deformación. Puede ser necesario, asimismo, un análisis de material no lineal.

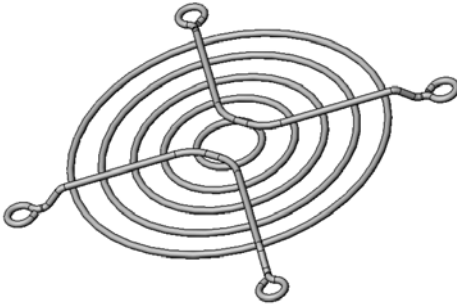


Figura 21

Anillo de retención (Figura 22)

Es necesario un análisis de geometría no lineal debido a grandes deformaciones. Este anillo también puede optar a un análisis de material no lineal.



Figura 22

Contenedor de equipaje para líneas aéreas (Figura 23)

Este contenedor de equipaje para líneas aéreas necesita un análisis de geometría no lineal debido a los efectos de membrana en los paneles de Lexan® azul. Además, la estructura requiere un análisis de pandeo o postpandeo.

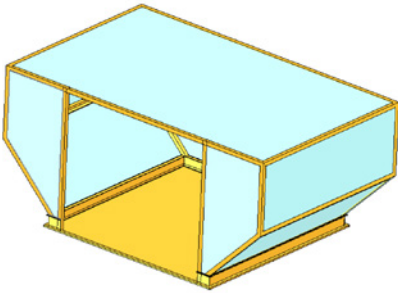


Figura 23

Silla de oficina (Figura 24)

En este ejemplo, las grandes deformaciones de la estructura pueden requerir un análisis de geometría no lineal. El asiento y el respaldo requieren un análisis de geometría no lineal y de material no lineal.



Figura 24

Llave Allen (Figura 25)

El contacto entre la llave y el tornillo con cabeza hueca requiere un análisis de tensión de contacto.

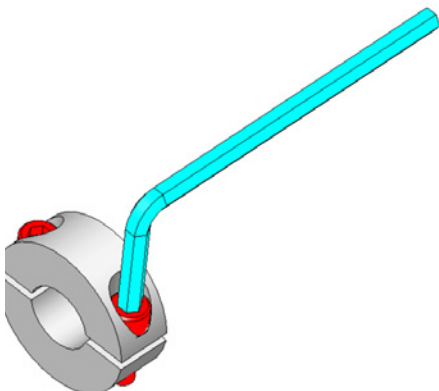


Figura 25

CONCLUSIÓN

La naturaleza de los problemas frecuentes en el análisis debe ser el baremo por el cual se justifique la decisión de añadir capacidades de análisis no lineal al software de FEA del ingeniero. Si los problemas de análisis de diseño implican grandes deformaciones, efectos de membrana, material no lineal, tensiones de contacto, pandeo o soportes no lineales u otros parámetros no lineales, las capacidades de análisis no lineal deben añadirse al software de FEA interno que utilizarán los ingenieros de diseño.

Las últimas décadas han condicionado a los ingenieros al uso del FEA como herramienta de diseño. Ahora el software de FEA y el hardware de los ordenadores han evolucionado lo suficiente para que el análisis no lineal se pueda añadir a sus recursos de herramientas.

SOLUCIONES DE SIMULACIÓN DE SOLIDWORKS

SOLIDWORKS ofrece ahora capacidad de ampliación y toda una gama de funciones no lineales, desde efectos no lineales de origen único a varios efectos no lineales para los fenómenos no lineales más avanzados. SOLIDWORKS ofrece funciones no lineales en SOLIDWORKS Simulation Premium y la solución SIMULIAworks basada en la nube.

SOLIDWORKS Simulation Premium le permite evaluar eficazmente sus diseños para la respuesta dinámica y no lineal, las cargas dinámicas y los materiales compuestos, e incluye dos estudios no lineales avanzados: estático no lineal y dinámico no lineal.

[Obtenga más información sobre SOLIDWORKS Simulation Suite aquí.](#)

SIMULIAworks complementa a SOLIDWORKS Simulation, especialmente para solucionar análisis con varios efectos no lineales que se producen simultáneamente y con cargas secuenciales en varios pasos. SIMULIAworks es una solución en la nube perfectamente integrada y lleva a cabo análisis estáticos estructurales, de frecuencia, de pandeo y de respuesta dinámica modal, así como un análisis estructural-térmico de piezas y ensamblajes. Con la tecnología de SIMULIA Abaqus, el reconocido solver de análisis de elementos finitos de gran calidad, SIMULIAworks le permite trabajar en problemas estructurales de gran complejidad con total confianza.

[Obtenga más información sobre SIMULIAworks aquí.](#)

La plataforma 3DEXPERIENCE® impulsa nuestras aplicaciones y ofrece un extenso portfolío de experiencias que dan solución a 11 industrias diferentes.

Dassault Systèmes, la compañía de 3DEXPERIENCE®, suministra a empresas y usuarios universos virtuales en los que pueden dar rienda suelta a su imaginación para crear diseños innovadores y sostenibles. Sus soluciones, líderes mundiales, transforman las fases de diseño, producción y asistencia de todo tipo de productos. Las soluciones de colaboración de Dassault Systèmes fomentan la innovación social, lo que amplía las posibilidades de que el mundo virtual mejore el mundo real. El grupo aporta un gran valor a más de 250 000 clientes de todos los tamaños y sectores en más de 140 países. Si desea obtener más información, visite www.3ds.com/es.

