



Fundamentos -

¿Qué es una vibración?



En términos muy simples una vibración es un **movimiento oscilatorio de pequeña amplitud**. Todos los cuerpos presentan una señal de vibración en la cual plasman cada una de sus características. De acuerdo a esto, las máquinas presentan su propia señal de vibración y en ella se encuentra la información de cada uno de sus componentes. Por tanto, una señal de vibración capturada de una máquina se compone de la suma de la vibración de cada uno de sus componentes.



La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Estas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras.

en condiciones ideales, se efectuará un movimiento armónico simple que tendrá una amplitud A . Ahora a la masa vibrante le añadimos un lápiz, y una hoja de papel en su parte posterior, de manera que pueda marcar su posición. Si desplazamos el papel con velocidad constante hacia el lado izquierdo se dibujará una onda como la representada en la Figura 2

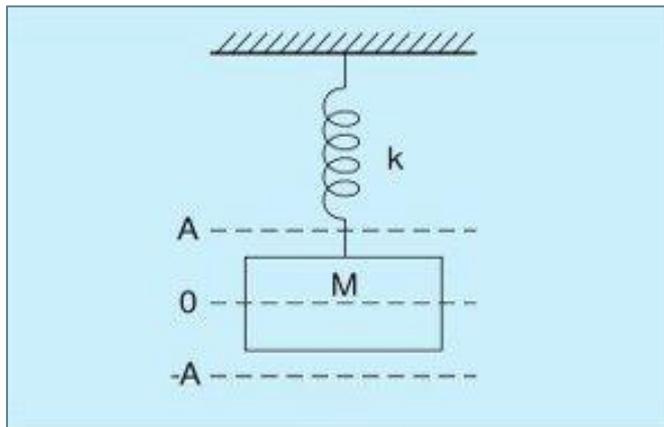


Figura 1. Masa suspendida de un muelle

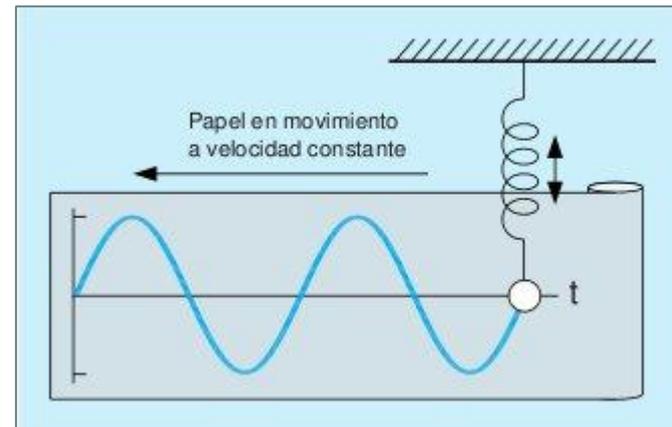


Figura 2. Movimiento armónico simple

Parámetros que definen una vibración Simple



Frecuencia

El tiempo que tarda la masa en ir y volver al punto A siempre es constante. Este tiempo recibe el nombre de período de oscilación (medido generalmente en segundos o milisegundos) y significa que el muelle completó un ciclo. El recíproco del período es la frecuencia (es decir $F=1/P$) la cual generalmente es dada en Hz (ciclos por segundo) o CPM (ciclos por minuto).

Amplitud

Desde el punto de vista de las vibraciones es **cuanta cantidad de movimiento puede tener una masa desde una posición neutral** (marcada como 0 en la Figura 2). Es la intensidad de la vibración, y es indicativa de la severidad de la misma. Existen diversas formas de medir la amplitud de una onda como se puede ver en la Figura 3. Podemos decir que el movimiento tiene una amplitud de pico (p) de A mm, ya que sabemos que como la curva es simétrica también existe un movimiento de amplitud -A mm en la dirección opuesta. También podemos decir que la curva tiene un valor de desplazamiento pico a pico (p-p) de 2A, correspondiente a A mm hacia arriba y A mm hacia abajo.

La tercera forma de describir la amplitud es el valor RMS (root-mean-square). Es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores de la onda. *En el caso de una onda sinusoidal es igual a **0.707 del valor pico***. El valor RMS se utiliza para medir la energía de la forma de onda.

