

Análisis de modos de vibración usando Hyperworks

Ricardo Yañez-Valdez and Rubén Silva Dávila

ABSTRACT. El presente documento representa la segunda, de tres partes, del tutorial titulado “Introducción básica en el manejo de HyperWorks”, misma que se puede encontrar en el repositorio de la Facultad de Ingeniería-UNAM, (<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/12741>). Este documento muestra cómo configurar y realizar un análisis de modos normales de vibración de una pieza mecánica usando HyperWorks. Esta técnica es utilizada para calcular las formas de vibración y las frecuencias asociadas que exhibirá una estructura mecánica cuando ésta es susceptible a vibrar por una fuerza externa. Es importante conocer estas frecuencias porque si se aplican cargas cíclicas a estas frecuencias, la estructura puede entrar en una condición de resonancia. Esta situación podría conducir, eventualmente, a una falla catastrófica. También es importante conocer las formas de vibración para asegurarse de que las cargas no se aplican en los puntos que causarían la condición de resonancia. El análisis de modos normales también se requiere para conocer la respuesta en frecuencia modal y el análisis transitorio modal. Es posible realizar este análisis usando la paquetería de HyperWorks y el solucionador de OptiStruct. El análisis de los modos normales se puede llevar a cabo utilizando uno de los dos algoritmos: i) el método de Lanczos o ii) la solución automatizada de valores propios de subestructuración multinivel (AMSES). Los datos de extracción de valores propios de Lanczos se especifican en los datos de EIGRL y para el método automatizado de solución de valores propios de subestructuración multinivel, se utilizan los datos EIGRA.

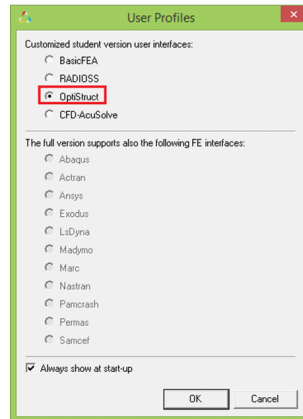
1. El Método Lanczos

El método de Lanczos tiene la ventaja de que los valores propios y formas de modos asociados se calculan con exactitud. Este método es eficiente para cálculos en los que el número de modos es pequeño y se requiere la forma completa de cada modo. La desventaja del método Lanczos, por otro lado, consiste en que es un método lento cuando los problemas a resolver son grandes; con millones de grados de libertad, para los que se requiere un número similar de modos normales de vibración. Los tiempos de ejecución de este tipo de problemas pueden fácilmente extenderse a días de cálculo. En estos casos, se debe utilizar el método AMSES o AMLS. Para mayor información sobre alguno de los dos algoritmos que se han descrito se sugiere revisar la ayuda de HyperWorks. A continuación se describen los pasos a seguir.

Key words and phrases. Análisis modal, Hyperworks.

1.1. Paso 1: Iniciar HyperMesh.

- (1) Inicie HyperMesh, inmediatamente aparecerá el cuadro de diálogo Perfiles de usuario.
- (2) Seleccione OptiStruct y haga clic en Aceptar. Esto carga el perfil de usuario adecuado para realizar el análisis, este incluye la plantilla adecuada, el menú de macros y el lector de importación, descomponiendo la funcionalidad de HyperMesh a lo que es relevante para generar modelos para OptiStruct.

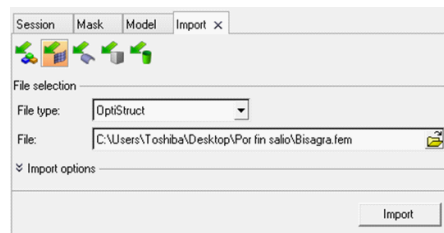


1.2. Paso 2: Importar un archivo de modelo de elementos finitos en HyperMesh o abrir un archivo de HyperMesh.

- (1) Haga clic en Archivo > Importar > Cubierta de Solver.
 - Haga clic en Archivo > Abrir > Seleccione su archivo .Hm > Haga clic en abrir.

