

USO DE CABECEROS DEL NASTRAN

1 Utilización del cabecero de vibraciones aleatorias

En la mayoría de los análisis estructurales que emplean el código Nastran, es una práctica habitual utilizar cabeceros estándar de análisis para asegurar que el mismo tipo de análisis se realiza igual (mismas condiciones, misma sollicitación de resultados, etc.) en cualquier modelo estructural.

1.1 Secciones del cabecero del análisis de vibraciones aleatorias

Los cabeceros son partes esenciales de los archivos .bdf que el programa MSC Nastran utiliza como input para poder realizar los cálculos y obtener los resultados. Los cabeceros están divididos en las siguientes secciones:

- **Executive Control**
 Contiene básicamente la sentencia “Sol n” que indica el tipo de análisis. Esta sentencia está detallada en la Tabla 1-1.
 Esta sección finaliza con la sentencia “CEND”.
- **Case Control**
 Comienza desde la sentencia “CEND” y finaliza con la sentencia “BEGIN BULK”.
 Dentro del Case Control se detalla la aplicación de las condiciones de contorno y cargas mediante las sentencias “SPC = n₁”, “DLOAD = n₂” y “RANDOM = n₃”. El valor de cada “n_i” debe corresponder con el número de identificación de las entradas de la sección Bulk Data “SPCADD n₁”, “RLOAD2, n₂” y “RANDPS, n₃” respectivamente.
 Además, dentro del Case Control debe encontrarse para los análisis dinámicos sentencias como “METHOD = n₄”, que indica el método de cálculo de modos propios; “SDAMPING = n₅”, que indica la aplicación del amortiguamiento; “FREQ = n₆”, que indica los intervalos de frecuencia para el cálculo de las respuestas. Los valores de cada “n_i” debe corresponder con el número de identificación de las entradas de la sección Bulk Data “EIGRL n₄”, “TABDMP1 n₅” y “FREQ1, n₆” respectivamente.
 Finalmente, en esta sección se solicitan las respuestas requeridas. En este caso, las respuestas son:
 - STRESS = All: Que solicita el valor de la tensión en todos los elementos del modelo.
 - ACCELERATION = ALL: Que solicita el valor de la aceleración en todos los nodos del modelo.
 - FORCES = ALL: Que solicita el valor de las fuerzas en todos los elementos del modelo.
- **Bulk Data**
 Esta sección comienza con la sentencia “BEGIN BULK” y finaliza con la sentencia “ENDDATA”.
 La sección del Bulk Data contiene toda la información referente al modelo (nodos, elementos, propiedades, materiales, elementos rígidos, condiciones de contorno, cargas,

etc.). En este caso, el archivo .bdf de cada modelo contiene la información básica sobre modelo (nodos, elementos, propiedades y materiales) y se incorporará al cabecero mediante la entrada INCLUDE '*nombre_del_modelo.bdf*' localizado cerca del final del cabecero. Por lo tanto, el cabecero sólo debe incorporar en esta sección información referente a las restricciones y cargas, así como cualquier elemento o nodo adicional.

1.2 Información contenida en los cabeceros

Los cabeceros incluyen la información referente a:

- Tipo de análisis: Análisis estático, modos propios, vibraciones sinusoidales, etc. a través de la sentencia "SOL n", siendo "n" un número que está relacionado con un tipo de análisis según la siguiente tabla:

SOL Number	SOL Name	Description
101	SESTATIC	Statics with options: Linear Heat Transfer Alternate Reduction Inertia Relief Design Sensitivity - Statics
103	SEMODES	Normal Modes with option: Design Sensitivity - Modes
105	SEBUCKL	Buckling with options: Static Analysis Design Sensitivity - Buckling
106	NLSTATIC	Nonlinear Statics
107	SEDCEIG	Direct Complex Eigenvalues
108	SEDFREQ	Direct Frequency Response
109	SEDTRAN	Direct Transient Response
110	SEMCEIG	Modal Complex Eigenvalues
111	SEMFREQ	Modal Frequency Response
112	SEMTRAN	Modal Transient Response
114	CYCSTATX	Cyclic Statics with Option: Alternate Reduction
115	CYCMODE	Cyclic Normal Modes
116	CYCBUCKL	Cyclic Buckling
118	CYCFREQ	Cyclic Direct Frequency Response
129	NLTRAN	Nonlinear Transient Response
144	AESTAT	Static Aeroelastic Response
145	SEFLUTTR	Aerodynamic Flutter
146	SEAERO	Aeroelastic Response

