

Análisis acústico-vibratorio aplicado al control de calidad del producto acabado

FRANCISCO SÁNCHEZ MORENO Y SEBASTIÁN SÁNCHEZ MESTRES.

BRÜEL & KJAER IBÉRICA, S.A.
Valencia, 84-86 int. local 4
08015 BARCELONA

INTRODUCCIÓN

Las continuas exigencias de una reducción en cuanto al ruido o vibraciones emitidos por el producto hacen que no solamente se ocupen de estas materias los Departamentos de Investigación y Desarrollo sino que haga falta implantar una verificación de estos parámetros en el Departamento de Calidad o al final de la cadena de montaje. De esta forma mediante la verificación total o parcial de la producción se evita un rechazo posterior por parte del cliente. El control de ruido y/o vibraciones en producto acabado es un proceso que se viene realizando desde hace muchos años en gran cantidad de empresas con más o menos éxito.

MÉTODOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD ACÚSTICO-VIBRATORIO.

En la figura 1 se pueden observar cuatro formas diferentes para realizar el control de calidad basado en la medida de ruido y/o vibraciones. La preparación de un ambiente de pruebas adecuado, es un factor clave a la hora de obtener los resultados esperados.

Las ilustraciones a y c muestran sistemas de medida monocanal para ruido o vibraciones, mientras que las ilustraciones b y d se corresponden con sistemas bicanales. No se contemplan sistemas bicanales con combinaciones de ruido y vibraciones (que quizás complican el tipo de configuración necesario para realizar la medida) ni tampoco sistemas de medida multicanal (que encarecerían demasiado el sistema)

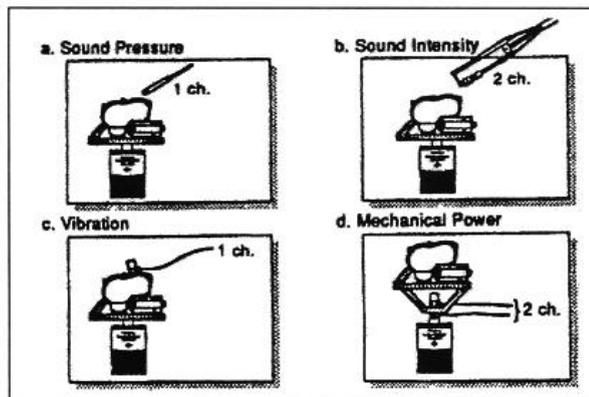


Figura 1: Diferentes formas de realizar el control de calidad acústico-vibratorio.

Medidas Monocanales de Ruido.

Es junto con las medidas monocanales de vibración el sistema de control de calidad acústico-vibratorio más utilizado por la industria. Consiste en la instalación de una cabina insonorizada en alguna de las etapas finales de verificación, y se aprovecha la realización de otras pruebas (consumo eléctrico, resistencia, par,...) para que sea el operario el que verifique a oído el producto. Este método presenta el gran inconveniente de la poca objetividad ya que depende muy directamente del estado anímico del probador, además es necesario disponer de personal calificado ya que existen tipos de ruidos que son difíciles de detectar sin un entrenamiento previo.

En muchos casos, para tratar de dar un enfoque más objetivo al problema, se instala un recinto de pequeño volumen con tratamiento acústico absorbente en su interior y mediante el uso de un micrófono conectado a un sonómetro se verifica el nivel global de ruido; si se define a partir de que nivel de ruido el producto es bueno o malo disponemos de un sistema sencillo de control de calidad. Este método presenta la

gran ventaja de que existe una gran correlación con los resultados de escucha, sin embargo la limitación principal es la poca calidad de los recintos de prueba (generalmente con un gran ruido de fondo).

Medidas Monocanales de Vibraciones.

Para el control de calidad por vibraciones, generalmente se utiliza un acelerómetro conectado a un medidor de nivel global. Fijando manual o automáticamente el transductor al objeto a verificar se mide el nivel de vibración que éste genera y teniendo definido el nivel máximo admisible es posible realizar un sistema pasa/no pasa de la producción. En casos en los que el defecto se produce a una frecuencia determinada, es posible añadir un filtro paso-banda sintonizado a la misma.

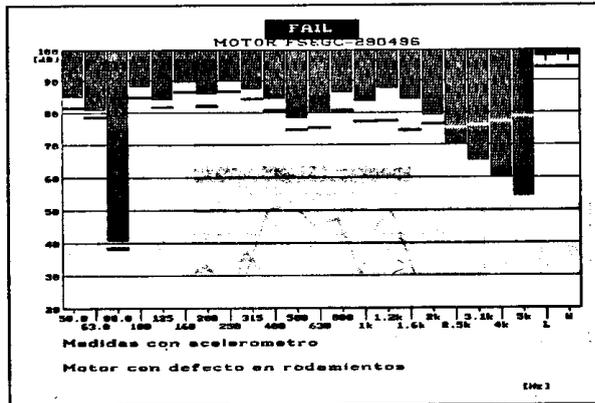


Figura 2: Máscara de tolerancia para vibraciones.

