

OBTENCIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA

Dinámica v3.2

Dinámica v3.2

Es una App **gratuita** (S.O. Windows) de escritorio enfocada a alumnos, maestros y profesionistas en general en el área de la ingeniería sísmica. El programa obtiene la respuesta dinámica de una estructura modelada como un oscilador de uno o varios grados de libertad ante la acción de la aceleración del suelo.

El presente documento muestra cómo obtener los espectros de respuesta elástico-lineales con este software.

Espectros de respuesta

Es un gráfico (figura 1) que muestra la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad o aceleraciones) que produce una acción dinámica determinada en varios osciladores de 1GL.

En el eje de las abscisas (X) se encuentra el periodo (o la frecuencia) de vibrar propio de la estructura y en las ordenadas (Y) la respuesta máxima calculada para cada periodo T del oscilador, con el mismo factor de amortiguamiento.

“Los espectros se utilizan fundamentalmente para estudiar las características del terremoto y su efecto sobre las estructuras. Las curvas de los espectros presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles, que resultan de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto. El concepto de espectro de respuesta es una importante herramienta de la dinámica estructural, de gran utilidad en el área de diseño sismo-resistente”. (Crisafulli y Villafañe et. al 2002).

Para construir un espectro de respuesta es necesario calcular la respuesta dinámica de varios osciladores de 1GL con diferentes periodos de vibrar T y con igual factor de amortiguamiento. Para todos y cada uno de ellos se exhibirá una respuesta diferente. Una vez calculada la respuesta de los osciladores, se determina el máximo (en valor absoluto, dado que el signo no tiene importancia) de cada uno de ellos y se coloca en un gráfico en función del periodo de vibración, para obtener así un espectro de respuesta. Es decir, que la respuesta máxima de cada oscilador con periodo T representa un punto del espectro.

Descarga del sistema
Dinámica v3.2

<http://dds-mexico.com.mx/dinamica>



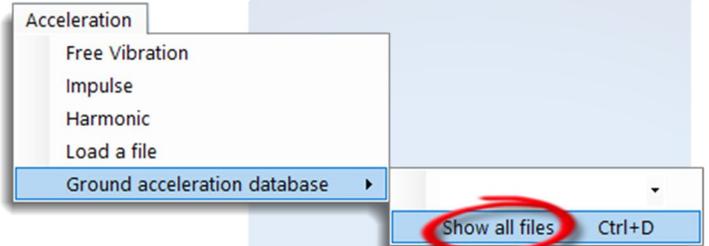
Figura 1 Espectro de respuesta

Ejemplo – Obtener espectros de respuesta

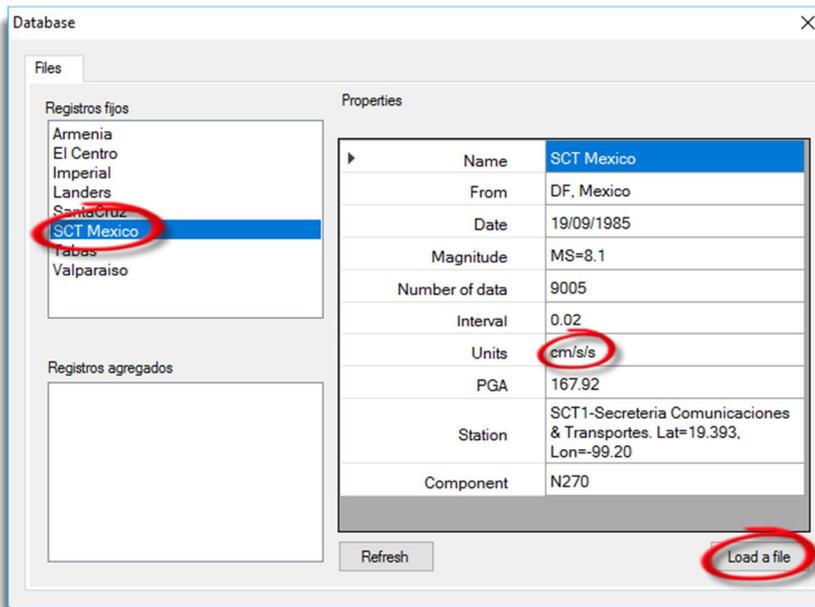
Utilice **DINÁMICA v3.2** para calcular los espectros de respuesta elástico-lineales de 0.1s a 5.0s con tres diferentes amortiguamientos (2%, 5% y 20 %) para el registro de aceleración obtenido el día 19 de septiembre de 1985 en la estación SCT (secretaria de comunicaciones y transportes) en la ciudad de México.