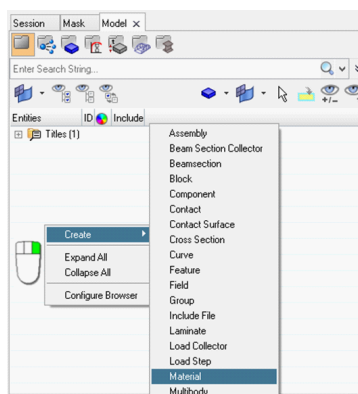


- Para el tipo de archivo: seleccione OptiStruct.
- Seleccione el icono de “Archivo” , se abrirá un explorador de archivos busque su archivo.
- Haga clic en Importar y, a continuación, en “Cerrar” para cerrar la pestaña Importar.



1.3. Paso 3: Mallar la pieza. El mallado de la pieza es muy importante, por lo que se recomienda leer la guía “Introducción básica en el manejo de HyperWorks”, misma que se puede encontrar en el repositorio de la Facultad de Ingeniería, UNAM, <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/12741>, donde se explica el mallado de piezas 2D y 3D. Este paso es uno de los más importantes ya que si no existe una buena conectividad de malla o la malla tiene una calidad deficiente puede que el solver OptiStruct no concrete el análisis.









1.4. Paso 4: Configuración del material. Crear uno o más colectores de material y asignarlos a los componentes de la pieza o de la malla. Los elementos rígidos no necesitan asignárseles material. Para crear el colector de material, en el navegador de Modelos, hacer clic con el botón derecho del ratón y seleccionar Crear > Material. Por poner un ejemplo, usaremos la plantilla del material MAT1, esta es una plantilla predeterminada, esta se muestra en el Editor de entidades debajo del navegador Modelo.



- (1) En el nombre ingrese el que corresponda.
- (2) Ingrese los valores del material junto a los campos correspondientes. Presione enter después de introducir los valores.

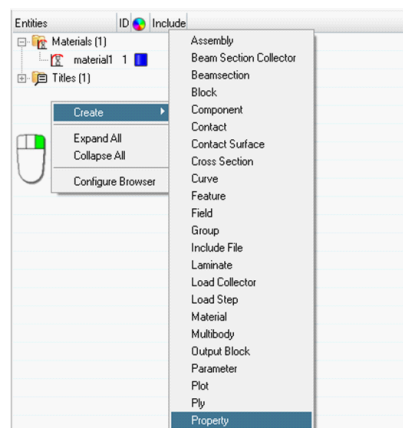
OptiStruct, MAT1, Define las propiedades de los materiales lineales, independientes de la temperatura e isotrópicos. Los valores mínimos que se necesitan para realizar el análisis modal con esta tarjeta de material son: E (Young's Modulus), NU (Poisson's Ratio), RHO (densidad de material). Se requiere una densidad del material para la secuencia de solución de modos normales.

Si una propiedad de material no muestra un valor junto a ella, se desactiva. Para editar estas propiedades de material, haga clic en los campos de valor en blanco junto a ellos e introduzca los valores requeridos.

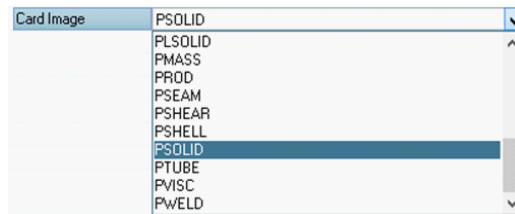
Name	Value
Solver Keyword	MAT1
Name	material1
ID	1
Color	
Include File	[Master Model]
Defined	<input checked="" type="checkbox"/>
Card Image	MAT1
User Comments	Hide In Menu/Export
E	
G	
NU	
RHD	
A	
TREF	
GE	
ST	
SC	
SS	
MATS1	
MATT1	
MAT4	
MAT5	
MATFAT	
MATF1	
MATX...	