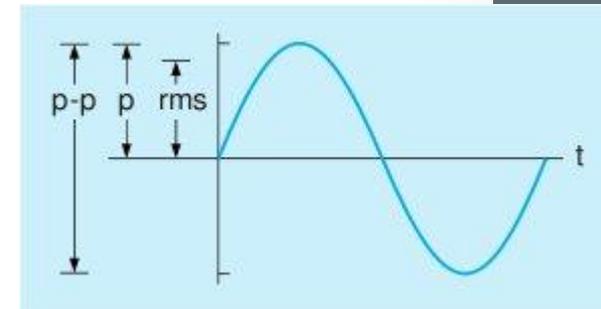


Figura 3. Medidas de Amplitud

Fase

Es una medida de la diferencia de tiempo entre dos ondas sinusoidales. Aunque la fase es una diferencia de tiempo, siempre se mide en términos de ángulo, en grados o radianes. Eso es una normalización del tiempo que requiere un ciclo de la onda sin considerar su verdadero período de tiempo.

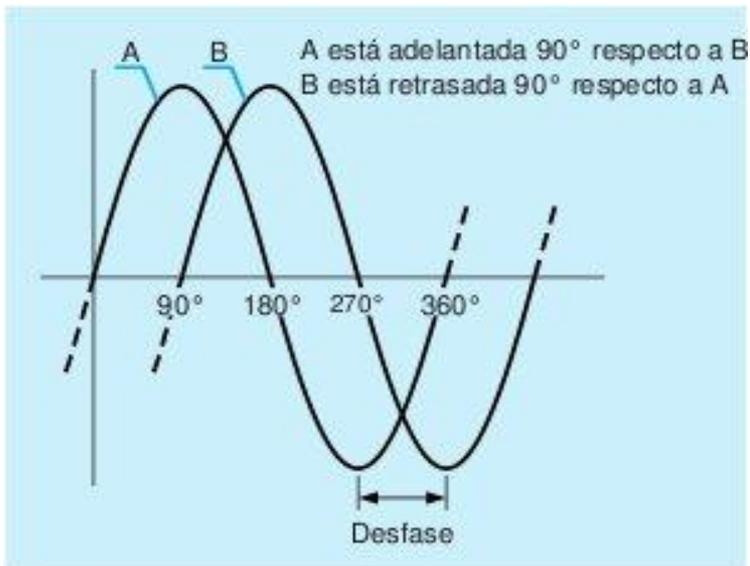


Figura 4. Medidas de Amplitud

La diferencia en fase entre dos formas de onda se llama desfase o desplazamiento de fase. Un desfase de 360 grados es un retraso de un ciclo o un período completo de la onda, lo que realmente no es ningún desplazamiento. Un desplazamiento de 90 grados es un desplazamiento de $\frac{1}{4}$ del período de la onda, etc. El desplazamiento de fase puede ser considerado positivo o negativo; eso quiere decir que una forma de onda puede estar retrasada respecto a otra o puede estar adelantada respecto a otra. Esos fenómenos se llaman retraso de fase y avance de fase respectivamente.

En el ejemplo de la [Figura 4](#), la curva A se encuentra desplazada 90 grados con respecto a la curva B. Eso es un retraso de tiempo de $\frac{1}{4}$ del período de la onda. También se podría decir que la curva A tiene un avance de 90 grados.

Vibración compuesta



Una vibración compuesta es la suma de varias vibraciones simples. La vibración de una máquina es una vibración compuesta de una serie de vibraciones simples asociadas a sus componentes internos en movimiento. Teniendo esto en cuenta, se deduce que la forma de onda de vibración de una máquina no es una señal sinusoidal sino que puede llegar a ser muy compleja. Como se puede ver en la [Figura 5](#), dos señales de vibración de diferente frecuencia se suman formando una vibración compuesta. Incluso en casos tan sencillos como este, no resulta fácil obtener las frecuencias y amplitudes de las dos componentes a partir de la forma de onda resultante. La gran mayoría de las señales de vibración son mucho más complejas que esta y pueden llegar a ser extremadamente difíciles de interpretar

