

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN

José Ramón Ochoa Vega

*Responsable de Seguridad de los túneles
Jefe de Proyectos de Instalaciones de INOCSA Ingeniería
de la Red de Carreteras del Estado en Aragón*

Los ventiladores, a pesar de la robustez y fiabilidad que los caracteriza, son sometidos frecuentemente a grandes esfuerzos incluso no previstos en su diseño, como diferentes condiciones de explotación respecto a las proyectadas o vibraciones por voladuras en la construcción de túneles paralelos.

La revisión y mantenimiento periódico por personal especializado es fundamental para detectar fallos evitando riesgos y accidentes que, en la mayoría de los casos, son previsibles.

A pesar de los altos estándares en seguridad para los distintos componentes de los equipos de ventilación (rodamientos, álabes, tornillería, anclajes, etc.) todo elemento mecánico falla llegado cierto momento y unos deterioros mínimos pueden agravarse rápidamente.

La supervisión de las vibraciones, inherentes a toda máquina rotativa, es una herramienta fundamental para el control de riesgos. El incremento de vibraciones se acelera con la humedad, el polvo y las oscilaciones térmicas, pudiendo llegar a des-



encadenar graves consecuencias.

Son objetivos del presente artículo analizar los requerimientos de los equipos desde el punto de vista de su equilibrado y vibración, detallar las buenas prácticas de mantenimiento preventivo y, finalmente, describir las actuaciones derivadas de un incidente que afortunadamente, por la pronta respuesta tanto del personal de explotación como de la empresa de mantenimiento, a su vez fabricante del equipo, se solventó sin víctimas.

1. Calidad de equilibrio y niveles de vibración

El Standard 204-05 Balance Quality and Vibration Levels for Fans de AMCA (Air Movement and Control Association internacional) aprobado en 2005 es de gran ayuda a la hora de seleccionar un ventilador, dado que la vida útil de la máquina rotativa está en relación con la calidad de su equilibrado y consecuentemente con sus niveles de vibración.

La norma presenta una clasificación de categorías de equilibrado y niveles de vibración (Balancing and Vibration) función de la potencia nominal y el destino o aplicación del equipo. Se reproduce a continuación la clasificación para el caso de túneles:

Tabla 4.1 –Categorías de aplicación de ventiladores según equilibrado y vibración			
APLICACIÓN	EJEMPLOS	Potencia nominal kW (HP)	Categoría de equilibrado y vibración
TÚNELES	Ventiladores de emergencia en metropolitanos, túneles y aparcamientos	≤ 75 (100)	BV-3
		> 75 (100)	BV-4
	Ventiladores de chorro (jets)	Todas	BV-4

Tabla 4.1 –Categorías de aplicación de ventiladores según equilibrado y vibración

Como se observa la norma cataloga los ventiladores dentro de las categorías BV-3 y BV-4. En los jets se eleva la exigencia normativa dado que suelen disponerse sobre la zona de circulación de vehículos aumentando el riesgo.

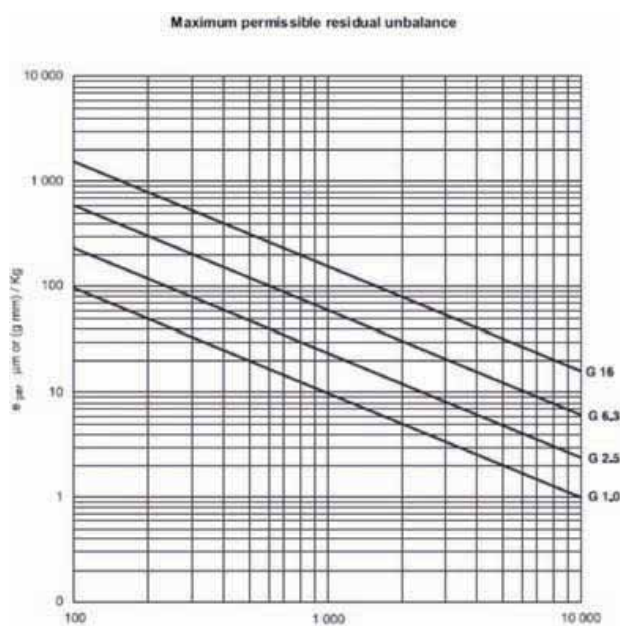
El fabricante del equipo identifica la categoría en base al tipo de ventilador y su potencia mientras el cliente potencial estará interesado en conocer:

- Categoría del equilibrado
- Nivel de vibraciones ensayado en fábrica
- Nivel de vibraciones in situ

La siguiente tabla, extraída también del Standard citado, refleja los distintos grados de equilibrado:

Tabla 5-1. Categoría BV y grado de equilibrado	
Categoría	Grado de equilibrado
BV-1	G 16
BV-2	G 16
BV-3	G 6.3
BV-4	G 2.5
BV-5	G1.0

Para comprender mejor el significado del grado G, la gráfica siguiente representa el desequilibrio máximo permitido (en μm o g mm/kg) en función de la velocidad de rotación del equipo.



Un ventilador a 1.000 rpm. cuyo desequilibrio no exceda $63 \mu\text{m}$ puede alcanzar la categoría BV-3 (grado 6.3), y si no supera los $25 \mu\text{m}$ podrá llegar a BV-4 (grado 2.5). Se aprecia que, cuando aumenta la velocidad de rotación nominal del equipo, los desequilibrios máximos admitidos son menores dentro de cada categoría.

El requerimiento para la determinación definitiva de la categoría del equipo es su nivel de vibraciones medido en fábrica. La siguiente tabla, también obtenida de la norma citada, proporciona el nivel de vibraciones admisible:

Tabla 6-2. Límites de vibración en pruebas de fábrica		
Categoría del Ventilador	Vibración en montaje rígido	Vibración en montaje flexible
BV-1	12.7 (0.50)	15.2 (0.60)
BV-2	5.1 (0.20)	7.6 (0.30)
BV-3	3.8 (0.15)	5.1 (0.20)
BV-4	2.5 (0.10)	3.8 (0.15)
BV-5	2.0 (0.08)	2.5 (0.10)

Los valores mostrados se refieren a velocidad de pico en mm/s (pulgadas/s). Las medidas se han obtenido con filtrado de frecuencias, a la velocidad nominal del equipo y situando el detector sobre la caja de rodamientos.

En cuanto a la selección del tipo de montaje, se considera rígido aquel cuyo conjunto soporte - ventilador tiene una frecuencia natural de oscilación por encima de la velocidad nominal del equipo, mientras que en un montaje flexible la frecuencia natural será inferior a la menor velocidad a la que pueda rotar el ventilador.

Generalmente los equipos que descansan sobre bancada con amortiguadores y aquellos en los que se interpone un aislador de vibración se consideran de montaje flexible. Si existen dudas debe realizarse un test de determinación de la frecuencia fundamental natural. En algunos casos el montaje puede clasificarse como rígido en una dirección y flexible en otras (AMCA 801-01, Sección 5.3.3, p.19).

Durante la explotación, con el ventilador instalado y puesto en servicio, debe conocerse cuando las vibraciones pueden suponer un riesgo, tanto para los usuarios

como por la disponibilidad del equipo. La norma aporta unos niveles de vibración que facilitan esta tarea según muestra la siguiente tabla:

Tabla 6-3. Límites de vibración en explotación (medidas <i>in-situ</i>)			
Situación	Categoría del Ventilador	Vibración en montaje rígido	Vibración en Montaje flexible
Arranque	BV-3	6.4 (0.25)	8.8 (0.35)
	BV-4	4.1 (0.16)	6.4 (0.25)
Alarma	BV-3	10.2 (0.40)	16.5 (0.65)
	BV-4	6.4 (0.25)	10.2 (0.40)
Parada	BV-3	12.7 (0.50)	17.8 (0.70)
	BV-4	10.2 (0.40)	15.2 (0.60)

Los valores mostrados se refieren a velocidad de pico en mm/s (pulgadas/s), pero en este caso las medidas se han tomado en un espectro ancho de frecuencias, sin filtrado, para poder facilitar la comparación *in situ*.

