



Nociones básicas e introducción a las “vibraciones mecánicas”

Introducción

Las vibraciones de naturaleza mecánica son manifestaciones que se producen con frecuencia a nuestro alrededor, muchas veces liberando gran cantidad de energía, como temblores en la corteza terrestre, por ejemplo. Por ello, ya son objeto de estudio mucho antes de la revolución industrial. Sin embargo, desde entonces se convirtieron en una parte importante en los proyectos de nuevos equipos, máquinas, utilería doméstica, etc.

En la etapa de proyecto se busca, por medio de análisis de vibración, determinar y eliminar posibles fuentes de excitación, simulando problemas que puedan llegar a generar fallas prematuras de equipos o componentes de máquinas.

Pero, en virtud de la imposibilidad de que se fabriquen componentes mecánicos totalmente libres de imperfecciones, bien como de que se ejecuten ensamblaje y acoplamientos perfectos entre los componentes de un equipo, es probable que las máquinas presenten un determinado “nivel de vibración”.

El conocimiento y el control de este “nivel de vibración” son de extrema importancia, pues su efecto tiene consecuencias de las más variadas formas, tales como desgaste prematuro de superficie de contacto (bujes, chumaceras o cojinetes), reducción de vida útil de componentes por fatiga del material (ejes, engranajes, estructuras), y, en situaciones más extremas, la vibración puede llevar a la rotura de los elementos de fijación, generando graves daños materiales.

En nuestro sector específico, las máquinas para la fabricación de papel empezaron a trabajar en régimen de velocidad considerable a partir de 1970, cuando se hizo necesaria la utilización del análisis de vibración.

Fundamentos básicos

Por supuesto que nuestro objetivo aquí es más específico y vamos a abordar solamente los fundamentos que nos permitan el entendimiento de los mecanismos asociados a los fenómenos de vibración mecánica.

Sólo para efecto de ilustración (no haremos aquí toda la secuencia de demostración de la deducción de las fórmulas que correlacionan la Ley de Newton con las fuerzas resultantes en el buje de un elemento rotativo), podemos tomar como ejemplo un eje rotativo, representado en la Figura 1, soportando un disco al cual se le agrega una masa que provoca un desequilibrio.

La vibración mecánica se manifiesta en función de los esfuerzos de naturaleza dinámica, donde la intensidad y dirección de fuerzas cambian continuamente con el tiempo. Y se sabe que estas fuerzas son proporcionales al cuadrado de la velocidad angular.

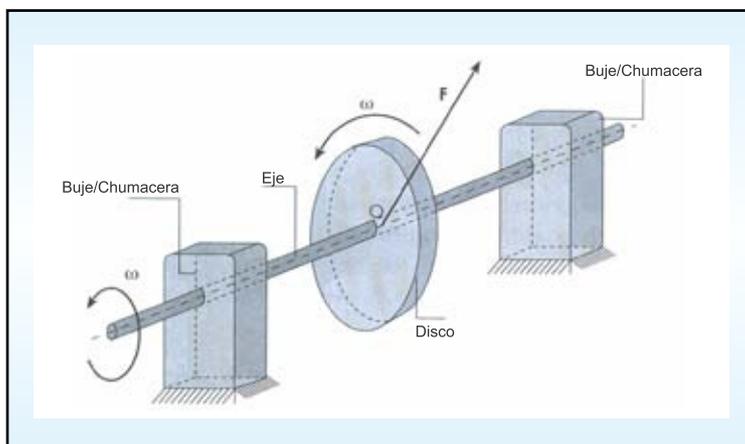


Figura 1: Eje rotativo

Las fuerzas actuantes en el eje y buje se pueden descomponer en la horizontal y vertical, variando según la posición de la masa, como se ve en el gráfico de la Figura 2.

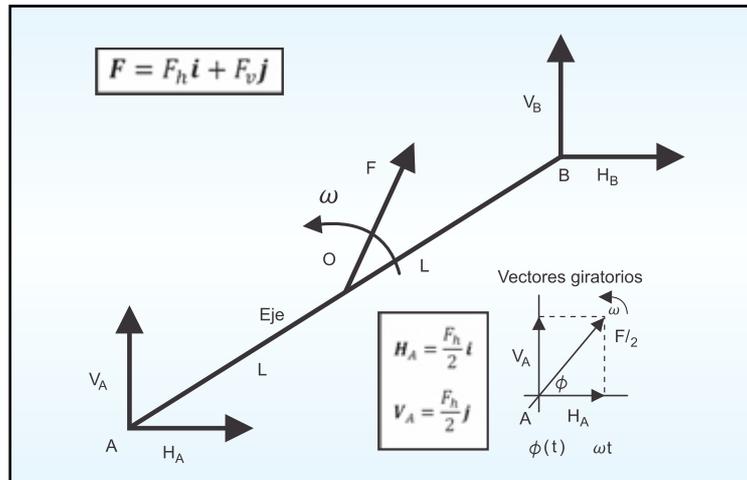


Figura 2: Componentes de la fuerza

Para simplificar el razonamiento, tomemos un modelo mecánico que represente el buje "A", como se muestra en la Figura 3, donde la masa "M" representa toda la masa añadida a ese buje y el resorte "k" representa la deformación del material y componentes.