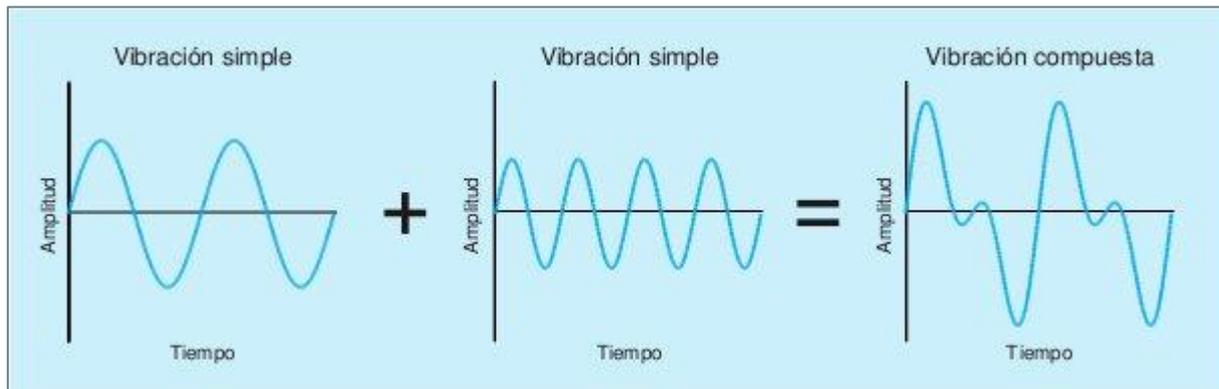


Figura 5. Suma de vibraciones simples en el dominio del tiempo.

Otros tipos de vibraciones



La **vibración aleatoria** no cumple con patrones especiales que se repiten constantemente o es demasiado difícil detectar donde comienza un ciclo y donde termina. Se asocian generalmente a turbulencia en sopladores y bombas, a problemas de lubricación y contacto metal-metal en elementos rodantes o a cavitación en bombas. Este tipo de patrones es mejor interpretarlos en el espectro y no en la onda en el tiempo.

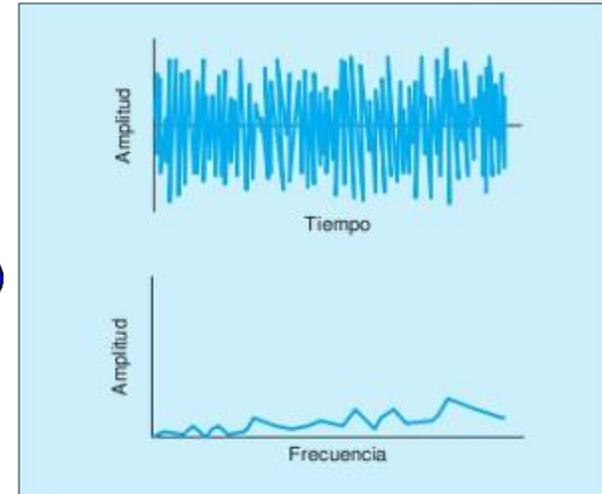
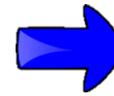


Figura Vibración aleatoria

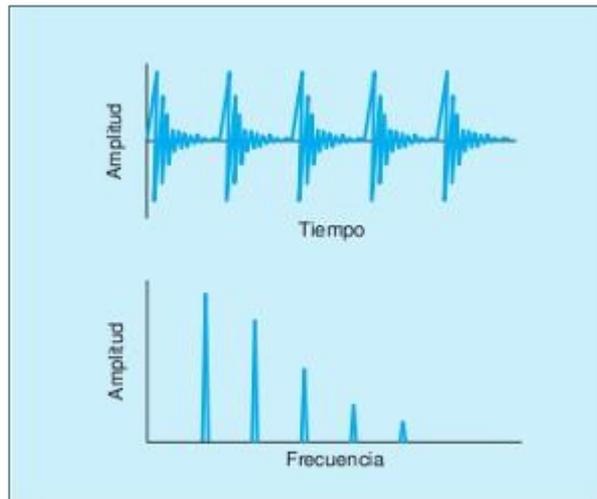
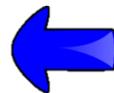


Figura . Golpeteos intermitentes



Los **golpeteos intermitentes** están asociados a golpes continuos que crean una señal repetitiva. Estos se encuentran más comúnmente en engranajes, en el paso de las aspas de un impulsor o ventilador, etc. Este tipo de señales tiende a morir debido a la amortiguación del medio.