En cualquier momento, la imagen de la tarjeta para este colector se puede modificar haciendo clic en el material creado en el navegador de Modelos o utilizando el Editor de tarjetas. Para saber el significado de las demás abreviaciones al final del tutorial se adjunta un anexo donde se explica cada una de ellas.

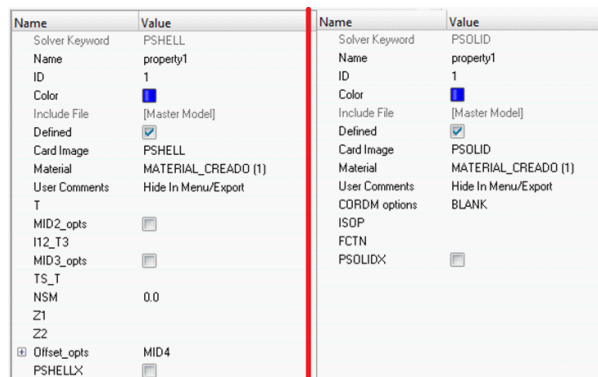
1.5. Paso 5: Propiedades geométricas. Se debe crea la propiedad requerida para definir la pieza. La propiedad se haciendo click derecho del ratón en el navegador de modelos y seleccionar Crear> Propiedad.



Una vez creada se deberá llenar el Editor de entidades. En la palabra clave del solver (solver keyword) debe aparecer PSOLID, ya que se trata de una pieza 3D. Si nuestro modelo es en 2D, entonces la palabra clave sería PSHELL y además se debería agregar un espesor a la cáscara. Para modificar esta propiedad basta con dar click izquierdo en el apartado de “Imagen de tarjeta” que aparece en el Editor de entidades (Abajo del Navegador de Modelos) y seleccionar la propiedad que se ajuste a nuestro modelo.

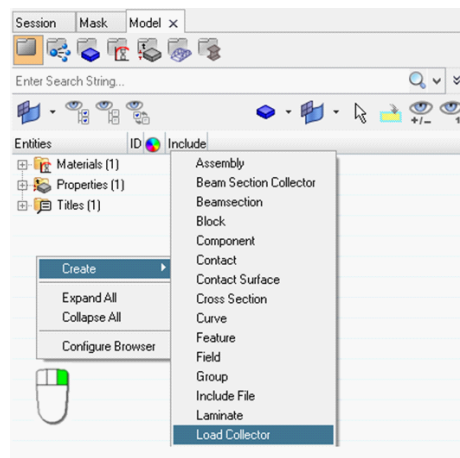


- (1) En el cuadro de diálogo “Material”, seleccione el material creado y haga clic en Aceptar.
- (2) Si nuestro modelo es 2D, en el cuadro de dialogo “Propiedad”, actualizar el valor de grosor (T).



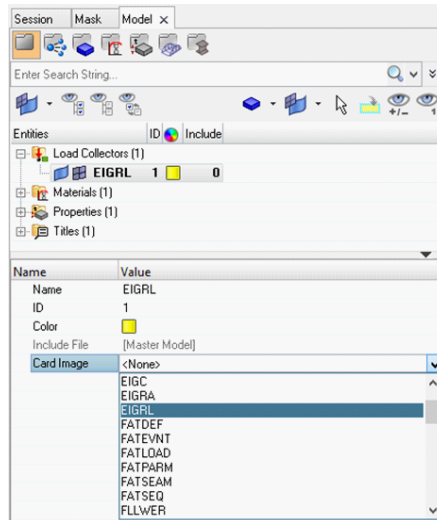
En el anexo se adjuntan las especificaciones de cada una de las tarjetas (PSHELL y PSOLID)

1.6. Paso 6: Aplicación de cargas y restricciones al modelo. En este punto a la pieza debe asignársele todas las restricciones, así como fuerzas que correspondan según el modelo que se quiere plantear, todas estas condiciones se agregan a través de un colector de carga. El colector de carga se crea haciendo click derecho del ratón en el navegador de modelos y seleccionar Crear> Colector de Carga.