Tabla 1-1: Códigos de solución del programa MSC Nastran

- Aplicación de condiciones de contorno: Mediante la sentencia "SPC = n" (para cada subcaso), siendo "n" un número entero que corresponde con la identificación de la entrada SPCADD (ver Figura 1-6). La entrada SPCADD contiene los números de identificación de las condiciones de contorno que se definen a continuación mediante las entradas SPC1 (ver Figura 1-7).
- Aplicación de carga: Para el caso de las vibraciones aleatorias, la aplicación de las cargas dinámicas es bastante más complejo que para otro tipo de análisis. En este caso, dentro de la sección CASE CONTROL se especifica las siguientes sentencias:

- METHOD = 1
Está relacionado con la entrada “EIGRL 1” de la sección Bulk Data y sirve para el cálculo de los modos propios.
- DLOAD = 10
Está relacionado con la entrada “RLOAD2,10” de la sección Bulk Data y sirve para la aplicación de la carga dinámica.
- SDAMPING = 20
Está relacionado con la entrada “TABDMP1 20” de la sección Bulk Data y sirve para la especificación de forma tabulada del valor del amortiguamiento para cada frecuencia.
- RANDOM = 30
Está relacionado con la entrada “RANDPS 30” de la sección Bulk Data y sirve para la especificación de forma tabulada del valor de la carga aleatoria (en g^2/Hz) para cada frecuencia.
- FREQ = 40
Está relacionado con las entradas “FREQ1,40” y “FREQ3,40” de la sección Bulk Data y sirve para indicar los intervalos de frecuencias para mostrar los resultados del análisis (tensiones, aceleraciones y fuerzas).
- Solicitación de respuestas: En este caso, se pedirán como resultados las tensiones en los elementos (STRESS), las aceleraciones de los nodos (ACCELERATION) y las fuerzas en los elementos (FORCES) para cada frecuencia (el intervalo de las respuestas se especifican mediante las entradas FREQ1 y FREQ3).
- Nodos y elementos auxiliares: Para este tipo de análisis, es imprescindible la definición de los siguientes nodos y elementos (todos ellos definidos en la sección Bulk Data del cabecero):
 - Nodo de aplicación de la carga: Se debe definir un nodo auxiliar que no forme parte del modelo y que tenga un ID distinto (en este caso, ID = 859999). Sobre este nodo se aplica la carga dinámica y las restricciones principales. Este nodo irá unido mediante un elemento rígido de tipo RBE2 a los nodos duplicados de la interfaz del modelo, de esta forma transmitirá la carga al modelo. Las coordenadas de este modelo son aleatorias (ver Figura 1-12).
GRID 859999 0. -.0855 0.
 - Nodo(s) duplicado(s) de la interfaz: Se define como interfaz de cualquier modelo al conjunto de nodos desde donde se va a transmitir la carga dinámica al resto del modelo en una determinada dirección. Por lo tanto, se debe definir en el cabecero los nodos duplicados de estos nodos simplemente copiando y pegando los originales y posteriormente cambiarles el ID para que no coincidan con ningún ID de los nodos del modelo (ver Figura 1-13, donde este nodo tiene las mismas coordenadas que el nodo de la interfaz del modelo).
Estos nodos duplicados deben ser coincidentes con sus correspondientes nodos de la interfaz (deben tener las mismas coordenadas) y se unen a éstos mediante elementos tipo muelle denominados CELAS2.

Por otra parte, todos los nodos duplicados deben conectarse mediante un elemento rígido tipo RBE2 al nodo de aplicación de la carga.

- Elementos CELAS2: Son elementos elásticos tipo muelle que definen uniones entre un grado de libertad de un nodo con el mismo grado de libertad de otro nodo coincidente con el anterior. Por lo tanto, para cada pareja de nodos de interfaz (Nodo original/nodo duplicado), deben definirse hasta 6 elementos CELAS2 (1 por cada grado de libertad).

En este caso, se elige por defecto un valor de rigidez de $1E10$ N/m para todos los CELAS2 (ver Figura 1-14).