Solución:

En la ventana principal del sistema seleccione un proyecto de *Osciladores IGL*. Posteriormente, en el menú “*Acceleration*” seleccione la opción “*Show all files*”



En la ventana “*Database*” puede observar la lista de registros de aceleración que el sistema **DINÁMICA v3.2** tiene instalados de forma predeterminada. Al hacer clic en el nombre de cada registro podrá ver sus propiedades como: *nombre, lugar de origen, magnitud, fecha, aceleración máxima, etc.*



En la ventana anterior (“*Database*”) seleccione el registro “*SCT México*”. Es importante revisar las unidades de los datos de aceleración del registro ya que todos los resultados serán consistentes con estas unidades. Es decir, los desplazamientos estarán en **cm**, las velocidades en **cm/s** y las aceleraciones en **cm/s²**.

Para finalizar en esta ventana y cargar el registro de “*SCT-México*” haga clic en el botón *Load a file*.

En la ventana de “Osciladores IGL”, abierta previamente, se dibujará el registro de aceleración que seleccionamos.



Ahora, sobre cualquier **gráfica de respuesta** active el menú secundario y seleccione la opción “Computing response spectra”. Posteriormente establezca los parámetros de los espectros para este ejemplo como se muestra en la siguiente ventana.

Número de filas en la tabla → 3

Amortiguamientos → 0.02, 0.05, 0.2

Initial period: 0.1, Final period: 5.0, Interval: 0.02

Periodos inicial y final

Id	ξ	D0	V0
1	0.02	0	0
2	0.05	0	0
3	0.2	0	0

Para este ejemplo se requiere obtener los espectros para tres valores de amortiguamiento (2%, 5% y 20 %), establecemos entonces tres filas en la tabla que se muestra.

La columna *Id* es sólo de lectura y no puede modificar sus valores. En la columna ξ Introduzca los valores de los amortiguamientos especificados para este ejemplo en valores decimales.

Los valores de las columnas *D0* (desplazamiento inicial) y *V0* (velocidad inicial) se refieren a las condiciones iniciales de cada oscilador. Para este ejemplo todos los valores son iguales a cero.

Después establezca los valores del periodo inicial y final para el espectro, para este ejemplo es de **Ti=0.1s** y **Tf=5.0s** respectivamente.