1.7. Paso 7: Crear la tarjeta de extracción de valores propios. Para realizar un análisis de modos normales, es necesario hacer referencia a una tarjeta real de extracción de valores propios (EIGRL) en el subcase. La tarjeta de extracción de valores propios reales se define en HyperMesh como un colector de carga con una imagen de tarjeta EIGRL. Este colector de carga no debe contener otras cargas.

- (1) En el navegador Modelo, haga clic con el botón derecho del ratón y seleccione **Crear > Colector de Cargar**. Se muestra una plantilla de recopilador de carga predeterminada en el Editor de entidades.
- (2) Para Nombre, ingrese EIGRL.
- (3) Para Card Image, seleccione EIGRL.
- (4) Haga clic en Color y seleccione un nuevo color en la paleta de colores.



5 Para V2, ingrese un valor según sea el caso.

6 Para ND, ingrese un valor según sea el caso.

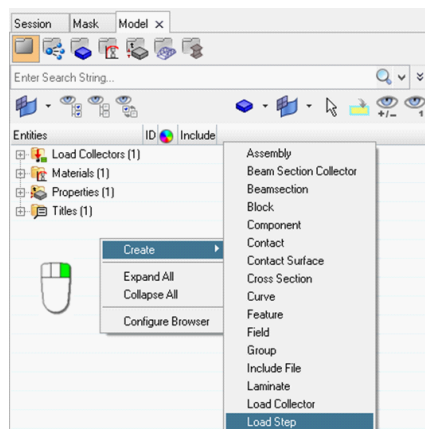
Para realizar un primer análisis de los modos normales de vibración se ocupan los campos de V2 y ND. En esta tarjeta puede definirse además otros campos los cuales permitan un análisis más detallado. Los campos se presentan en la siguiente tabla.

Name	Value
Solver Keyword	EIGRL
Name	EIGRL
ID	1
Color	
Include File	[Master Model]
Card Image	EIGRL
User Comments	Hide In Menu/Export
V1	
V2	200.0
ND	6
MSGVLV	
MAXSET	
SHFSCL	
NORM	MASS

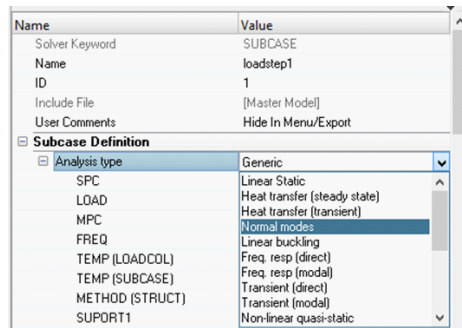
Abreviatura	Significado
V1, V2	Para el análisis de vibraciones: Intervalo de frecuencia Para el análisis de vibraciones: Intervalo de valores propios.
ND	Número de modos deseados.
MSGLVL	Nivel de diagnóstico.
MAXSET	Número de vectores en bloque o conjunto.
SHFSCL	Para el análisis de vibraciones: Estimación de la frecuencia del primer modo flexible Para el análisis de pandeo: Estimación del primer valor propio.
NORM	Método utilizado para la normalización de vectores propios. MASS: Los vectores propios se normalizan con el valor unitario de la masa generalizada (esto no es una opción válida para el análisis de pandeo lineal). MAX: Los autovectores se normalizan al valor unitario del mayor desplazamiento en el conjunto de análisis. MAXT: Los autovectores se normalizan con el valor unitario del mayor desplazamiento traslacional en el conjunto de análisis. Por defecto = MASS para el análisis de modos normales Por defecto = MAX para el análisis de pandeo lineal (MASS o MAX)

