

<b>Nº</b>	<b>FECHA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
NT-03	03-01-2014	<p>La siguiente nota técnica trata sobre los efectos que las vibraciones producidas por un determinado movimiento ondulatorio de una maquinaria sobre una determinada estructura.</p> <p>Se trata de forma somera tanto el planteamiento de la campaña de ensayo como el trabajo de análisis e interpretación de los resultados obtenidos.</p>

### **NOTA TÉCNICA NT-03**

#### **MEDICIÓN Y CÁLCULO DE VIBRACIONES EN FORJADOS DEBIDOS A MÁQUINAS**

---

**INDICE**

---

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN FORJADOS.....</b>	<b>5</b>
<b>3. CÁLCULO DE VIBRACIONES EN FORJADOS .....</b>	<b>7</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Una vibración es una pequeña oscilación de los diferentes puntos de la estructura respecto a la posición de equilibrio de la misma.

Las máquinas y los equipos empleados en las instalaciones, generalmente de uso industrial, debido a las condiciones de operación de los mismos, suelen introducir acciones variables en el tiempo en las estructuras.

Según sea el tipo de máquina, estas vibraciones producidas tendrán unas determinadas características u otras, tanto de dirección de vibración como de frecuencias y amplitudes.

La ecuación general empleada en los análisis dinámicos es la mostrada a continuación:

$$[K] \cdot \underline{u} + [C] \cdot \underline{v} + [M] \cdot \underline{a} = \underline{F}(t)$$

Esta ecuación depende de los siguientes parámetros:

- ✚ **Rigidez de la estructura.** Este parámetro controla el comportamiento estático de los elementos de la estructura.
- ✚ **Masa.** La magnitud de las fuerzas inerciales es directamente proporcional a la aceleración aplicada y a la masa excitada.
- ✚ **Amortiguamiento de la estructura.** Una característica de las estructuras, de difícil caracterización, es la capacidad de las estructuras de disipar la energía aplicada mediante la excitación.

El amortiguamiento empleado en este tipo de análisis es un amortiguamiento viscoso, dependiente de la velocidad. Se suele tomar como una porción del amortiguamiento crítico,  $\xi$ .

Mediante esta definición, podemos señalar varios campos de amortiguamiento:

- Amortiguamiento crítico y amortiguamiento supercrítico: tras una perturbación inicial, la masa regresa a la posición de equilibrio, pero no oscila.
- Amortiguamiento subcrítico: tras la perturbación inicial, la masa regresa a la posición inicial, pero sufre una determinada oscilación alrededor de dicha posición de equilibrio.

El amortiguamiento va disminuyendo la amplitud de dicha oscilación alrededor de la posición de equilibrio. Cuanto más amortiguada esté la estructura, más rápidamente las oscilaciones convergerán en la posición de equilibrio.

Un caso particular de amortiguamiento subcrítico es el caso de las estructuras no amortiguadas ( $\xi=0$ ). La frecuencia para estas condiciones de amortiguamiento se llama **frecuencia natural** del sistema,  $f_n$ .

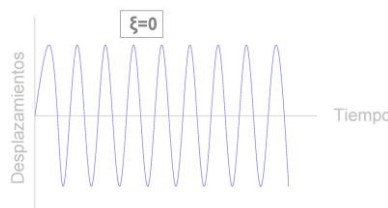


Imagen 1 Amortiguamiento nulo ( $\xi=0$ ) – Frecuencia natural de vibración,  $f_n$

Conviene tener en cuenta que el amortiguamiento depende de los niveles de excitación, así como de la velocidad de aplicación de la carga.

- ✚ **Función de carga exterior aplicada.** En general, las cargas que nos encontraremos serán cargas dependientes del tiempo.

Por las características de funcionamiento de las máquinas, este tipo de cargas suele ser periódica. Este tipo de señales se caracterizan mediante un determinado periodo (relacionada con la duración de cada ciclo) y una amplitud de la señal (relacionada con la intensidad de la señal).