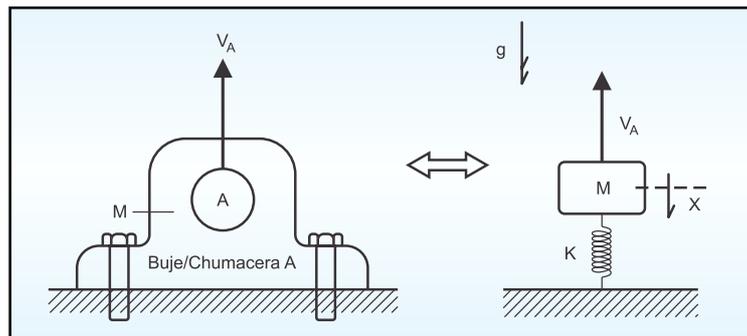


Figura 3: Modelo Simplificado

Si observamos solamente la dirección vertical del buje "A", tendremos un gráfico de desplazamiento en el tiempo en la forma senoidal. De manera simplificada, podríamos representarlo como se muestra en la Figura 4, donde "T" es el período o ciclo de repetición del evento (en el caso la rotación del eje, normalmente medido en segundos), "f" la frecuencia o número de ciclos por segundo (medido en Hz).

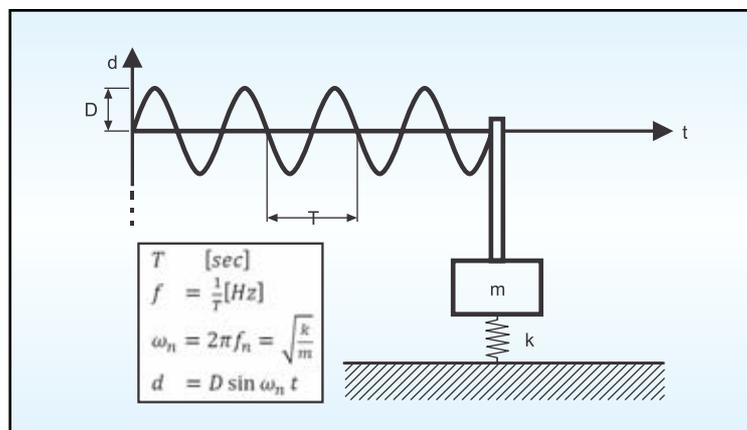


Figura 4: Desplazamiento en función del tiempo

En este movimiento de la masa en la vertical tenemos el desplazamiento "D", la velocidad de desplazamiento "V" y la aceleración "a" que actúan simultáneamente. Cuando el desplazamiento alcanza el punto máximo, la velocidad de desplazamiento se reduce a cero y la aceleración alcanza su valor máximo en el sentido opuesto, según se puede observar en los diagramas de la Figura 5, así como la correlación matemática entre las grandezas.