El siguiente paso (también aplicable al caso anterior de ruido) consiste en utilizar un analizador de espectros conectado a un PC (a través de un interface IEEE-488) en el cual tenemos instalado un programa de control de calidad. Una forma de trabajar con los espectros es definir máscaras de tolerancia para todas las frecuencias que forman la señal. Así pues podemos definir una máscara de tolerancia con el espectro medio de la señal de vibraciones haciendo que si el valor de alguna de las frecuencias se supera en 3 dB (por ejemplo), la pieza será clasificada como mala. En la figura 2 se muestra un ejemplo de una pieza que ha sido clasificada como mala. Las barras oscuras verticales representan los límites máximos para cada una de las frecuencias

(análisis frecuencial desde 50 Hz hasta 5 KHz) y valor global (barras L y W de la derecha). Una vez se ha realizado el espectro de la vibración, éste se compara con la máscara (frecuencia a frecuencia) y se comprueba que desde 2,5 KHz hasta 5 KHz el nivel de vibración supera los límites permitidos. Como resultado podemos decir que esta pieza es mala. Obsérvese sin embargo (mirando la barra W de valor global que está a la derecha) que mediante un medidor de nivel global esta pieza hubiese sido clasificada como buena.

A modo de resumen podemos decir que este método presenta la gran ventaja sobre el anterior de que no necesita de un ambiente de pruebas especial (recinto semi-anecoico o cabina insonorizada) y que los transductores (acelerómetros) son más resistentes a agentes ambientales adversos. Como desventaja principal está que necesitan un contacto (lo cual a veces es difícil de realizar) con la pieza a medir y que no siempre el punto sobre el que podemos colocar el sensor es el que nos proporciona una mejor información espectral de la vibración.

Medidas de Intensidad Sonora.

Anteriormente se comentaba que uno de los grandes inconvenientes para realizar control de calidad mediante medidas de ruido es que es necesario disponer de un ambiente acústico controlado (ruido de fondo por debajo del ruido que nos interesa medir, ausencia de ruidos impulsivos, ...) que hace que sea en unos casos muy costosa la solución que garantiza esto y en otros que no sea posible incorporar a la cadena de pruebas un recinto tratado acústicamente.

Para aquellos casos en los que el ruido de fondo es de carácter estacionario es posible utilizar la técnica de la medida de intensidad sonora para realizar control de calidad sin necesidad de tratar acústicamente el lugar de verificación. Será necesario en este caso utilizar una sonda de intensidad sonora conectada a un analizador de dos canales preparado para medir intensidad. Como en el caso anterior los datos pueden ser gestionados con un programa basado en máscaras de tolerancia.

La desventaja principal que presenta este sistema es que es más caro que los comentados anteriormente además de que el transductor (sonda de intensidad sonora) no es tan resistente a factores ambientales adversos como lo puede ser un acelerómetro.

Medidas de Potencia Mecánica.

El flujo de energía (o potencia) mecánica se mide usando un transductor de fuerza con un acelerómetro acoplado en serie. Si definimos la potencia mecánica como el producto entre la fuerza y la velocidad de

vibración, es posible medirla mediante técnicas análogas a la medida de intensidad sonora. Si midiendo presiones sonoras es posible medir la intensidad sonora usando la expresión:

$$I = (P_1 + P_2 / 2).k.\int(p_1 - p_2 / \Delta r)dt$$

Se puede demostrar que para el caso de vibraciones es posible medir la potencia mecánica usando la expresión:

$$P = (F + a / 2).k.\int(F - a / \Delta r)dt$$

En este caso, la muestra se fija a un soporte que contiene los transductores en serie con el eje principal de vibración que nos interesa detectar. A su vez éste soporte se fija a un absorbedor de energía vibratoria (modelo B&K 5937) que consiste en un amortiguamiento de tipo viscoso que conduce la energía vibratoria de la muestra en la dirección axial y a su vez la aísla de la influencia de vibraciones parásitas.

SISTEMAS PARA CONTROL DE CALIDAD ACÚSTICO-VIBRATORIO.

Brüel & Kjaer ha desarrollado un sistema completo para la realización de control de calidad acústico vibratorio (véase figura 3) que se compone de un analizador controlado a través de un PC con interfaz IEEE-488 y un programa específico de control de calidad. Adicionalmente se puede disponer también de un interfaz controlador de producción que conecta al sistema con dispositivos PLC para ejecución automática de procesos en función del resultado de la prueba. A continuación se describen brevemente algunos de los componentes de este sistema.

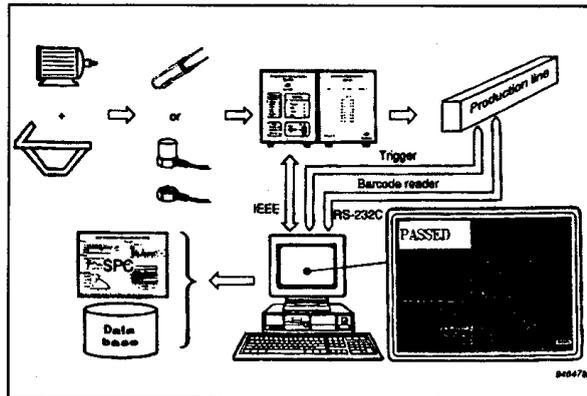


Figura 3: Sistema de control de calidad acústico-vibratorio de Brüel & Kjaer.