- Elemento rígido RBE2: Sirve para unir los grados de libertad independientes del nodo de aplicación de la carga con los grados de libertad dependientes de todos los nodos duplicados de la interfaz. De esta forma, se transmite la carga y las restricciones aplicadas desde el primer nodo al resto del modelo a través de este elemento rígido (ver Figura 1-15).
- Sentencia INCLUDE: Sirve para indicar el nombre del archivo .bdf con la información del modelo (nodos, elementos, materiales y propiedades). De esta forma, se completa toda la información necesaria para poder realizar el análisis (ver Figura 1-16).

1.3 Modificación del cabecero

Cuando se dispone de un cabecero que corresponde con un análisis determinado (en este caso análisis random o de vibraciones aleatorias), se debe modificar el cabecero en algunas sentencias para poder adaptarlo al modelo disponible. En este apartado se va a explicar cómo se debe modificar los cabeceros.

- En primer lugar, se debe tener en cuenta cómo se divide los cabeceros (EXECUTIVE CONTROL, CASE CONTROL y BULK DATA). Es importante que cada sentencia permanezca dentro de la sección que le corresponde.
- Por otra parte, dentro de cada sección, el orden de las sentencias NO es importante salvo determinadas excepciones, así que se puede modificar el orden siempre que no incumpla la anterior regla. De todas formas, se recomienda no cambiar el orden establecido.
- Es muy importante tener en cuenta los campos de cada sentencia. Todas las sentencias disponen de un máximo de 10 campos (columnas), y cada campo ocupa 8 dígitos. Si se sale de estas limitaciones, habrá errores en la ejecución de los análisis. Por lo tanto se recomienda tener en cuenta las posiciones de cada sentencia (se recomienda consultar el documento “MSC Nastran 2013.1 Quick Reference Guide” para buscar cómo se define cada entrada o sentencia).
- En el cabecero y en los archivos .bdf, todas las líneas que comienzan por el símbolo del dólar (\$) se tratan de frases comentadas que no participan como líneas de código. Por lo tanto, si se requiere anotar algún comentario, éste debe comenzar por el símbolo del dólar. Por otra parte, para anular las sentencias, en vez de borrarlas de estos archivos, es una práctica común indicar al comienzo de cada sentencia el símbolo del dólar, por si acaso estas sentencias son útiles más adelante y necesitan reactivarse.

Para modificar el cabecero del análisis de vibraciones aleatorias se de realizar los siguientes pasos:

1. Cuando se crea un modelo mediante el programa MSC Patran, en muchas ocasiones se indica las condiciones de contorno. Cuando se crea el archivo .bdf (Analysis), en éste aparecen explícitamente estas condiciones de contorno junto con sentencias propias del cabecero (tipo de análisis, solicitud de resultados, etc.) (ver Figura 1-1). Por lo tanto, se debe copiar y pegar todas las restricciones que se aplican a los nodos del modelo que no pertenezcan a la interfaz (ver Figura 1-2 y Figura 1-3) del archivo .bdf al cabecero.

Finalmente, para evitar duplicidades se deben eliminar todas las sentencias del archivo .bdf del modelo que aparecen en el cabecero. Básicamente, las sentencias a eliminar son las secciones completas del EXECUTIVE CONTROL y del CASE CONTROL, el comienzo de la sección BULK DATA, las condiciones de contorno (después de haberlas pegado en el cabecero) y la sentencia final de ENDDATA (que debe aparecer en el cabecero) (ver Figura 1-4 y Figura 1-5).