Otros tipos de vibraciones



La **modulación de amplitud (AM)** es la variación en amplitud de una señal, debido a la influencia de otra señal, generalmente, de frecuencia más baja. La frecuencia que se está modulando, se denomina frecuencia portadora. En el espectro mostrado en la Figura, la componente más importante es la portadora, y las otras componentes, que parecen armónicos, se llaman bandas laterales. Dichas bandas laterales se ubican simétricamente a cada lado de la portadora, y su distancia es igual a la frecuencia moduladora.

La modulación de amplitud ocurre en espectros de vibración de máquinas, especialmente en cajas de engranajes, donde la frecuencia de engrane está modulada por las RPM del piñon o la corona como se verá más adelante.

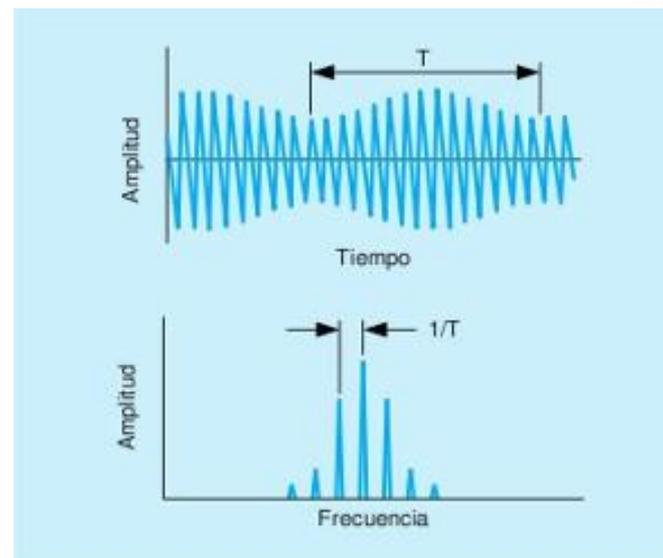
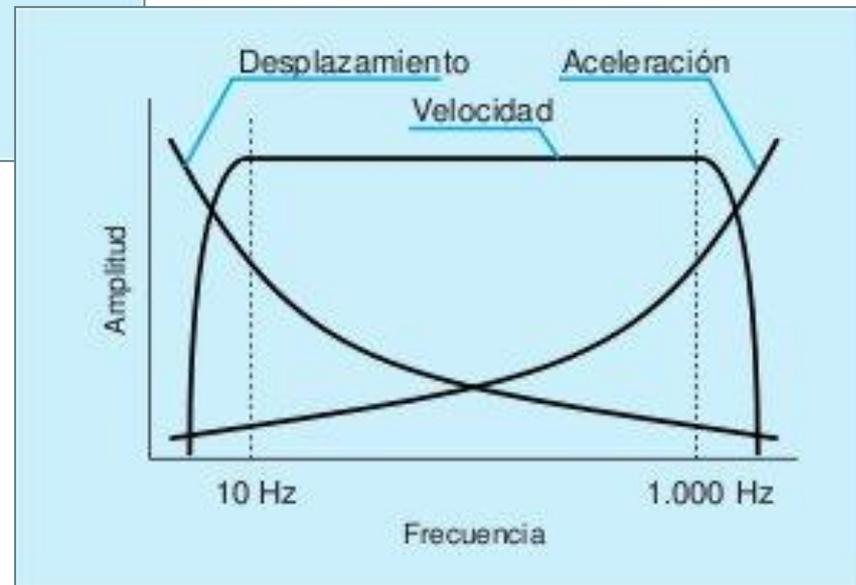
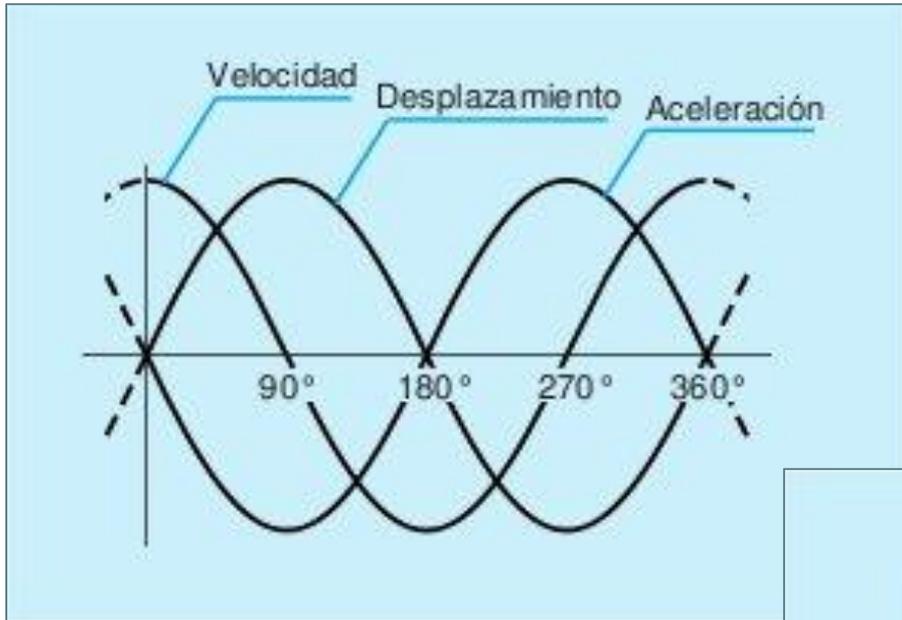
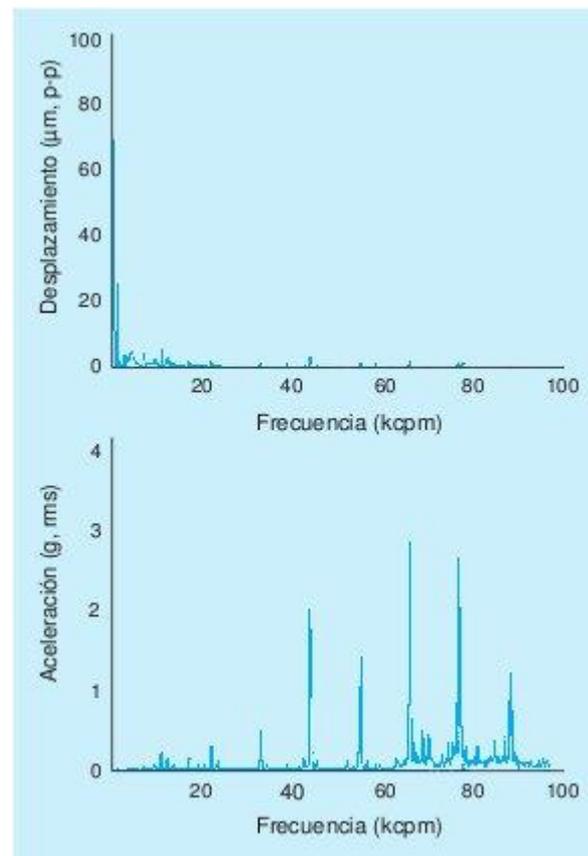
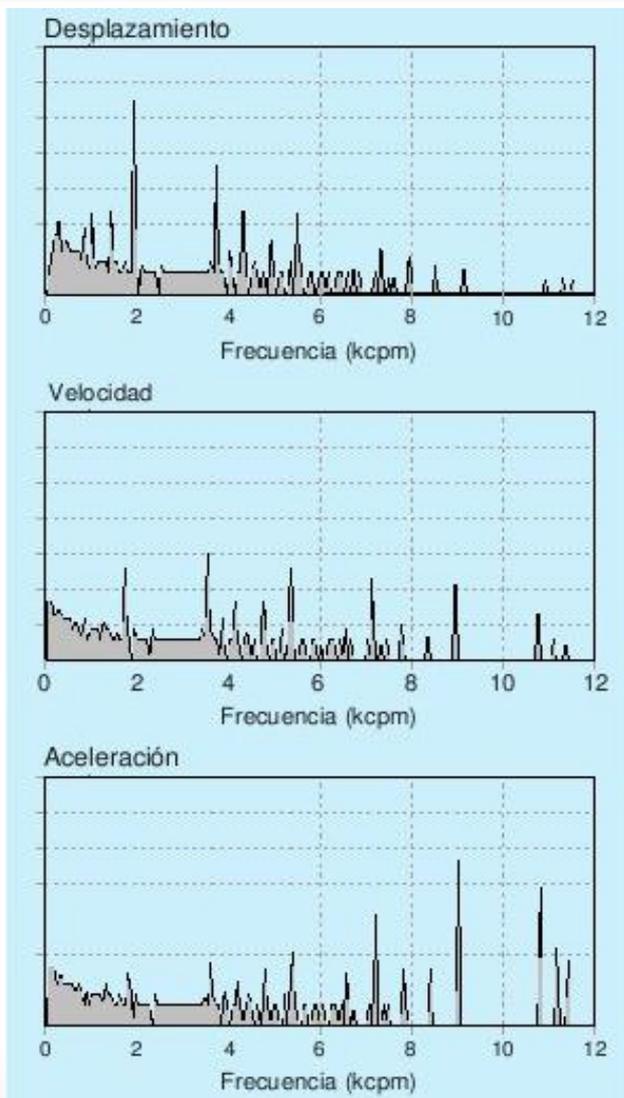