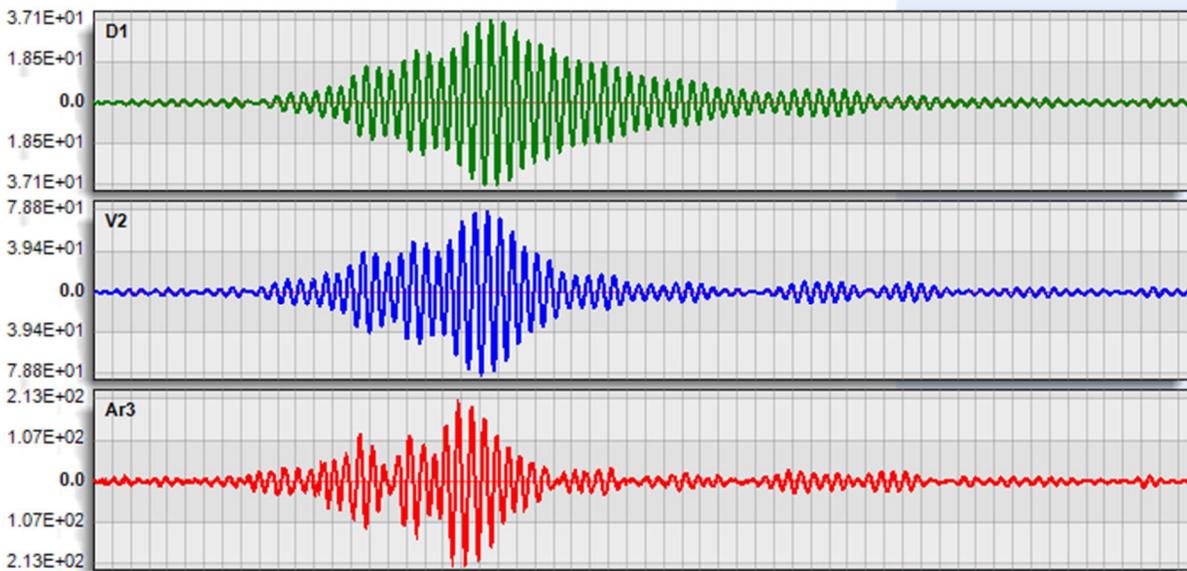
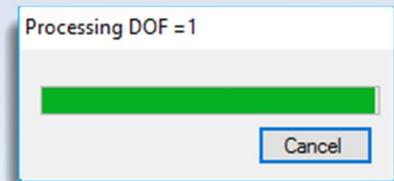
El intervalo (ΔT) determina el número de puntos que tendrá el espectro. Entre mayor número de puntos tenga el espectro éste tendrá una mejor resolución.

$$Np = \frac{(Tf - Ti)}{\Delta T}$$

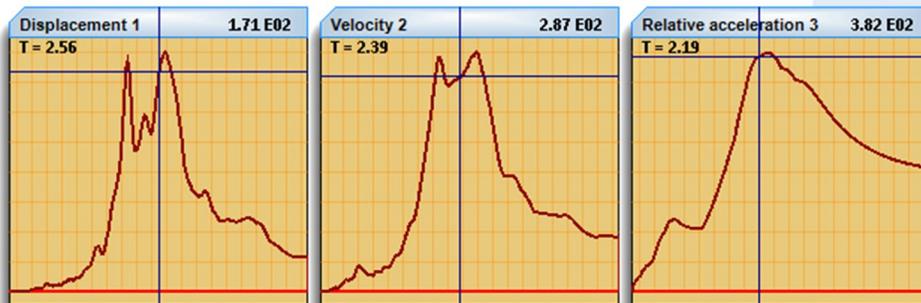
Finalmente el valor “Interval=0.02” (ΔT), de la ventana anterior, se refiere al incremento que tendrán los periodos dentro de la gráfica del espectro de respuesta. De tal forma que si el periodo inicial es $T=0.1s$, el siguiente punto dentro del espectro será $T=0.12s$, después $T=0.14s$, $0.16s$, $0.18s$ y así sucesivamente hasta llegar al valor de $T=5.0s$.

Una vez introducidos los parámetros de los espectros haga clic en el botón “Aceptar” de la ventana “Computing spectra”.

Al momento de calcular los espectros **DINÁMICA v3.2** mostrará las gráficas de respuesta correspondiente para cada punto del espectro, de tal forma que se visualizará en la pantalla la animación de las gráficas.



El proceso se llevará a cabo en tan sólo unos segundos. Al finalizar el cálculo se mostrará en la parte baja de la pantalla los dibujos de los espectros de respuesta.