2. Comprobación de los números de identificación de las condiciones de contorno: Se debe asegurar, que en el caso de haber copiado condiciones de contorno al cabecero, los números de identificación de las sentencias relacionadas sean coherentes (los números de identificación aparecen señalados en la Figura 1-6 y Figura 1-7).
3. Indicación de la dirección de la carga dinámica. En la Figura 1-8 aparece señalado la indicación de la dirección dentro de la sentencia SPCD. En este caso, el 3 corresponde con el eje z, siendo el 1 el que corresponde con el eje x y el 2 el que corresponde con el eje y.
4. Especificación del amortiguamiento. En los análisis dinámicos (vibraciones aleatorias y vibraciones sinusoidales) se debe especificar el valor del coeficiente de amortiguamiento ($\xi = \frac{1}{2Q}$), siendo Q el factor de amplificación. En este caso, se debe indicar de forma tabulada el valor de la frecuencia y a continuación el valor del coeficiente de amortiguamiento correspondiente a esa frecuencia. En la Figura 1-9, aparece que para la frecuencia 0 Hz el valor de amortiguamiento es 0.05 y para 2000 Hz el valor es de 0.05. Para las frecuencias intermedias se interpola linealmente. Así que en el ejemplo, el valor del amortiguamiento es constante (0.05) desde los 0 Hz hasta 2000 Hz. Al finalizar la tabla, se debe especificar el campo ENDT.
5. Especificación del input de la carga aleatoria de forma tabulada. Para aplicar la carga aleatoria, se necesitan dos sentencias consecutivas (ver Figura 1-10): La sentencia RANDPS, que NO debe modificarse; y la sentencia TABRND1, que a partir de la segunda línea indica para cada frecuencia el valor de la carga en g^2/Hz (es habitual que el input esté en estas unidades). Es una tabla similar a la del amortiguamiento, es decir se define primero la frecuencia y a continuación el valor de la carga correspondiente. Al finalizar la tabla, se debe indicar el campo ENDT.
En el ejemplo, se aplica una carga constante de 0.1 g^2/Hz desde los 0.1 Hz hasta los 1000 Hz.

6. Selección del intervalo de frecuencias para la definición de las soluciones: Mediante las sentencias **FREQ1** y **FREQ3** (ver Figura 1-11), se debe indicar el número de intervalos en los que se va a presentar las soluciones (tensiones, aceleraciones y fuerzas). En el ejemplo, con la sentencia **FREQ1** se define que las soluciones se muestren desde la frecuencia 1.0 Hz, en 999 intervalos iguales de 1 Hz cada uno (se calcula inmediatamente que la última frecuencia es de 1000 Hz). Con la sentencia **FREQ3**, se indica nuevamente que las respuestas se muestren desde 1.0 Hz hasta 1000Hz. Ambas sentencias pueden ser modificadas para ajustar el intervalo de las soluciones a cada problema.
7. Inspección del nodo de aplicación de la carga dinámica: En la Figura 1-12 aparece la sentencia de definición de este nodo. Es importante verificar que el número de identificación (en el ejemplo es 859999) no coincide con el número de identificación de ningún nodo del modelo. En caso de coincidencia, se debe modificar este valor en todas las sentencias implicadas (**SPCD**, **GRID**, **SPC1**).
8. Definición de los nodos duplicados de la interfaz: Desde el archivo **.bdf** del modelo, se debe identificar los nodos de la interfaz. Copiarlos al cabecero (para que las coordenadas sean coincidentes) y modificar el número de identificación de estos nuevos nodos del cabecero, para que no coincida con ningún ID de los nodos del modelo (ver Figura 1-13).
Por definición, los nodos de la interfaz son aquellos nodos del modelo donde se origina la carga dinámica.
9. Modificación de los elementos **CELAS2**: Se debe especificar para cada pareja de nodos coincidentes de la interfaz (original y duplicado correspondiente) una unión entre cada uno de los 6 grados de libertad mediante elementos elásticos **CELAS2**. En el ejemplo (ver Figura 1-14), sólo hay una pareja de nodos de interfaz, por lo que debe definirse hasta 6 elementos **CELAS2**, uno por cada grado de libertad. El resto de **CELAS2** (que se pueden usar en caso de que haya más parejas de nodos) se puede desactivar mediante la inclusión del símbolo del dólar (\$) al inicio de cada sentencia, que convierten estas sentencias en comentarios (sin participación en el análisis). Por otra parte, es importante verificar que los números de identificación de estos elementos **CELAS2** no coinciden con las identificaciones de los elementos del modelo. En caso de hacerlo, se debe modificar estas identificaciones en los **CELAS2**.
10. Modificación del elemento rígido **RBE2** que une el nodo de aplicación de la carga con los nodos duplicados. En la Figura 1-15 se señala la definición del elemento rígido, donde el primer número es su ID, el segundo es el ID del nodo de aplicación de la carga (859999), a continuación se definen numéricamente todos los grados de libertad implicados en la unión (12345) y finalmente debe aparecer la lista de los nodos duplicados de la interfaz (pero no deben aparecer los nodos originales de la interfaz). En el ejemplo, sólo se ha definido el nodo 11 como duplicado.
11. Modificación de la sentencia **INCLUDE**: Se debe indicar aquí el nombre del archivo **.bdf** del modelo (ver Figura 1-16). Es **IMPORTANTE** que tanto el cabecero como el archivo **.bdf** se encuentren en el mismo directorio.
12. Tras realizar correctamente todos estos cambios, se abre el programa MSC Nastran y se selecciona el archivo del cabecero (**.dat**) para ejecutar el análisis. En el caso de que no haya errores, se crearán los archivos de salida pertinentes como el archivo **.F06** para