El nivel de arranque es el máximo permitido durante la puesta en marcha, de forma que si un ventilador registra valores superiores debe pararse y estudiar las causas. Generalmente, un equipo que lleva parado durante un tiempo superior al mes, puede sobrepasar este límite, pero si un posterior arranque sigue dando valores anómalos es síntoma de fallo.

La misma acción, parada inmediata y estudio de causas, debe realizarse cuando se alcanzan los valores de alarma, mientras que superar el límite de parada exige la puesta fuera de servicio inmediata del ventilador.

Como ejemplo, a un ventilador tipo jet de 30 kW, de instalación típica mediante anclaje flexible, y clasificado como BV-4 por su fabricante, le corresponderán unos límites de arranque, alarma y parada de 6.4, 10.2 y 15.2 mm/s respectivamente.

No debemos olvidar que estos valores deben medirse en cada uno de los rodamientos del motor, directamente sobre el soporte del cojinete, cuando se realizan las labores de mantenimiento.

Los datos obtenidos mediante monitorización de la señal de un detector de vibración situado en carcasa del ventilador son muy útiles para efectuar el seguimiento y evolución de los equipos pero no son una referencia exacta.

Por ello se hace necesario que en la revisión periódica se tomen medidas de vibración por parte de la empresa de mantenimiento, siendo muy importante que su informe refleje todos los valores registrados así como las condiciones de medición.

2. Buenas prácticas de mantenimiento preventivo

Antes de comenzar ningún trabajo de mantenimiento debe asegurarse que el equipo ha sido desconectado de la red eléctrica y que ninguna persona no autorizada pueda conectarlo accidentalmente. Las protecciones de seguridad sólo pueden desconectarse si el ventilador está fuera de servicio.

Se tomarán las medidas adecuadas para impedir una llegada involuntaria de energía al ventilador. Para ello debe considerarse, además de la eléctrica, otras fuentes de energía como la hidráulica, neumática, energía potencial, tensión en muelles/resortes y corrientes/tiros de aire en el sistema. Se deben prever elementos de separación, desconexión, tomas a tierra y de bloqueo, asegurándolas además visiblemente contra una reconexión involuntaria.

Para trabajos en el interior del ventilador, el rodete será bloqueado mecánicamente para impedir giros accidentales del mismo.

El mantenimiento debe ser ejecutado por personal cualificado usando las herramientas y equipamientos apropiados para tal fin.

Antes de volver a arrancar cualquier equipo se tendrá especial consideración a:

- Retirar cualquier objeto extraño que pudiera haber en el interior de la carcasa y de los silenciadores.
- Verificar las protecciones mecánicas y eléctricas.
- Asegurarse de la conexión y correcto funcionamiento de equipos de protección o medición externos (sondas, sensores de vibración, etc).
- Comprobar que no hay personas cercanas a las bocas de aspiración e impulsión

A continuación se describen las directrices para el control e inspección de los principales componentes del ventilador:

2.1. Control de vibraciones

Todos los componentes de los ventiladores deben venir equilibrados de fábrica. Debido al polvo, rozamientos o almacenajes prolongados puede presentarse un desequilibrado que origina una marcha dura y posibles daños en los rodamientos.

También pueden ocasionarse desequilibrios peligrosos por agarrotamientos, desgaste, rodamientos deteriorados, lubricación deficiente y temperaturas excesivas.

El control regular de las vibraciones es la herramienta más eficaz para prevenir estos efectos. Estadísticamente, más del 90% de los fallos mecánicos se anuncian mediante un aumento de la vibración.