Los dibujos de los espectros tienen las siguientes características:

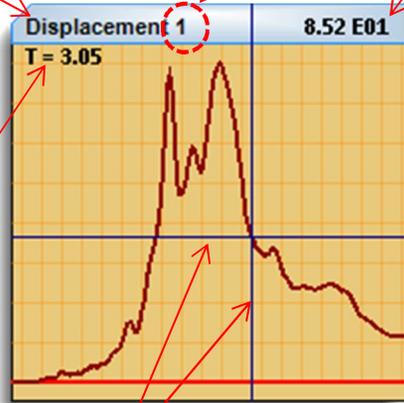
Tipo de espectro:

- Desplazamiento
- Velocidad
- Aceleración relativa
- Aceleración

Número de espectro

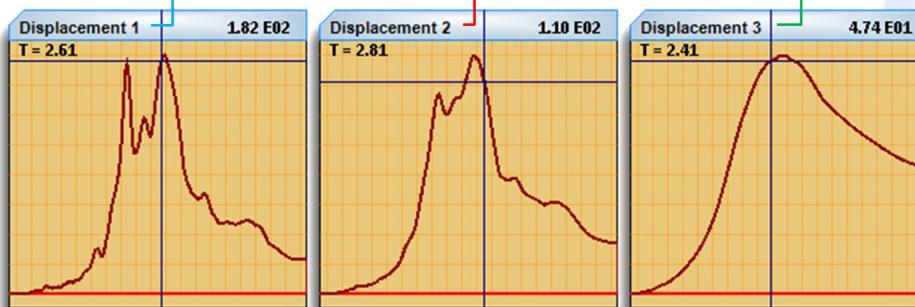
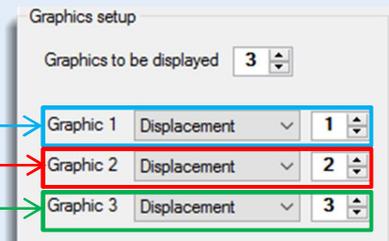
Valor del espectro (en este ejemplo) es el desplazamiento que corresponde al periodo $T=3.05s$

Valor del periodo según la posición de la cruceta en el eje "X".



Cruceta, se sincroniza con el movimiento del puntero del mouse cuando este último se encuentra sobre la gráfica del espectro

Para comparar directamente en pantalla los espectros de desplazamiento (con los diferentes valores de amortiguamiento que introducimos: 2%, 5% y 20 %) cambie los tipos de gráficas en "Graphics setup" a "Displacement" y los espectros se mostrarán de la siguiente manera:



Ahora, pase el puntero del mouse sobre cualquiera de las tres gráficas de espectro de respuesta y observe como la cruceta (color azul) se sincroniza con el movimiento del mouse.

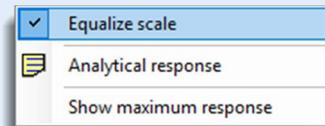
Si hace clic sobre los espectros, la cruceta se quedará fija hasta que nuevamente haga clic sobre el espectro.

Si para cada espectro ubica la cruceta en el periodo $T=2.04$ s. obtendrá los siguientes valores de desplazamiento:

Espectro	ξ	Valor
Displacement 1	2 %	180.0 cm
Displacement 2	5 %	103.0 cm
Displacement 3	20 %	39.1 cm

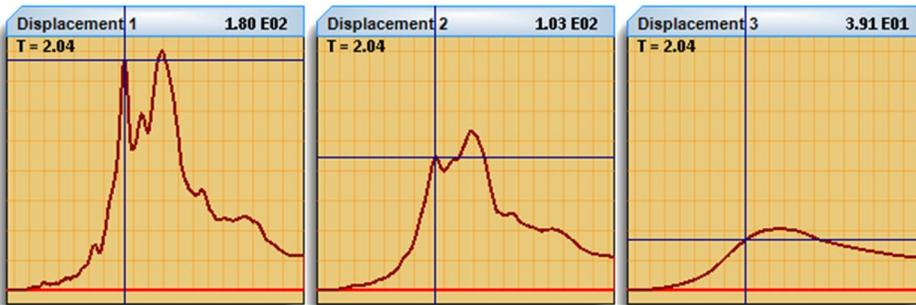
Podemos observar en la tabla anterior que el valor del desplazamiento es inversamente proporcional al valor del amortiguamiento. Es decir, a mayor amortiguamiento menor será el desplazamiento. **DINÁMICA v3.2** permite ver esto de forma gráfica, para ello seleccione la opción “*Equalize Scale*” en el menú secundario de los espectros y observará como los espectros se dibujan a la misma escala.