Figura . Modulación de amplitud

Desplazamiento, velocidad y aceleración



Ejemplos



Cuando se mide la vibración de una máquina, se genera una información muy valiosa que es necesario analizar. El éxito de dicho análisis depende de la correcta interpretación que se le de a los espectros capturados con respecto a las condiciones de operación en que se encuentra la máquina. Los pasos típicos en el análisis de vibración son:

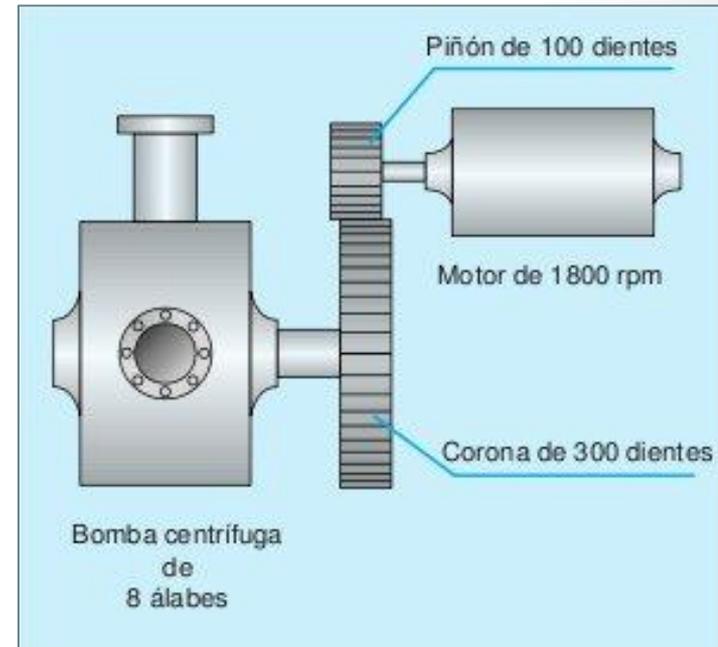
Identificación de los picos de vibración en el espectro: lo primero es identificar el pico de primer orden ($1x$), correspondiente a la velocidad de rotación del eje. En máquinas con múltiples ejes, cada eje tendrá su frecuencia de rotación característica $1x$. En muchas ocasiones, los picos $1x$ del eje van acompañados de una serie de armónicos o múltiplos enteros de $1x$. Existen armónicos de especial interés, por ejemplo, si se trata de una bomba de seis álabes, normalmente, habrá un pico fuerte espectral en $6x$.

Diagnóstico de la máquina: determinación de la gravedad de problemas de máquina basándose en las amplitudes y la relación entre los picos de vibración.

Recomendaciones apropiadas para las reparaciones, basadas en la gravedad de los problemas de máquinas.