Este tipo de excitación se suele valorar mediante funciones de densidad espectral. Las funciones de densidad espectral son funciones probabilísticas que se caracterizan por las distintas amplitudes para cada frecuencia de un determinado fenómeno ondulatorio que sea superposición de ondas de varias frecuencias.

Estas funciones representan las excitaciones pico del tren de ondas producido para cada una de las frecuencias analizadas.

## 2. MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN FORJADOS

Para el diseño de las campañas de medidas, se han de considerar adecuadamente algunos aspectos que influirán posteriormente en la interpretación de los resultados obtenidos.

Los resultados de estas campañas de ensayos son los niveles de ruido que se encuentran presentes en las instalaciones. Generalmente, se emplea una escala logarítmica denominada decibelio (dB) referenciada a un mínimo nivel de aceleración perceptible o nivel umbral.

Esta escala logarítmica se puede expresar de la siguiente forma:

$$\text{dB} = 10\log(\text{ASD}_H/\text{ASD}_L)$$

Los niveles de ruido obtenidos son una magnitud de las vibraciones de la estructura en términos de aceleraciones de la masa de la misma.

La estimación de la respuesta de la estructura frente a la señal de excitación se realiza a través de un análisis de vibraciones aleatorias mediante funciones de densidad espectral.

### **Posición de los puntos de medida**

El primer paso para el diseño de la campaña de medidas es la localización de los puntos donde se han de tomar las medidas.

Para localizar estos puntos es corriente basarse en un análisis previo de la estructura donde se realiza una caracterización dinámica de la misma. En este nivel suele considerarse la estructura tanto sin amortiguamiento como amortiguada.

Además, suele ser interesante realizar este análisis tanto frente a vibraciones libres como forzadas.

Para analizar el comportamiento frente a vibraciones libres se emplean análisis de tipo modal, donde se obtienen los periodos y frecuencias propias de la estructura. Los resultados de este análisis se empleará en el análisis probabilístico posterior de la función de densidad espectral.

Para analizar la respuesta de la estructura frente a vibraciones forzadas se suele generar una excitación constante de valor igual a la aceleración angular del movimiento ondulatorio estudiado para todo el dominio de frecuencias. Se realiza un análisis estacionario de dicha señal.

En este paso se pretenden localizar los puntos que presentarán una mayor excitación para los rangos de frecuencias que se pretenda analizar.

### **Rango de frecuencias en que se realizan las medidas**

Una determinada excitación suele propagarse mediante un tren de ondas de diferentes frecuencias. Generalmente, además, habrá unas determinadas frecuencias, en que el tren de ondas producirá mayores amplitudes en la señal de excitación.

Debido a que el dominio de la frecuencia es un dominio continuo, no es posible analizar cada una de estas frecuencias por lo que se emplean unas determinadas bandas o gamas de frecuencias perceptibles denominadas *octavas* que se conocen por sus frecuencias centrales: 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000Hz.

En estudio de mayor precisión se definen unas bandas de menor ancho denominadas *tercios de octava*, cuyas bandas son de 1/3 de las anteriores.

#### **Condiciones de la toma de medidas**

Para poder interpretar de forma adecuada los resultados obtenidos, lo ideal es realizar medidas para varias condiciones de operación de la instalación estudiada.

En primer lugar, es interesante, siempre y cuando el proceso industrial implicado lo permita (paradas de mantenimiento...), realizar tomas de medidas con las instalaciones fuera de servicio. Mediante esta serie de medidas podemos localizar los ruidos residuales que tengamos en dicha instalación.

Este tipo de ruidos pueden distorsionar los resultados y provienen de cualquier perturbación que exista en el entorno como puede ser el paso de vías cercanas, otras instalaciones cercanas o cualquier otra posible fuente de excitación.

En segundo lugar, y para cada caso particular, ha de realizarse un determinado número de series de medidas que dependerá de la naturaleza y configuración de la instalación.

El alma de esta segunda serie de medidas es intentar caracterizar la señal producida por los diferentes elementos que produzcan excitaciones en la estructura e identificar las frecuencias en que cada uno de estos elementos estará excitando a la estructura.