En este caso las unidades de los desplazamientos están en **cm** porque las unidades del registro de aceleración que usamos son **cm/s²**

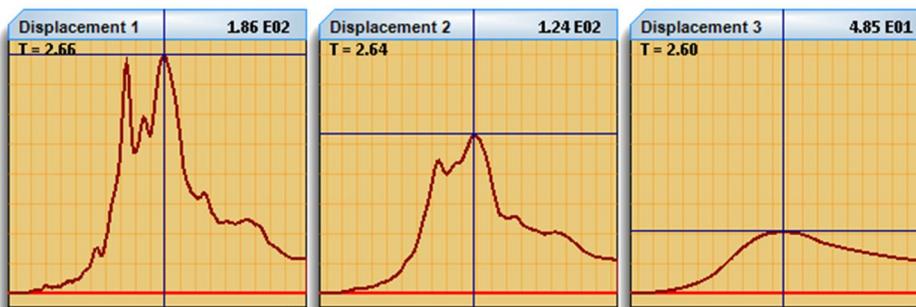


La opción “*Equalize Scale*” se activa sólo cuando los espectros corresponden al mismo tipo:

- Desplazamiento
- Velocidad
- Aceleración



Con la opción “*Show maximum response*”, del menú secundario, el sistema ubica a las crucetas de cada espectro en la punto máximo del espectro, para este ejemplo se observaría de la siguiente manera:



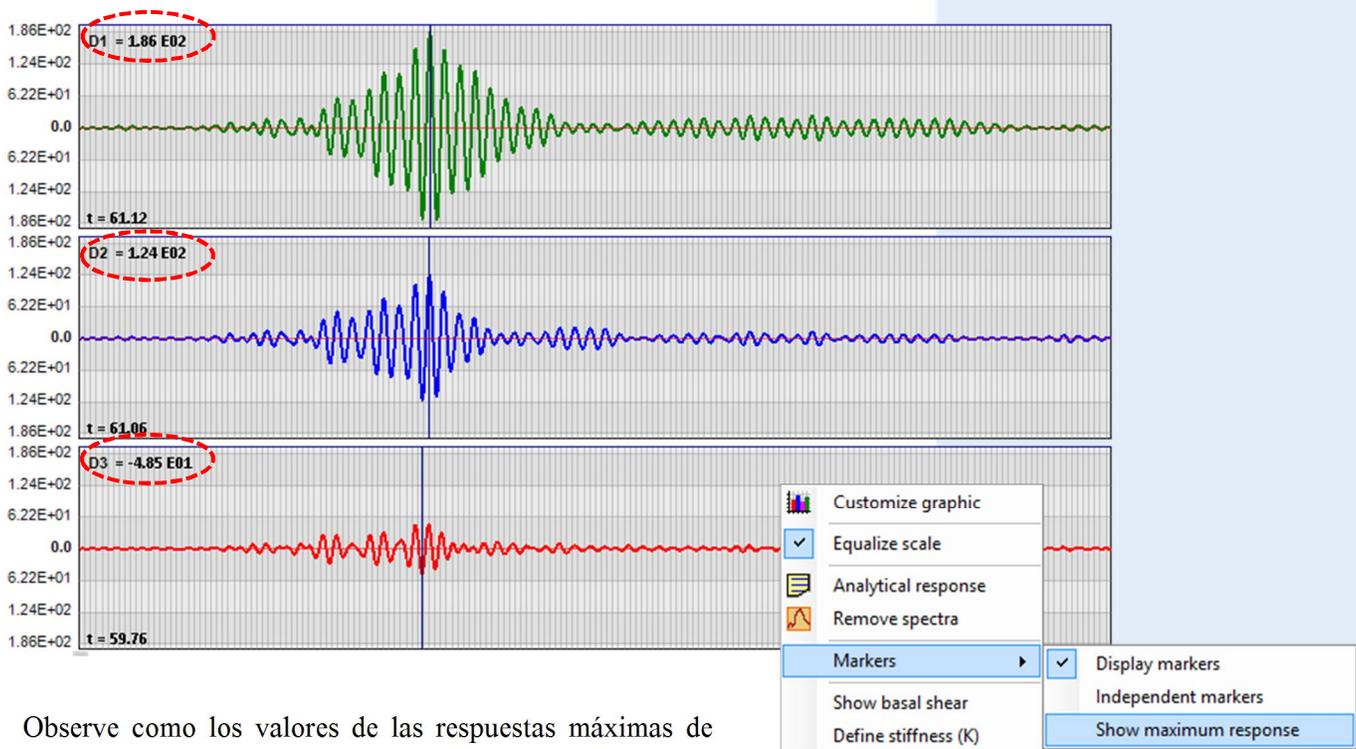
Con esto se muestra que las amplitudes máximas de cada espectro de desplazamiento ocurren para diferente valor del periodo según el valor del amortiguamiento que se tenga.