1.8. Paso 8: Crear un paso de carga para realizar el análisis de modos normales.

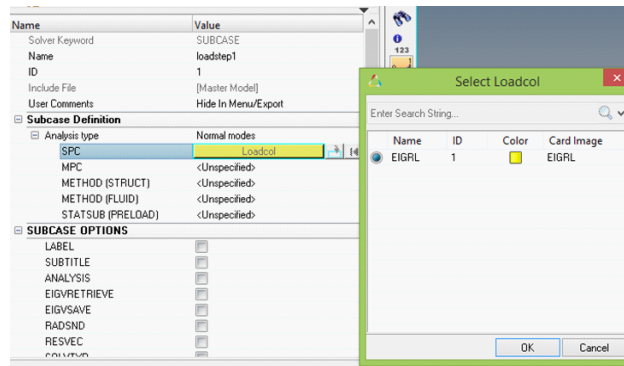
- (1) En el navegador Modelo, haga clic con el botón derecho del ratón y seleccione Crear > Paso de carga. Una plantilla de paso de carga predeterminada ahora se muestra en el Editor de entidades.
- (2) Ingrese un nombre.



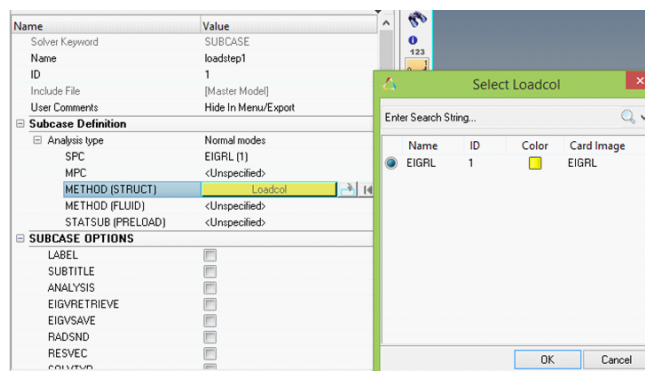
- 3 Haga clic en el menú desplegable para el tipo de análisis y seleccione los modos normales.



- 4 Para SPC, haga clic en Unspecified> Loadcol, en el cuadro de diálogo Select Loadcol, seleccione las restricciones que haya creado para su modelo y haga clic en OK.



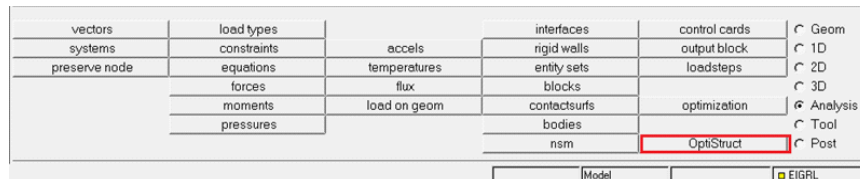
- 5 Para METHOD (STRUCT), haga clic en Unspecified> Loadcol. En el cuadro de diálogo Select Loadcol, seleccione EIGRL y haga clic en OK. Se ha creado un subcase OptiStruct que hace referencia a las restricciones en las restricciones de colector de carga y los datos de extracción de valor propio real en el colector de carga EIGRL.



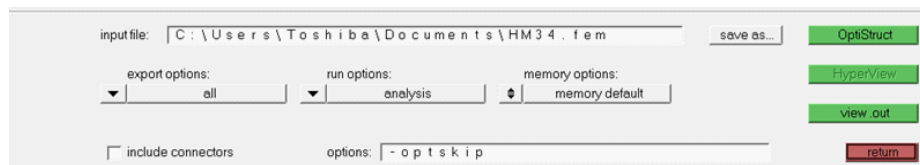
1.9. Paso 9: Guardar modelo en un directorio específico.

1.10. Paso 10: Ejecución de análisis de modos normales.

(1) En la página de “Análisis”, haga clic en OptiStruct.



- 2 Haga clic en “Guardar como”.
- 3 Seleccione el directorio en el que desea escribir el archivo y el Nombre de archivo
- 4 Haga clic en Guardar.
- 5 Establezca las opciones de exportación: alternar a todos (ALL).
- 6 Establezca las opciones de ejecución: cambie a análisis (ANALYSIS).
- 7 Establezca las opciones de memoria: cambie a memoria predeterminada (MEMORY DEFAULT).
- 8 Haga clic en OptiStruct. Esto lanza el análisis de OptiStruct.