visualizar los resultados (y posibles errores) mediante un editor de texto y el archivo .xdb que sirve para importar los resultados en MSC Patran.

```
$ NASTRAN input file created by the Patran 2012.2.2 64-Bit input file
$ translator on October 28, 2014 at 11:13:55.
$ Direct Text Input for Nastran System Cell Section
$ Direct Text Input for File Management Section
$ Direct Text Input for Executive Control
$ Linear Static Analysis, Database
SOL 101
CEND
$ Direct Text Input for Global Case Control Data
TITLE = MSC.Nastran job created on 23-Oct-14 at 14:41:57
ECHO = NONE
SUBCASE 1
$ Subcase name : Default
  SUBTITLE=Default
  SPC = 2
  DISPLACEMENT(SORT1,REAL)=ALL
  SPCFORCES(SORT1,REAL)=ALL
  STRESS(SORT1,REAL,VONMISES,BILIN)=ALL
BEGIN BULK
$ Direct Text Input for Bulk Data
PARAM POST 0
PARAM PRTMAXIM YES
$ Elements and Element Properties for region : Masa_20
CONM2 1 2 20.
$ Elements and Element Properties for region : Muelle
PELAS 1 710612.
$ Pset: "Muelle" will be imported as: "pelas.1"
CELAS1 2 1 1 3 2 3
$ Nodes of the Entire Model
GRID 1 0. 0. 0.
GRID* 2 0. 0. 0.
* .100000001490116
$ Loads for Load Case : Default
SPCADD 2 1 3
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion12456
SPC1 1 12456 2
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion
SPC1 3 12456 1
$ Referenced Coordinate Frames
ENDDATA 4a603c06
```

Figura 1-1: Archivo .bdf del modelo antes de la modificación

```

$ NASTRAN input file created by the Patran 2012.2.2 64-Bit input file
$ translator on October 28, 2014 at 11:13:55.
$ Direct Text Input for Nastran System Cell Section
$ Direct Text Input for File Management Section
$ Direct Text Input for Executive Control
$ Linear Static Analysis, Database
SOL 101
CEND
$ Direct Text Input for Global Case Control Data
TITLE = MSC.Nastran job created on 23-Oct-14 at 14:41:57
ECHO = NONE
SUBCASE 1
$ Subcase name : Default
  SUBTITLE=Default
  SPC = 2
  DISPLACEMENT(SORT1,REAL)=ALL
  SPCFORCES(SORT1,REAL)=ALL
  STRESS(SORT1,REAL,VONMISES,BILIN)=ALL
BEGIN BULK
$ Direct Text Input for Bulk Data
PARAM POST 0
PARAM PRTMAXIM YES
$ Elements and Element Properties for region : Masa_20
COMM2 1 2 20.
$ Elements and Element Properties for region : Muelle
PELAS 1 710612.
$ Pset: "Muelle" will be imported as: "pelas.1"
CELAS1 2 1 1 3 2 3
$ Nodes of the Entire Model
GRID 1 0. 0. 0.
GRID* 2 0. 0. 0.
* .100000001490116
$ Loads for Load Case : Default
SPCADD 2 1 3
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion12456
SPC1 1 12456 2
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion
SPC1 3 12456 1
$ Referenced Coordinate Frames
ENDDATA 4a603c06

