## Una herramienta capaz de analizar las vías de transmisión de ruido en un tren



as exigencias del mercado ferroviario en materia de ruido y vibraciones, normativas y demandas del cliente, son cada vez más estrictas. Por ello, se requiere de estudios vibro-acústicos mucho más precisos con el fin de alcanzar estos requerimientos.

ICR, Ingeniería para el Control del Ruido, posee una metodología propia de análisis vibro-acústico que permite dar respuesta a esta exigencia latente en el mercado: el ATPA (Advanced Transfer Path Analysis Method). Esta herramienta avanzada de diagnóstico vibro-acústico, creada y desarrollada por ICR, permite identificar los componentes del tren que deben ser modificados para reducir el nivel vibro-acústico y llegar al exigido por las normativas y/o clientes. Los beneficios de ATPA para los diagnósticos vibroacústicos están avalados por dos de los principales fabricantes de rolling stock del mundo, Alstom y CAF, siendo su he-

«El problema es cuantificar con exactitud la contribución de los distintos elementos del tren al ruido total»

rramienta principal de estudio en todos sus proyectos.

Los problemas vibro-acústicos se presentan cuando un fabricante de trenes quiere reducir el nivel acústico en el interior de un coche para cumplir con sus objetivos de confort. Es entonces cuando se pregunta si, por ejemplo, mejorando el aislamiento de una ventana va a mejorar el ruido en el interior del tren. En este caso, sólo obtendrá una respuesta cuando sepa cuanto ruido del existente en el interior del tren procede de la ventana. Únicamente cuando el ruido procedente de la ventana esté muy cercano (5 dB o menos) al ruido total su modificación podrá producir alguna mejora. Si no conoce la contribución no puede decidirse con criterio la efectividad de un cambio en la ventana.

Así pues, el verdadero problema actual es poder cuantificar con exactitud las contribuciones de los distintos elementos que forman parte de un tren al



ruido total. Sólo entonces tendremos respuestas numéricas a las preguntas sobre los cambios que debemos hacer para tener menos ruido.

Para reducir el nivel sonoro en el interior del coche de un tren se puede plantear el problema de dos formas distintas:

- Reducir las contribuciones al ruido total de las superficies envolventes
- Reducir las fuerzas de entrada de los equipos instalados sobre cubierta o bajo bastidor.

## Reducir las contribuciones al ruido total de las superficies envolventes

En primer lugar, abordando el problema desde el punto de vista de las superficies envolventes, se debe considerar que el ruido percibido en el interior de un tren es el resultado de la suma de dos factores. Por un lado, el ruido interior se produce con la vibración de todas las superficies que limitan el coche. Todos estos elementos, (paredes, suelos, montantes, ventanas, techo) vibran y esta vibración es lo que nuestro oído percibe como ruido en el interior del tren. Por otro lado, hay ruidos que proceden directamente del aire exterior y penetran al interior del tren a través de los agujeros que forman parte de la estructura del coche. Las bocas de ventilación, los huecos para equilibrar las

sobrepresiones, o las juntas de las puertas que no cierran suficientemente bien son ejemplos de estos agujeros.

## Reducir las fuerzas de entrada de los equipos instalados sobre cubierta o bajo bastidor

En segundo lugar, los equipos instalados bajo cubierta o sobre bastidor (bogie, compresores, equipos auxiliares) trasmiten vibraciones a las superficies a las que están conectados. Como se ha dicho anteriormente, esta vibración se convierte en ruido en el interior del tren. El objetivo es poder reducir las vibraciones que provocan estos equipos sobre las superficies envolventes y que se traducen en ruido en el interior del coche.

Concretamente, el suelo vibra como respuesta a las fuerzas que le aplican las barras de reacción y los amortiguadores, que a su vez están transmitiendo las reacciones de la vía y el terreno ante la acción de la masa del tren. Los equipos bajo o sobre el coche aplican fuerzas sobre el mismo cuyo resultado es la vibración de las superficies a las que van sujetas. Del mismo modo, las paredes y el techo están sometidos a acciones que los hacen vibrar: el ruido que desde el exterior incide sobre las paredes o la propia vibración del suelo provoca que las paredes vibren.

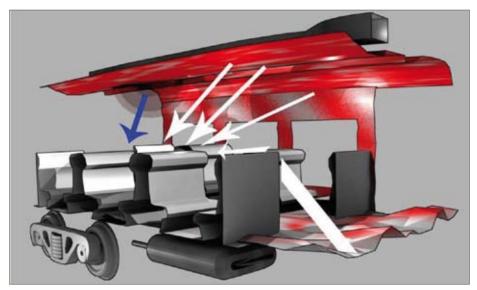
En definitiva, todos los elementos del coche provocan ruido debido a que vibran y vibran debido a las fuerzas que los equipos o el ruido producido por los mismos aplican sobre él.

El ATPA (Advanced Transfer Path Analysis) es el método que permite realmente clasificar y cuantificar las contribuciones al ruido total de cada una de las partes del problema.