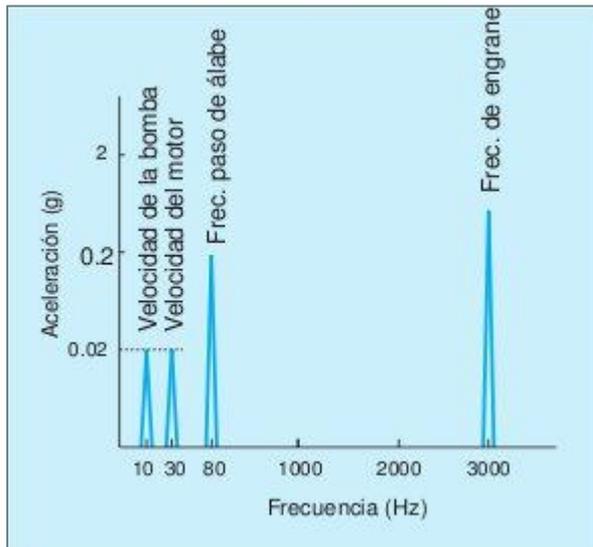
Consideremos a modo de ejemplo el sistema de la [Figura 21](#). A partir de los datos de la misma podemos calcular las principales frecuencias interés:

- $F. \text{ motor} = 1.800 \text{ rpm} = 30 \text{ Hz}$
- $F. \text{ bomba} = (100 / 300) \text{ dientes} * 1.800 \text{ rpm} = 600 \text{ rpm} = 10 \text{ Hz}$
- $F. \text{ engrane} = 100 \text{ dientes} * 1.800 \text{ rpm} = 300 \text{ dientes} * 600 \text{ rpm} = 1.800.000 \text{ rpm} = 3.000 \text{ Hz}$
- $F. \text{ paso de álabe} = 8 \text{ álabe} * 600 \text{ rpm} = 4.800 \text{ rpm} = 80 \text{ Hz}$



En esta máquina tenemos dos ejes (motor y bomba). En el caso del motor, el valor 1x es 30 Hz, además probablemente encontremos un pico de frecuencia en el espectro en el armónico 100x, que se corresponde con la frecuencia de engrane entre piñón y corona. Para la bomba, el valor 1x es 10 Hz, y su principal armónico de interés es 8x, que se corresponde con la frecuencia de paso de álabe. Obviamente, pueden aparecer otras frecuencias, como por ejemplo, bandas laterales en la frecuencia de engrane, frecuencias de cojinetes, y armónicos de las frecuencias calculadas.

En el espectro de vibración de la [Figura 22](#) aparece representada la firma de vibración de nuestro sistema mecánico de ejemplo. Una vez que hemos identificado las frecuencias de interés, la siguiente cuestión es si el valor de su amplitud es aceptable o inaceptable. Un valor de vibración aceptable es aquel que no causa una reducción en la vida de la máquina ni causa daños en los equipos cercanos. Algunas máquinas están diseñadas para tolerar niveles de vibración extremadamente altos (por ejemplo, molinos) y otros equipos son muy sensibles incluso al más leve nivel de vibración (por ejemplo, sistemas ópticos).



Existen cuatro formas de determinar cual es el nivel de vibración adecuado para una máquina dada. La mejor forma es mantener un registro de datos a lo largo del tiempo de los puntos críticos de la máquina, a partir de estos datos se establecerán criterios de referencia de los niveles aceptables

Si existen varias máquinas idénticas en la planta se puede utilizar un segundo método. Si tres máquinas muestran un espectro similar y la cuarta máquina muestra niveles mucho más altos trabajando en las mismas condiciones, es fácil suponer que máquina está teniendo problemas. Otro método es recopilar datos de vibración y enviarlos al fabricante para que los evalúe. Hay que tener en cuenta que la vibración varía en función de las condiciones de trabajo y del montaje de la máquina. El cuarto método es elegir un estándar en base a la experiencia de otros y si es necesario adaptarlo en base a nuestra experiencia.

Existen cuatro formas de determinar cual es el nivel de vibración adecuado para una máquina dada.

- La mejor forma es mantener **un registro de datos** a lo largo del tiempo de los puntos críticos de la máquina, a partir de estos datos se establecerán criterios de referencia de los niveles aceptables
- **Comparación**: Si existen varias máquinas idénticas en la planta se puede utilizar un segundo método. Si tres máquinas muestran un espectro similar y la cuarta máquina muestra niveles mucho más altos trabajando en las mismas condiciones, es fácil suponer que máquina está teniendo problemas.
- Otro método es **recopilar datos de vibración y enviarlos al fabricante** para que los evalúe. Hay que tener en cuenta que la vibración varía en función de las condiciones de trabajo y del montaje de la máquina.
- El cuarto método es **elegir un estándar en base a la experiencia** de otros y si es necesario adaptarlo en base a nuestra experiencia.