Analizadores Modelos 2140, 2141 y 2142.

Los analizadores modelos 2140, 2141 y 2142 de Brüel & Kjaer son totalmente configurables y controlables mediante interfaz IEEE-488 (también disponen de interfaz RS-232, aunque no se recomienda para sistemas de control de calidad) que puede ser instalado en un PC con una placa de comunicaciones. Están diseñados para funcionamiento en ambientes industriales ya que no disponen ni de teclado ni pantalla que son las partes de estos equipos que suelen provocar más averías en instalaciones de control de calidad.

Existen versiones monocanales y bicanales, pudiendo trabajar con filtrado en tiempo real (1/1, 1/3, 1/12 y 1/24 en el modelo B&K 2140), Transformada Rápida de Fourier (con resolución de hasta 800 líneas en el modelo 2141) y disponer de medida de intensidad sonora o espectro cruzado (en el modelo 2142). Poseen entradas para conexión directa de acelerómetros y transductores de fuerza (preamplificador de carga incorporado), conexión de micrófonos de condensador y conexión de sondas de intensidad.

Software para Control de Calidad QC-MASK (Modelo B&K WT 9338).

Se trata de un programa específico para control de calidad por ruido y/o vibraciones y que trabaja con datos de los siguientes equipos de Brüel & Kjaer: Analizadores B&K 2140, 2141 y 2142 (filtros digitales, FFT e intensidad sonora), Analizadores B&K 2123 y 2133 (filtros digitales monocanal y bicanal), Sonómetro modular B&K 2231 con o sin juego de filtros de 1/1 y 1/3 octava B&K 1625 (en este caso el control de la medida sólo es posible a través del interface RS-232). El programa presenta los siguientes modos de trabajo:

Máscaras de tolerancia.

Las máscaras de tolerancia consisten tal y como se ha dicho en el punto 1.2 en limitar (por arriba, por abajo o simultáneamente) los valores de cada una de las bandas de frecuencia del espectro y el valor global de la señal medida. Si alguna de las bandas de frecuencia o el nivel global viola alguno de estos límites, la muestra falla la prueba. Es necesario en este tipo de pruebas disponer de muestras que pasen el control de calidad para poder definir cuales son los límites del control (es decir cual es el espectro sobre el que construiremos la máscara). Para asegurarnos que el espectro con el que generamos la máscara es representativo de nuestro producto, es posible definir máscaras basadas en estadísticas de diferentes medidas. En concreto, el programa QC-MASK permite generar máscaras de tolerancia basadas en:

- Niveles máximo/mínimo.
- Nivel nominal + N dB (arriba) - N dB (abajo).
- Espectro medio + N dB (arriba) - N dB (abajo).
- Espectro medio + (N dB * desviación estandard (arriba)) - (N dB * desviación estandard (abajo)).

Además se pueden utilizar como referencia el nivel del espectro o trabajar en modo flotante (donde sólo nos interesa la forma, no los niveles).

Clasificadores estadísticos.

El control de calidad mediante máscaras de nivel nos permite realizar un control de calidad de tipo pasa/no pasa. Para aquellos casos en los que además nos interese realizar una clasificación según el tipo de fallo, será necesario utilizar alguna técnica que nos permita una diferenciación. QC-MASK dispone de métodos estadísticos para la clasificación de material según el tipo de fallo.

Los métodos utilizados son los denominados clasificadores Gaussiano y de Taguchi. Estos están basados en técnicas de clasificación de semejanza máxima y necesitan que se agrupen los tipos de fallos en familias (o clases). Es decir, hemos de ir creando familias (clases) promedio con cada uno de los tipos de fallo, cada una de estas clases se compondrán de espectros de productos que han sido rechazados por el mismo fallo. Mientras más representativa sea cada una de estas clases, más acertado será el diagnóstico del sistema.

La técnica del clasificador de semejanza máxima está basada en el cálculo de la media y la desviación estandard para cada banda de frecuencia de los espectros de cada clase. Para cada medida se calcula una puntuación (score) según la fórmula :

$$S = 1 / N \sum_{m=1}^N [(X_{medio} - Y_m) / \sigma]^2$$

donde X_{medio} es la media de cada clase de nuestra muestra.

Y_m es la banda de frecuencia m en el espectro.

N es el número de bandas de frecuencia del espectro.

σ es la desviación estandard para el conjunto completo de datos.

De esta manera se compara la medida actual con cada uno de los patrones de la muestra (muestra buena más cada uno de los tipos de fallos que queremos detectar) y se calcula una puntuación para cada uno de ellos. El espectro de la muestra bajo prueba es asignado a aquella clase que tenga la puntuación más baja. Dado que los datos no presentan siempre una distribución estadística normal, QC-MASK incluye también un clasificador de Taguchi basado en el valor mitad (punto medio de los valores máximo y mínimo) y en la desviación estandard de Taguchi en vez de usar el valor medio y la desviación estandard.