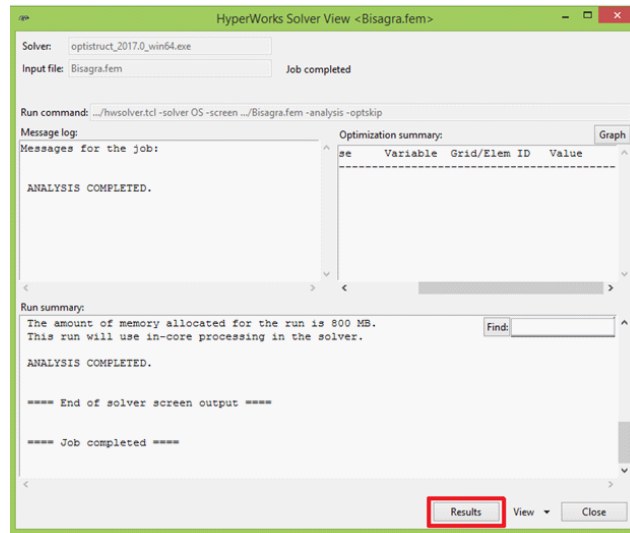


Si el análisis se realizó correctamente, se pueden ver los archivos de resultados en el directorio donde se escribió el archivo del modelo OptiStruct. El archivo *.out es un buen lugar para buscar mensajes de error que ayuden a depurar la cubierta de entrada si hay algún error.

Los archivos predeterminados escritos en su directorio son:

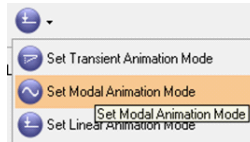
Nombre_del_archivo.html	Informe HTML del análisis, dando un resumen de la formulación del problema y los resultados del análisis.
Nombre_del_archivo.out	El archivo de salida de OptiStruct que contiene información específica sobre la configuración del archivo, la configuración de su problema de optimización estima la cantidad de RAM y el espacio en disco requerido para la ejecución, información para cada una de las iteraciones de optimización y calcula la información de tiempo. Revise este archivo para ver si hay advertencias y errores.
Nombre_del_archivo.h3d	Archivo binario de resultados 3D Hyper.
Nombre_del_archivo.stat	Resumen del proceso de análisis, proporcionando información de CPU para cada paso durante el proceso de análisis.

1.11. Paso 11: Revisar los resultados utilizando HyperView. Una vez finalizado el análisis y sin haber presentado ningún error, se procede a revisar los resultados a través de HyperView, esto se logra haciendo click en el botón de “Resultados” de la ventana emergente que se tiene del análisis.



1.12. Paso 12: Ver Vectores Eigen. Es útil ver la forma deformada de un modelo para determinar si las condiciones de contorno se han definido correctamente y también para comprobar si el modelo se está deformando como se esperaba. En esta sección, utilice el panel “Deformado” para revisar la forma deformada para el último Modo.

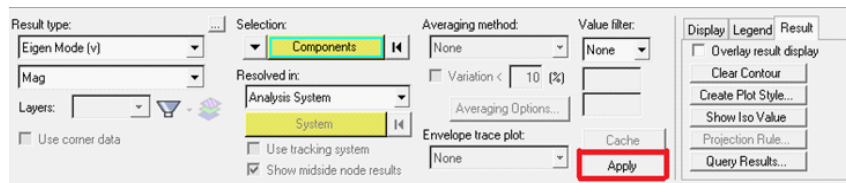
- (1) Haga clic en el selector de animación en la barra de herramientas inferior y seleccione Set Modal Animation Mode.



- 2 Seleccione el icono Contorno



- 3 Aparece un nuevo menú, en el cual se hará click en “Aplicar” para poder visualizar en la pieza la magnitud de los vectores Eigen.