```

Figura 1-2: Sentencias de definición de condiciones de contorno en el archivo .bdf original que deben ser trasladadas al cabecero


```

ID EPHET RANDOM Z
SOL 111
CEND
LINE=50000
    TITLE = RANDOM VIBRATION Z
    SUBTITLE = RANDOM VIBRATION Z
    LABEL = Z-DIRECTION RANDOM INPUT
    ECHO = NONE
    SPC      = 2
    METHOD    = 1
    DLOAD    = 10
    SDAMPING = 20
    RANDOM   = 30
    FREQ     = 40
    STRESS(SORT2,plot,phase,vonmises,rprint,crms)=all
    ACCELERATION(sort2,punch,real,psdf,rpunch) = all
    FORCES(sort2,punch,real,psdf)=all
BEGIN BULK
$
PARAM,POST,0
PARAM,RESVEC,YES
PARAM,PRTMAXIM,YES
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
$ Loads for Load Case : Default
SPCADD...2.....1.....3
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion12456
SPC1.....1.....12456...2
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion
    
```

Figura 1-3: Copia de las condiciones de contorno del modelo al cabecero

```

$ NASTRAN input file created by the Patran 2012.2.2 64-Bit input file
$ translator on October 28, 2014 at 11:13:55.
$ Direct Text Input for Nastran System Cell Section
$ Direct Text Input for File Management Section
$ Direct Text Input for Executive Control
$ Linear Static Analysis, Database
SOL 101
CEND
$ Direct Text Input for Global Case Control Data
TITLE = MSC.Nastran job created on 23-Oct-14 at 14:41:57
ECHO = NONE
SUBCASE 1
$ Subcase name : Default
  SUBTITLE=Default
  SPC= 2
  DISPLACEMENT(SORT1,REAL)=ALL
  SPCFORCES(SORT1,REAL)=ALL
  STRESS(SORT1,REAL,VONMISES,BILIN)=ALL
BEGIN BULK
$ Direct Text Input for Bulk Data
PARAM POST 0
PARAM PRTMAXIM YES
$ Elements and Element Properties for region : Masa_20
CONM2 1 2 20.
$ Elements and Element Properties for region : Muelle
PELAS 1 710612.
$ Pset: "Muelle" will be imported as: "pelas.1"
CELAS1 2 1 1 3 2 3
$ Nodes of the Entire Model
GRID 1 0. 0. 0.
GRID* 2 0. 0. 0.
* .100000001490116
$ Loads for Load Case : Default
SPCADD 2 .....1.....3
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion12456
SPC1 .....1.....12456...2
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion
SPC1 .....3.....12456...1
$ Referenced Coordinate Frames
ENDDATA 4a603c06

```

Figura 1-4: Líneas del archivo .bdf que deben ser eliminadas

```

$ Elements and Element Properties for region : Masa_20
CONM2 1 2 20.
$ Elements and Element Properties for region : Muelle
PELAS 1 710612.
$ Pset: "Muelle" will be imported as: "pelas.1"
CELAS1 2 1 1 3 2 3
$ Nodes of the Entire Model
GRID 1 0. 0. 0.
GRID* 2 0. 0. 0.
* .100000001490116

$ Referenced Coordinate Frames

```

Figura 1-5: Archivo .bdf final después de la modificación

```

ID EPTHET RANDOM Z
SOL 111
CEND
LINE=50000
    TITLE = RANDOM VIBRATION Z
    SUBTITLE = RANDOM VIBRATION Z
    LABEL = Z-DIRECTION RANDOM INPUT
    ECHO = NONE
    SPC      = 2
    METHOD    = 1
    DLOAD    = 10
    SDAMPING = 20
    RANDOM   = 30
    FREQ     = 40
    STRESS(SORT2,plot,phase,vonmises,rprint,crms)=all
    ACCELERATION(sort2,punch,real,psdf,rpunch) = all
    FORCES(sort2,punch,real,psdf)=all
BEGIN BULK
$
PARAM,POST,0
PARAM,RESVEC,YES
PARAM,PRTMAXIM,YES
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
$ Loads for Load Case : Default
SPCADD  2      1      3
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion12456
SPC1    1      12456  2
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion
SPC1    3      123456 859999
    
```