Lo anterior también se puede ver en las gráficas de respuesta. Para esto realice los siguientes puntos:

- ✓ En el control “Properties of the masses” establezca el valor del periodo en $T_1=2.66s$, $T_2=2.64s$ y $T_3=2.60s$ como se muestra en la figura
- ✓ En el menú secundario de las gráficas de respuesta seleccione:
 - La opción “Equalize Scale” para dibujarlas a la misma escala.
 - La opción *Markers/Display markers* para activar las líneas móviles sobre las gráficas
 - Por último la opción *Show maximum response* para ubicar la respuesta máxima en cada gráfica

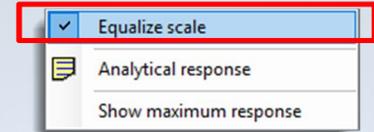
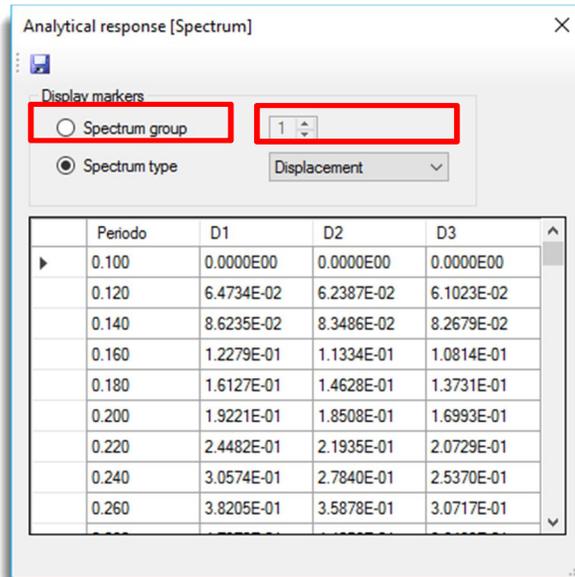
Lumped	T(s)	ξ	D0	V0
1	2.66	0.02	0	0
2	2.64	0.05	0	0
3	2.60	0.2	0	0

Después de hacer los pasos anteriores, las gráficas de respuesta se verán de la siguiente forma:



Observe como los valores de las respuestas máximas de cada gráfica de desplazamiento son los mismos que las amplitudes máximas de los espectros.

Ahora, con la opción “Analytical response” vamos a exportar los valores numéricos de los espectros y los copiaremos en Microsoft Excel para generar una gráfica externa. Para esto seleccione la opción correspondiente en el menú secundario de los espectros para abrir la siguiente ventana



En la ventana de “Analytical response” puede copiar los datos directamente de la tabla o bien puede exportar todos los valores a un archivo de texto.

En la ventana anterior seleccione la opción para ver los datos del espectros por tipo “Spectrum type” y también seleccione “Displacement”. Copie los datos de la tabla seleccionándolos y posteriormente haga CTRL+C para pasarlos al portapapeles de Windows.