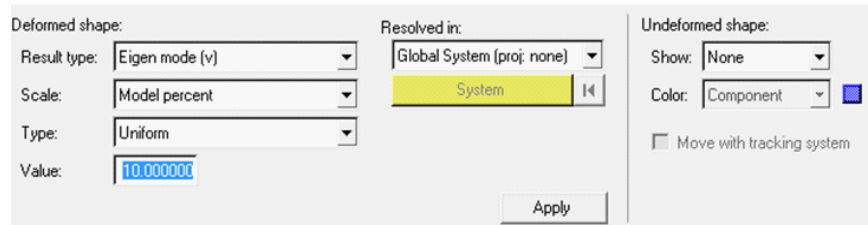


- 4 Seleccione el icono Deformed toolbar

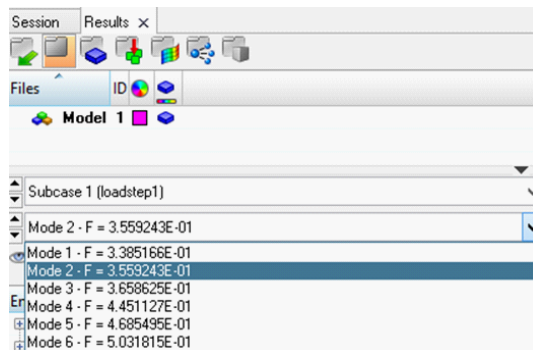


- 5 Dejar Tipo de resultado: establecer en modo Eigen (v).
- 6 Ajustar escala: a unidades de modelo.
- 7 Defina Tipo: a Uniforme e introduzca un factor de escala de 10 para Valor:

- Esto significa que el desplazamiento máximo será de 10 unidades modales y todos los demás desplazamientos serán proporcionales.
 - Utilice un factor de escala mayor que 1,0 para amplificar las deformaciones mientras que un factor de escala menor que 1,0 los reduciría. En este caso, los desplazamientos se acentúan en todas las direcciones.
- 8 Haga clic en Aplicar.



- 9 En Forma no deformada: establecer Mostrar: a Wireframe. Un gráfico deformado del modelo superpuesto en la malla original no deformada se muestra en el área de gráficos.
- 10 En el menú desplegable Navegador de resultados, puede cambiar la vista entre varias subcases mediante la opción Cargar caso y Simulación
- Menús desplegables de selección, como se muestra a continuación:



- 11 Para animar la forma del modo, haga clic en Inicio / Pausar animación en la barra de herramientas de animación
- 12 Para controlar la velocidad de animación, utilice los controles de animación en la barra de herramientas de animación, como se muestra a continuación:



2. ANEXO

2.1. Definición de las propiedades de la tarjeta del material MAT1.

Abreviatura	Significado
E	Módulo de Young
G	Módulo de Corte
NU	Numero de Poisson.
RHO	Densidad del material
A	Coefficiente de expansión térmica
TREF	Temperatura de referencia para carga térmica.
GE	Coefficiente de amortiguación del elemento estructural
ST, SC, SS	Límites de tensión, compresión y cizallamiento.

2.2. Definición de las propiedades PSHELL.

2.2.1. *Descripción.* Define la membrana, la flexión, el cizallamiento transversal y el acoplamiento de flexión de la membrana de los elementos de la envoltura.

Abreviatura	Significado
T	Valor para el grosor de la malla.
MID2	Número de identificación del material para la flexión.
12I/T3	Parámetro de rigidez de flexión
MID3	Número de identificación del material para el corte transversal
TS/T	Grosor transversal cortante dividido por el espesor de la malla
NSM	Masa no estructural por unidad de área
Z1, Z2	Distancias de las fibras para el cálculo del esfuerzo. La dirección positiva está determinada por la regla de la mano derecha y el orden en que los puntos de la cuadrícula se enumeran en la entrada de conexión.
MID4	Número de identificación del material para el acoplamiento de flexión de la malla
T0	El espesor de base de los elementos en topología y optimización de tamaño libre. Sólo para MAT1, T0 puede ser > 0,0. Si T0 está en blanco, los elementos no se incluyen en el volumen o espacio de diseño de la topología.