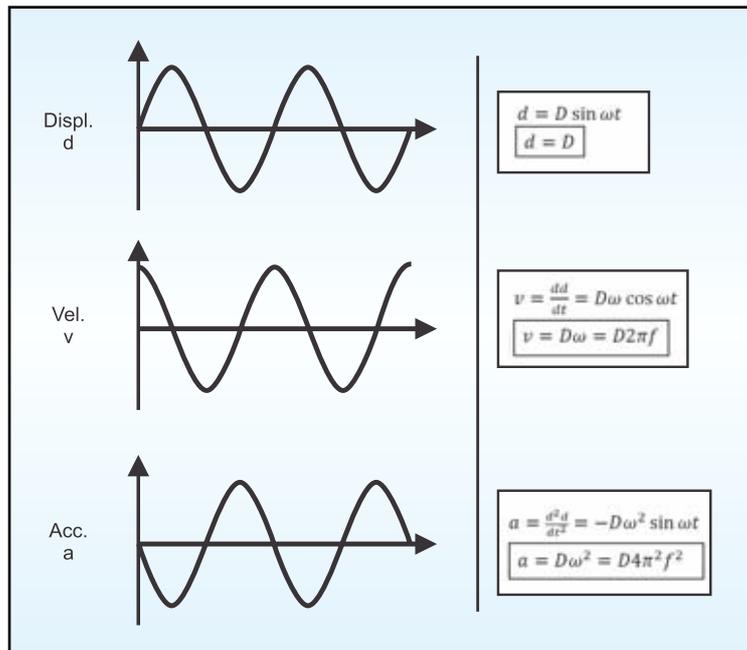


Figura 5: Correlación entre las grandezas

La correlación matemática entre las ecuaciones permite, a partir de la medición de una de las variables, que se conozcan las otras dos por medio de "integración" o "derivación". Con el desarrollo de computadoras, fue posible construir analizadores que procesan estas grandezas en tiempo real, haciendo que sea posible visualizarlas en tiempo real.

Teóricamente, se podrían utilizar sensores de desplazamiento, de velocidad o acelerómetros para registrar la vibración y, con esta información, determinar las demás.

Sin embargo, en términos prácticos, el sensor de velocidad, aunque tenga alta sensibilidad, trabaja en un rango de frecuencia entre 10Hz y 1kHz, cortando las bajas frecuencias, que son necesarias para el análisis de rolos y principalmente fieltros, además de tener confiabilidad moderada.

El sensor de desplazamiento trabaja en un nivel de frecuencia entre 0 y 500 Hz, de alta confiabilidad y sensibilidad moderada, pero necesita un punto fijo de referencia, lo que dificulta un poco su practicidad. Ya el acelerómetro, aunque tenga la menor sensibilidad cuando se compara con los anteriores, trabaja en un nivel entre 0,03 Hz y 10 kHz, con alta confiabilidad, y puede trabajar con base magnética sin interferencia significativa en su resultado final.

Con la señal del acelerómetro y la ayuda de un procesador matemático (FFT), en este caso un "anализador de vibraciones", que aplica las integraciones necesarias y transforma la señal de aceleración en "velocidad en función de la frecuencia" y "desplazamiento en función del tiempo", se puede conocer el comportamiento de vibración en un equipo registrando los picos de velocidad de desplazamiento en sus respectivas frecuencias.

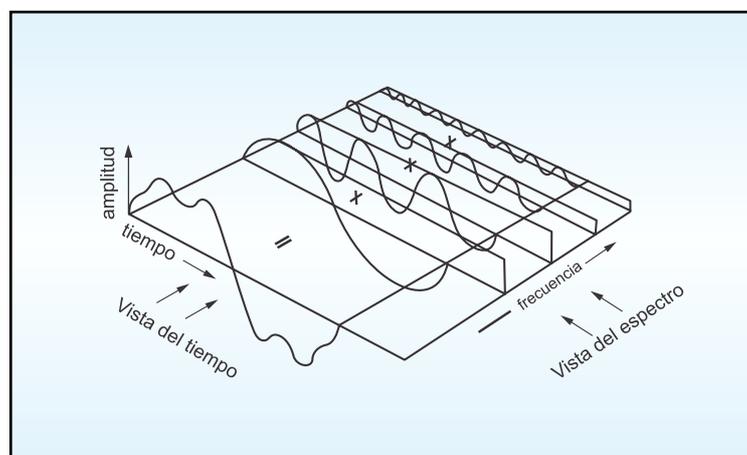


Figura 6: Desplazamiento en el tiempo y espectro de frecuencias

El gráfico de la Figura 6 representa esquemáticamente cómo el analizador distribuye en el espectro de frecuencia las variadas maneras de desplazamiento que se leen por medio del acelerómetro, pues, vistas en la forma de desplazamiento en el tiempo, sin filtro o sincronismo, no proporcionarían una información muy precisa de la posible relación entre esta información y los muchos elementos rotativos que componen el sistema. Por otro lado, el espectro que indica velocidades de desplazamiento en función de frecuencias, hace que sea posible correlacionar las frecuencias donde los picos se manifiestan con las frecuencias rotacionales de los varios elementos rotativos que componen la prensa.

A continuación, se exhiben dos imágenes que muestran los gráficos de desplazamiento en el tiempo (Figura 7A) y el espectro en función de la frecuencia (Figura 7B).