Figura 1-6: Correspondencia del mismo número de identificación entre la sentencia SPC = n del Case Control y el ID de la entrada SPCADD

```

ID EPHET RANDOM Z
SOL 111
CEND
LINE=50000
    TITLE = RANDOM VIBRATION Z
    SUBTITLE = RANDOM VIBRATION Z
    LABEL = Z-DIRECTION RANDOM INPUT
    ECHO = NONE
    SPC      = 2
    METHOD    = 1
    DLOAD    = 10
    SDAMPING = 20
    RANDOM   = 30
    FREQ     = 40
    STRESS(SORT2,plot,phase,vonmises,rprint,crms)=all
    ACCELERATION(sort2,punch,real,psdf,rpunch) = all
    FORCES(sort2,punch,real,psdf)=all
BEGIN BULK
$
PARAM,POST,0
PARAM,RESVEC,YES
PARAM,PRTMAXIM,YES
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
$ Loads for Load Case : Default
SPCADD  2      1      3
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion12456
SPC1    1      12456  2
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion
SPC1    3      123456 859999

```

Figura 1-7: Correspondencia de la numeración entre cada tipo de condición de contorno (SPC1) con la agrupación de condiciones de contorno SPCADD

```

BEGIN BULK
$
PARAM,POST,0
PARAM,RESVEC,YES
PARAM,PRTMAXIM,YES
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
$ Loads for Load Case : Default
SPCADD  2      1      3
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion12456
SPC1    1      12456  2
$ Displacement Constraints of Load Set : Restriccion
SPC1    3      123456 859999
RLOAD2,10,11,,,12,,ACCE
SPCD,11,859999,3,9.81
$
TABLED1 12
    0.      1.      2000.      1.      ENDT
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$

```

Figura 1-8: Selección de la dirección de aplicación de la carga de vibraciones aleatorias


```
SPCD,11,859999,3,9.81
$
TABLED1 12
      0.      1.      2000.      1.      ENDT
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
TABDMP1 20.....CRIT.....
.....0.....0.05.....2000.....0.05.....ENDT
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
```

Figura 1-9: Modificación de la constante de amortiguamiento (ξ) en función de la frecuencia

```
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
RANDPS,30,1,1,1.0,0.0,31
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
TABRND1 31
.....5.00.....0.1.....1000.0.....0.1.....ENDT
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
```

Figura 1-10: Modificación del input de la carga aleatoria. Se introduce el valor en g^2/Hz para cada frecuencia

```
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
FREQ1,40,1.0,1.0,999
FREQ3,40,1.0,1000.
$
EIGRL.....1.....0.....2000.....0.....
$ Definition of the node for the SHAKER
```

Figura 1-11: Selección del intervalo de frecuencias para el cálculo de las respuestas (FREQ1 y FREQ3) y para el cálculo de los modos propios (EIGRL)

```
$ Definition of the node for the SHAKER
GRID.....859999.....0.....-.0855.....0.
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
$ Definition of the I/Fs duplicated nodes. This is done to put a CELAS2 between
$ each pair, in order to recover the Force
GRID      11      0.      0.      0.
$ CELAS2 definition, for load recovery
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
```

Figura 1-12: Identificación del nodo extra donde se aplica la carga aleatoria.

```
$ Definition of the node for the SHAKER
GRID      859999      0.      -.0855      0.
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
$ Definition of the I/Fs duplicated nodes. This is done to put a CELAS2 between
$ each pair, in order to recover the Force
GRID.....11.....0.....0.....0.
$ CELAS2 definition, for load recovery
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$
```