2.3. Definición de las propiedades PSOLID.

2.3.1. *Descripción.* Define las propiedades de los elementos sólidos, referenciados por CHEXA, CPENTA, CPYRA y CTETRA.

Abreviatura	Significado
CORDM	MID del sistema de coordenadas del material. El valor predeterminado es 0, que es el sistema de coordenadas básico.
ISOP	Esquemas especiales de integración para el análisis no lineal elasto-plástico de pequeños desplazamientos. Los valores disponibles son: FULL - integración completa, utilizando los mismos esquemas de integración que para aplicaciones lineales. MODPLAST - (por defecto) utiliza un manejo especial de la aproximación de presión, diseñado para eludir el bloqueo volumétrico debido a la incompresibilidad del flujo de plástico. Los detalles específicos varían dependiendo del tipo y orden del elemento. REDPLAST - además del manejo especial para la aproximación de presión, utiliza una integración reducida para hexa y penta de segundo orden, y para elementos hexa de 8 nodos (la integración reducida no es prácticamente viable en otros tipos de elementos, ya que crearía modos espurios extensos).
FCTN	Indicador de elementos fluidos. SMECH indica un elemento estructural. PFLUID indica un elemento fluido. El MID debe hacer referencia a una entrada MAT10. PORO indica material poro-elástico. El MID debe hacer referencia a una entrada de material poro-elástica. Predeterminado = SMECH (SMECH, PFLUID o PORO)
DS	Interruptor de diseño. Si no es cero, los elementos asociados con estos datos PSOLID se incluyen en el volumen o espacio de diseño de topología. No es válido para elementos fluidos.

2.4. Comentarios.

- (1) Los indicadores de integración especiales MODPAST y REDPLAST afectan únicamente a los materiales elasto-plásticos (identificados por la presencia de MATS1) en subcases cuasi-estáticos no lineales. No afectan el comportamiento de los elementos en el análisis lineal.
- (2) La opción FULL en el campo ISOP proporciona resultados estables y convergentes, aunque puede parecer "rígida" y converger más bien lentamente en casos de deformación plástica significativa. MODPLAST utiliza una manipulación especial para el término de presión volumétrica, proporcionando en efecto una buena resolución del flujo de plástico al tiempo que evita una flexibilidad excesiva que conduciría a modos espurios. REDPLAST añade la liberación adicional de tendencias de bloqueo y usualmente el comportamiento "más suave". Puede, teóricamente, exhibir modos de deformación espurios en elementos únicos no conectados, aunque en la práctica estos modos deberían desaparecer en campos de muchos elementos.
- (3) Las tensiones se calculan en el sistema de coordenadas del material. El sistema de coordenadas del material puede definirse como el sistema de coordenadas básico (CORDM = 0), un sistema definido (CORDM = Integer > 0) o el sistema de coordenadas del elemento (CORDM = -1). Consulte las páginas CHEXA, CPENTA, CPYRA y CTETRA de la Guía de referencia para obtener detalles sobre cómo se define el sistema de coordenadas de material para cada elemento.

- (4) Si el material al que hace referencia MID es una definición de material MAT9, entonces CORDM define el sistema de coordenadas material para Gij en la entrada MAT9.
- (5) Si MID hace referencia a MATHE Bulk Data Entry, sólo se utilizan los campos PID y MID. Los campos restantes no se utilizan.
- (6) Esta tarjeta se representa como una propiedad en HyperMesh.

FACULTAD DE INGENIERÍA-UNAM, DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO.

E-mail address: Ricardo Yañez (ryv77@unam.mx)

URL: <http://www.paginaspersonales.unam.mx/academicos/datosContacto/alias:ricardoyaNez>

E-mail address: Ruben Silva (rubens_bones17@hotmail.com)