El ATPA cuantifica las contribuciones en todo el rango de frecuencia. En la zona de baja frecuencia las contribuciones se identifican en modulo y fase (coherente). En la fase de media-alta frecuencia, en cambio, se hace de modo escalar encontrando el modulo de la energía vibro-acústica aportada por cada parte del problema.

La experiencia aportada tras décadas de utilización del método nos ha enseñado que, de hecho, la identificación coherente en los ferrocarriles sólo es capaz de interpretar zonas del rango frecuencial en que se presentan resonancias. En el resto de las frecuencias la interpretación es energética siendo inútiles por tanto métodos que sólo son capaces de utilizar la identificación coherente.

La utilización de fuerzas es la única parte del método conocida fuera del ATPA. El problema es que la utilización de fuerzas exige que se desmonte la parte del sistema generador de las fuerzas. En un coche puede ser el motor si se quieren identificar sus fuerzas o en un tren puede ser el bogie. El desmontaje supone tiempo y también puede suponer cambios fundamentales en la estructura tales como la reducción de rigidez en la zona donde la fuente va apoyada.



Las superficies vibrantes y los agujeros producen ruido

La utilización como variables de las aceleraciones evita esta dificultad y las mediciones se hacen sobre el sistema completo sin necesidad de desmontar nada. La utilización de aceleraciones en lugar de fuerzas evita además la presencia de matrices mal condicionadas que obligan a utilizar métodos de regularización siempre dependientes del criterio del utilizador con lo que esto supone una falta de objetividad en las soluciones obtenidas.

En los años 70-80 para obtener las contribuciones de los distintos paneles de un vehiculo se seguía el llamado método del "Strip Tease" consistente en cubrir todas las superficies con materiales insonorizantes hasta rebajar el ruido en 15 dB al menos y entonces se descubría parte por parte.

Todas aquellas partes cuya contribución estuviera como maximo 12 dB por debajo del ruido total podían ser identificadas y su contribución medida.

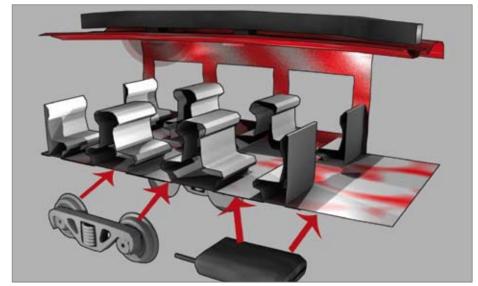
Este método se aplicó en todos los sectores, automóvil, ferrocarril, etc., lográndose muy buenos resultados, pero tenía dos problemas.

El primero era el tiempo necesario para el ensayo, el segundo que al cubrir todas las superficies se estaba modificando la respuesta de la estructura.

Desde un punto de vista físico-matemático lo que hacía el método era aplicar el principio de superposición lo cual puede expresarse del siguiente modo:

$$\mathbf{p}_{k} = \sum_{i} \mathbf{\alpha}_{i} \mathbf{a}_{i}$$

α; será el ruido producido en el micrófono k por una aceleración de valor unidad ( $\mathbf{a}_i = 1$ ) cuando las aceleraciones en todos los otros puntos sean cero. La parte en negrilla es lo que se conseguía con el material insonorizante montado frente a todos los demás subsistemas.



α¡a será el ruido producido en el micrófono κ debido a la vibración del subsistema i.

Estos  $\alpha_i$  son los valores que encuentra el ATPA.

Otros métodos basados en el principio de reciprocidad se basan en la descomposición siguiente:

$$p_k = \sum_i \lambda_i p_i + \beta_i a_i$$

En este caso la β<sub>i</sub> es el ruido que producirá una aceleración unidad del subsistema i cuando la aceleración en todos los demás sea cero y la presión frente a todos, incluido él mismo, sean cero.

Evidentemente esto desde el punto de vista físico no representa la prueba del strip y además es una información irrelevante.

El ATPA tiene un margen dinámico de al menos 40 dB.

ATPA identifica subsistemas cuya contribución esta 40 dB por debajo de los más importantes.

Cualquier método de identificación de contribuciones puede presentar como credencial de su validez la reconstrucción del ruido total, es decir que la suma de las contribuciones obtenidas por el método corresponde al ruido real.

El problema es que esto sólo prueba que se ha identificado el sistema con mayor contribución lo cual puede obtenerse muchas veces simplemente escuchando.

Esta es una característica de todos los métodos llamados operacionales, ya que pretenden extraer más información de la que realmente contiene el sistema.

La identificación de los subsistemas con contribuciones menores es crucial ya que lo que se busca no es sólo quien hace más ruido sino que se pretende prever el resultado de rebajar las contribuciones para lo cual deben saberse las contribuciones de subsistemas que en la situación inicial pueden estar muy por debajo de la contribución principal.

El ATPA no es un software. El ATPA es un método y, como tal, incluye una formación inicial sobre la teoría en la que se sustenta, una transferencia de "Know How" realizada a lo largo de un año en ensayos que ICR realiza conjuntamente con su cliente y en un procesado de la señal también realizado conjuntamente. Finalmente, se diseña un software único que responde a las necesidades de cada cliente y se integra en su cadena de medida.