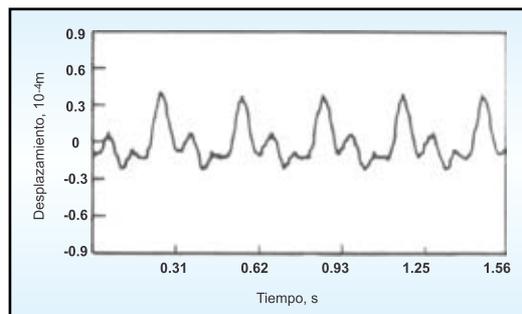


Figura 7A

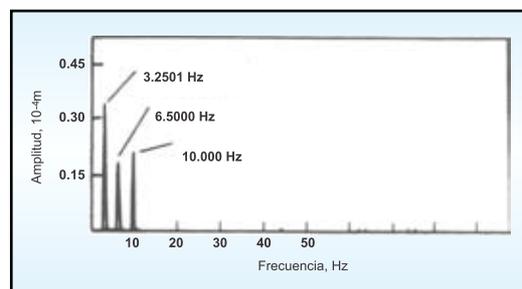


Figura 7B

Para fines de normalización, "velocidad de vibración" se ha seleccionado como el "parámetro significativo" para caracterizar la severidad de vibración de un equipo, pero no la velocidad que se obtuvo directamente del desplazamiento pico a pico, sino la velocidad RMS (*root-mean-square*) en "mm/s". En el gráfico de la Figura 8 es fácil visualizar el concepto.

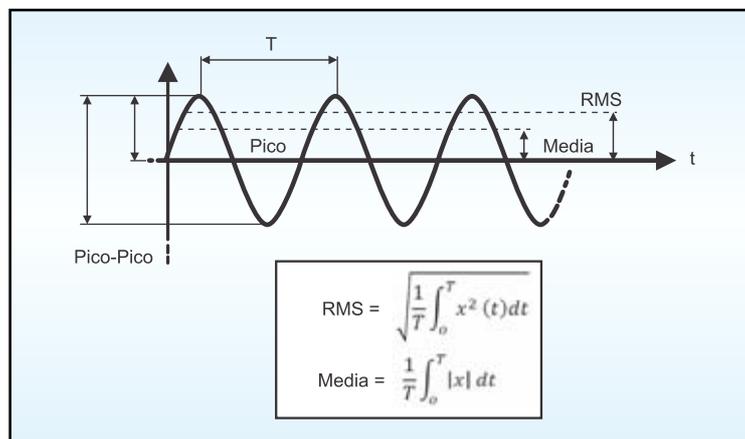


Figura 8: Valor RMS

Lo que fue fundamental para la elección de la "velocidad de desplazamiento", como parámetro de norma, es el hecho de que las demás grandezas, desplazamiento y aceleración, no tienen comportamiento lineal para todo el espectro de frecuencias que un equipo puede presentar. El espectro de desplazamiento tiende a amplificar las bajas frecuencias, mientras que el de aceleración tiende a amplificar las altas frecuencias, como se muestra en el gráfico de la Figura 9.

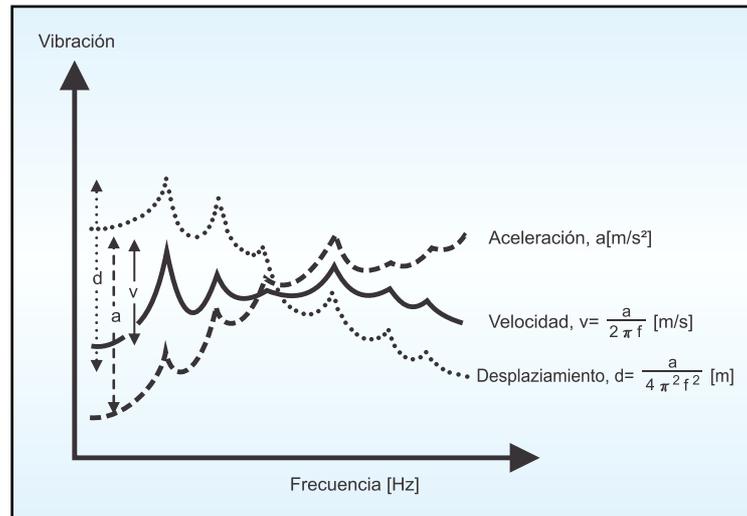


Figura 9: Comparación entre respuestas de las tres grandezas

Por lo tanto, conociendo las frecuencias rotacionales de los elementos que componen una prensa y con la ayuda de un analizador de vibraciones, es posible establecer una correlación entre las frecuencias leídas en espectros de determinados bujes y los elementos rotativos que las componen. La dificultad que se puede encontrar cuando se utiliza solamente el espectro de frecuencias está en el hecho de que, en la gran mayoría de las veces, los picos de velocidad de desplazamiento se presentan en alta frecuencia, o sea, en zonas donde las frecuencias pueden ser múltiples de varios elementos rotativos, y es posible que eso dificulte la determinación o correlación matemática entre el fenómeno leído por el analizador y las frecuencias rotacionales de los elementos. Esas frecuencias múltiples de una determinada frecuencia rotacional o natural se denominan "armónicas". Por consiguiente, en la práctica, las armónicas de los elementos rotativos se determinan matemáticamente a partir de la información de perímetros (o longitud) de los elementos y sus respectivas velocidades, pues la frecuencia rotacional "f" sería la velocidad "V" (m/s) dividida por el perímetro "P" (m), o sea:

$$f = V/P \text{ (Hz)}$$

Hay dos informaciones que tienen una cierta imprecisión, luego el valor que se establece en este cálculo, cuando se lo multiplica por diez o quince para posible correlación con armónicas, aumenta el error en función de la imprecisión inicial.

Debido a eso, hay que tener un cierto cuidado cuando utilizamos las informaciones de un espectro para el análisis de las posibles fuentes de vibración de una prensa, pues se puede concluir, basándose en las informaciones iniciales sujetas a imprecisiones, que un determinado pico de velocidad en alta frecuencia está relacionado a un elemento rotativo, cuando en realidad podría estar relacionado a cualquier otro.

Análisis síncrono

Para minimizar la posibilidad de error, existe una técnica que se puede aplicar en el momento del suministro de las informaciones por el analizador de vibraciones, que admite separar o filtrar sólo las informaciones que se desee evaluar; esa técnica se llama "análisis síncrono".

El análisis síncrono ocurre, básicamente, con la inclusión de una señal enviada al analizador de vibraciones, señal que se puede generar electrónicamente por "tacogeneradores" o "fotosensores", al cual el analizador vincula el comienzo de la recolección de informaciones.

Conclusión

Como se pudo ver anteriormente, los diversos elementos rotativos tienen distintas formas de desplazamiento en el tiempo. Tomando como referencia de nuevo a la Figura 6, es posible asociar a cada uno de los cuatro gráficos de "desplazamiento en el tiempo" y, consecuentemente, a cada uno de los cuatro picos de "velocidad de desplazamiento en función de la frecuencia", un determinado elemento rotativo.

En base a esta hipótesis, cuando se establece una señal externa al analizador que sea sincronizada con el elemento que se desea evaluar, es posible aislar la señal de “desplazamiento en el tiempo” de ese elemento. Pues el analizador comienza la captura de datos siempre en un determinado instante que corresponde físicamente al pasaje de un determinado punto del elemento que se evaluó con respecto al sensor. Como los períodos “T” de los elementos no son exactamente iguales, si se fijan una de estas curvas en el eje del tiempo, las demás se desplazarán con relación a esta, es decir, hay un movimiento de desplazamiento relativo entre las cuatro curvas. Consecuentemente, si se solicita que el analizador haga un promedio de un número elevado de muestras síncronas a un determinado elemento rotativo, la suma de los desplazamientos de las demás curvas que correspondan a los demás elementos, tenderán a cero. Cuanto mayor es el número de muestras involucradas en la captura de datos, menor es la posibilidad de influencia de los demás elementos no sincronizados en el proceso. Al final de la captura de las lecturas establecidas inicialmente, el aparato muestra el “espectro de velocidad de desplazamiento en función de la frecuencia”, solamente con las frecuencias o armónicas relativas a la frecuencia rotacional del elemento que se evaluó.

De esa manera, es posible la evaluación de la contribución de cada uno de los elementos rotativos de una prensa con varios bujes de la misma. Existen otros métodos de evaluación y maneras de llegar a la causa de vibración, con base en las informaciones de espectro, pero dependen de una serie de informaciones adicionales, que se tratarán en artículos futuros.

Referencias:

- Introdução às Vibrações Mecânicas – José Soletto Jr. e Luis Novaes Ferreira França.
- Introduction to Vibration Analysis – Bruel&Kjær

Perfil del autor:

Marcos Emidio Bressani es graduado en Ingeniería Mecánica por la Escuela de Ingeniería Mauá (IMT-SP). Ha empezado sus actividades en la Voith Paper en el área de “Aerotécnica y Vapor” donde ocupó durante siete años el cargo de proyectista y responsable por *start-ups*. En Albany International desde 1987, empezó como Ingeniero de Servicios en área de secado, luego asumió, en el área de prensado, el desarrollo de los trabajos en “Análisis de vibraciones”. Actualmente trabaja como Vendedor Técnico Sênior y responde como experto en las áreas de secado y vibraciones.