Figura 1-13: Modificación de los nodos duplicados de la interfaz del modelo


```

$ CELAS2 definition, for load recovery
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$
CELAS2 2001 1.0E10 11 1 1 1
CELAS2 2002 1.0E10 11 2 1 2
CELAS2 2003 1.0E10 11 3 1 3
CELAS2 2004 1.0E10 11 4 1 4
CELAS2 2005 1.0E10 11 5 1 5
CELAS2 2006 1.0E10 11 6 1 6
$ CELAS2 2011 1.0E10 190010 1 100010 1
$ CELAS2 2012 1.0E10 190010 2 100010 2
$ CELAS2 2013 1.0E10 190010 3 100010 3
$ CELAS2 2014 1.0E10 190010 4 100010 4
$ CELAS2 2015 1.0E10 190010 5 100010 5
$ CELAS2 2021 1.0E10 190016 1 100016 1
$ CELAS2 2022 1.0E10 190016 2 100016 2
$ CELAS2 2023 1.0E10 190016 3 100016 3
$ CELAS2 2024 1.0E10 190016 4 100016 4
$ CELAS2 2025 1.0E10 190016 5 100016 5
$ CELAS2 2031 1.0E10 190022 1 100022 1
$ CELAS2 2032 1.0E10 190022 2 100022 2
$ CELAS2 2033 1.0E10 190022 3 100022 3
$ CELAS2 2034 1.0E10 190022 4 100022 4
$ CELAS2 2035 1.0E10 190022 5 100022 5
$ CELAS2 2041 1.0E10 190028 1 100028 1
$ CELAS2 2042 1.0E10 190028 2 100028 2
$ CELAS2 2043 1.0E10 190028 3 100028 3
$ CELAS2 2044 1.0E10 190028 4 100028 4
$ CELAS2 2045 1.0E10 190028 5 100028 5
$ CELAS2 2051 1.0E10 190035 1 100035 1
$ CELAS2 2052 1.0E10 190035 2 100035 2
$ CELAS2 2053 1.0E10 190035 3 100035 3
$ CELAS2 2054 1.0E10 190035 4 100035 4
$ CELAS2 2055 1.0E10 190035 5 100035 5

```

Figura 1-14: Modificación de los elementos elásticos (CELAS2) que unen cada DOF entre cada nodo de la interfaz con su duplicado correspondiente previamente definido

```

$ Multipoint Constraints to join I/Fs to the Shaker
RBE2 860000 859999 12345 11
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$
$ Referenced Coordinate Frames
$
INCLUDE 'Caso1_random.bdf'
$
ENDDATA

```

Figura 1-15: Modificación del elemento rígido o restricción multipunto (RBE2) que une el nodo de aplicación de la carga (860000) como nodo independiente, con los nodos duplicados de la interfaz (éstos como nodos dependientes)

```

RBE2 860000 859999 12345 11
$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$-----$$
$ Referenced Coordinate Frames
$
INCLUDE 'Caso1_random.bdf'
$
ENDDATA

```

Figura 1-16: Modificación de la entrada INCLUDE con el nombre del archivo .bdf del modelo

1.4 Posproceso – Análisis de resultados de vibraciones aleatorias

Cuando se haya realizado correctamente el análisis de vibraciones aleatorias, se debe inspeccionar el archivo .F06 en busca de resultados. En algunos problemas, se pide obtener el

valor rms (Root Mean Square) de la aceleración de un nodo determinado o de la fuerza de un elemento. Estos valores son obtenidos directamente desde el programa.

FORCES IN SCALAR SPRINGS (CELAS 1)							
(ROOT MEAN SQUARE)							
ELEMENT-ID	FORCE	ELEMENT-ID	FORCE	ELEMENT-ID	FORCE	ELEMENT-ID	FORCE
2	1.345057E+03						
OCTOBER 23, 2014 MSC Nastran 11/27/13 PAGE 37							
FORCES IN SCALAR SPRINGS (CELAS 2)							
(ROOT MEAN SQUARE)							
ELEMENT-ID	FORCE	ELEMENT-ID	FORCE	ELEMENT-ID	FORCE	ELEMENT-ID	FORCE
2001	0.0	2002	0.0	2003	1.345057E+03	2004	0.0
2005	0.0						
OCTOBER 23, 2014 MSC Nastran 11/27/13 PAGE 38							

Figura 1-17: Resultados de las fuerzas rms en el archivo .F06

ACCELERATION VECTOR									
(ROOT MEAN SQUARE)									
POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3		
1	G	0.0	0.0	9.804366E+01	0.0	0.0	0.0		
2	G	0.0	0.0	6.758824E+01	0.0	0.0	0.0		
11	G	0.0	0.0	9.805104E+01	0.0	0.0	0.0		
859999	G	0.0	0.0	9.805104E+01	0.0	0.0	0.0		
OCTOBER 23, 2014 MSC Nastran 11/27/13 PAGE 19									

Figura 1-18: Resultados de las aceleraciones rms en el archivo .F06

En muchos problemas piden calcular el valor de 3σ , que se trata sencillamente para asegurar que el 99.7% de las cargas aleatorias tengan un valor de intensidad por debajo de este valor. Por lo tanto, para obtener este valor, se debe multiplicar por 3 los resultados rms obtenidos del problema.