Puede pegar estos datos directamente en un archivo de Microsoft Excel y graficarlos como lo desee. En la siguiente figura se muestra una gráfica en Microsoft Excel que contempla los tres espectros de desplazamiento con los diferentes valores de amortiguamiento.



Una de las características principales de **DINÁMICA v3.2** es visualizar la animación de los espectros de respuesta.

Oprima el botón “Play” para iniciar la animación de los espectros, al hacerlo se habilitarán también el botón “Stop” y el botón “Pause”.

Observe en la animación como cambian los dibujos de las gráficas de respuesta en sincronía con los espectros de respuesta. Al colocar las gráficas de respuesta y los espectros a la misma escala, puede ver a simple vista, en la animación, qué gráfica muestra la mayor amplitud y cómo va cambiando la respuesta a la largo de la animación.

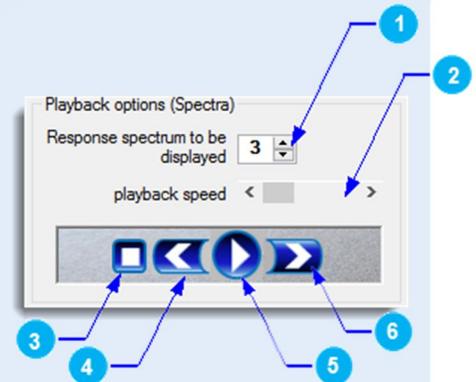
Repita de nuevo la animación y esta vez oprima en el botón “Pause” (antes de que termine la reproducción de la animación), al hacerlo se habilitarán los botones “Next” y “Back”, oprima estos botones y observe como la animación del espectro se mueve un punto hacia adelante o hacia atrás pausadamente paso a paso, según sea el caso.

Para finalizar, oprima el botón “Stop” o bien el botón “Play” para reanudar la animación.

Las opciones del grupo de controles “Play options (spectra)” se describen en la siguiente tabla:

Id	Control	Descripción
1	Espectros activados	Número de espectros y gráficas de respuesta que se muestran para la animación
2	Velocidad de la animación	Con el control Scroll Bar, seleccione la velocidad de reproducción de la animación. El control muestra tres velocidades (alta, media y baja) dependiendo de la ubicación de la barra horizontal.
3	Stop	Detiene por completo la animación
4	Back	Si la animación se encuentra en pausa es posible retroceder la animación, por cada paso
5	Play/Pause	Inicia/Pausa la animación
6	Next	Si la animación se encuentra en pausa es posible adelantar la animación, por cada paso

Las opciones “Play options (spectra)” sólo se habilitan cuando estén activos los espectros de respuesta.



El ejercicio de poner en marcha la animación le permitirá observar qué la respuesta máxima no siempre se encuentra en la misma posición

Referencias:

Crisafulli F. y Villafañe E. (2002), “**Espectros de respuesta y de diseño**” Facultad de ingeniería U N Cuyo, Argentina. Dirección electrónica:
<http://blog.uca.edu.ni/estructuras/files/2011/02/espectros-de-respuesta-y-de-dise%C3%B1o.pdf>

Recomendaciones:

En este tutorial se ha mostrado un ejemplo para obtener los espectros de respuesta (elástico-lineales) y mostrar su animación. Sin embargo, el usuario puede obtener los espectros que requiera y visualizarlos como desee, por favor hágalo, utilice el sistema, diviértase y sobretodo reproduzca los resultados usted mismo para que aprenda y no tome los resultados de este sistema como si fuese una caja negra,

Introduzca otra señal de aceleración y vea qué pasa...

Los pasos que se mostraron en este documento son sólo una recomendación de uso, un ejemplo para mostrar el alcance del programa, no obstante usted puede reproducir sus propios ejemplos.

Cualquier duda o comentario con respecto a este documento puede ponerse en contacto con:
octavio.hinojoza@outlook.com.

El sistema es gratuito y puede descargarlo en el siguiente link: <http://www.dds-mexico.com.mx/dinamica>