### 3. CÁLCULO DE VIBRACIONES EN FORJADOS

Una vez se tiene caracterizada la señal de la excitación producida por los distintos equipos o máquinas presentes en la instalación, el siguiente paso será simular la respuesta de la estructura frente a una determinada función de aceleraciones espectrales.

Para ello, el modelo debe reflejar de la forma más fiel posible la **distribución espacial tanto de las masas como de las rigideces**. Además, debido a la variación de los resultados obtenidos, ha de prestarse especial atención al concepto del **amortiguamiento** considerado.

En este paso buscamos conocer el nivel de solicitaciones a que se encuentra sometida la estructura estudiada bajo la acción concreta de la señal medida.

Para el análisis del estado de la estructura han de chequearse diferentes aspectos, tanto relativos a la resistencia de la estructura como a su funcionalidad.

Este chequeo se realiza mediante las comprobaciones normativas correspondientes a la localización de la estructura tal y como se realiza en el dimensionamiento y comprobación estructural según los estados límites.

- ✚ **Comprobaciones de los Estados Límites Últimos (ELU):** los estados límites últimos son aquellos que comprometen la resistencia y estabilidad de la estructura.

Mediante el análisis espectral realizado se obtendrán las variaciones que se producirán en las solicitaciones de los elementos de la estructura respecto a las solicitaciones producidas por la carga estática aplicada.

Por ejemplo, un forjado sometido tanto a cargas estáticas (peso propio, cargas muertas y sobrecargas de uso), tendrá un nivel de solicitaciones flectoras constante para cada uno de los estados límites estudiados. Además, debido a la naturaleza oscilante de las cargas dinámicas, se producirán unas solicitaciones variables que habrán de combinarse con las estáticas para determinar los nuevos estados tensionales.

La siguiente imagen muestra una gráfica típica de variación de los momentos flectores de un componente de la estructura:

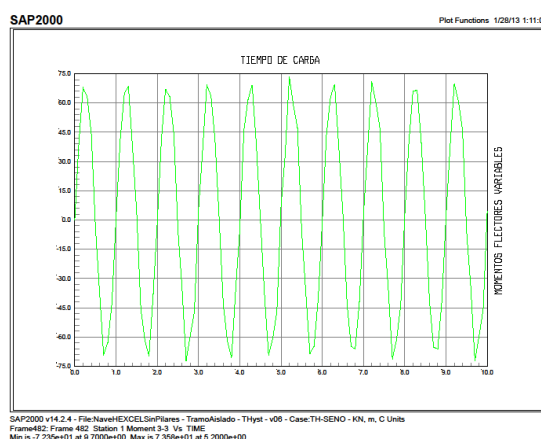


Imagen 2 Carrera de momentos flectores producida por una señal oscilatoria

Dependiendo tanto del número de ciclos previsto como de las carreras de tensiones que estos producen, la estructura podría llegar a tener su resistencia comprometida por debajo de los niveles

tensionales normativos aceptables debidos a fenómenos relacionados con la fatiga de sus componentes.

- ✚ **Comprobaciones de los Estados Límites de Servicio (ELS):** los estados límites de servicio son aquellos que comprometen la funcionalidad de una determinada estructura.

Entre estos estados límites se encuentra el confort de los usuarios de dichas instalaciones. Este estado límite de servicio está íntimamente ligado a los niveles de ruido o aceleraciones para los cuales las personas son susceptibles de ver afectos sus sentidos.

Existen unos determinados rangos de frecuencias para los cuales la sensibilidad de las personas es mayor. En la bibliografía especializada se recogen estos rangos de frecuencias para diversos usos de las estructuras.

Generalmente, las vibraciones suelen comprometer antes la funcionalidad por confort de los usuarios que la resistencia o estabilidad de la estructura.

Además, cuando la resistencia o estabilidad de los elementos de la estructura se ven comprometidos, esta suele producirse por debajo de la resistencia propia de dichos componentes, generalmente por gran cantidad de ciclos con carreras de tensiones elevadas (fatiga).