Valores de vibración elevados son siempre síntoma de peligro y pueden producir roturas difícilmente predecibles, incluso la destrucción del ventilador, representando un riesgo grave para las personas.

Es necesario vigilar que no se sobrepasen los límites de vibración recomendados en cada ventilador a través de los datos obtenidos por sensores o detectores de vibración incorporados a los equipos y cotejar dichos resultados con los obtenidos en las revisiones periódicas realizadas por el instalador autorizado.

La manera más fiable de verificar estos niveles es a través de un registro histórico durante periodos largos de tiempo. Si los valores han variado notablemente se ha de investigar las causas posibles de dicha incidencia como por ejemplo suciedad en el rotor y proceder a su limpieza y reequilibrado.

2.2. Control de rodamientos

Se debe realizar un control de cada uno de los rodamientos con regularidad mediante inspecciones periódicas.

Los rodamientos del motor han de ser engrasados conforme a las especificaciones del fabricante, tanto para tipo de lubricante a utilizar como para los periodos de engrase necesarios. Durante el cambio de lubricante de los cojinetes se debe obrar con una pulcritud concienzuda.

Un rodamiento deteriorado puede provocar incluso la rotura del eje. La suciedad, humedad y cuerpos extraños son el principal enemigo que encuentran los rodamientos y los dos primeros se producen con mucha frecuencia en los túneles carreteros.

El ruido y la temperatura son parámetros muy útiles a considerar por el personal de conservación y mantenimiento y su aumento es indicativo de problemas en el equipo.

La vida útil de los cojinetes es proporcional a las horas de operación y a la situación del equipo, siendo más desfavorables para un jet colocado en el propio túnel que para un ventilador axial usado en sistemas transversales de ventilación.

El lubricante pierde capacidad en paradas prolongadas. Se puede formar óxido en los cojinetes. Los rodamientos de bolas pueden quedar mellados y se forman huellas de presión debido a la carga estática. Para evitarlo debe ponerse el ventilador en funcionamiento un mínimo de 10 minutos al mes como mínimo.

A continuación se presenta una placa característica de motor. En su parte inferior, con la denominación DE y NDE, se caracterizan los rodamientos. El delantero (DRIVE END) y el trasero, (NON DRIVE END), que son idénticos y del tipo 6316 C3. También se aporta información sobre la cantidad de lubricante (35g) y cada cuanto tiempo, (2900h), además de su especificación (ESSO UNIREX N3).

Fabricante del motor

MOT. 3 ~ PLS 315 L

N° 703 932 00 GF 01

kg 790

CE

IP23 IK08	I cl.F	40°C	S1	%	c/h
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A
Δ 380	50	2970	250	0.92	434
Δ 400		2974		0.90	422
Y 690		2974		0.90	244
Δ 415	60	2976	288	0.88	415
Δ 440		3568		0.92	418
Δ 460		3572		0.91	417

DE

6316 C3

035 g

ESSO UNIREX N3

NDE

6316 C3

2900 h

2.3. Inspección del rotor

El rotor del ventilador sufre un desgaste continuo debido a la abrasión, corrosión y contaminación, y por ello debe realizarse regularmente una inspección, limpieza y reequilibrado al menos una vez por año.

Es recomendable disponer de un segundo rotor destinado a trabajos de reacondicionamiento alternos.

Después de cualquier desmontaje de álabes, del reemplazo del cubo, o de cualquier acción sobre el rodete, es necesario proceder a un nuevo equilibrado según el grado especificado.

Todo cambio de rodete implica una nueva medida de vibraciones sujetas igualmente al grado especificado por el fabricante.

2.4. Conexión eléctrica y motor

Para mantener un alto rendimiento de operación debe prestarse especial atención periódica a:

- El buen alineamiento del eje del motor con la carga reduce las pérdidas en funcionamiento, el desgaste de los rodamientos, el ruido y vibración.
- La limpieza del motor es importante para asegurar que el calor generado en su interior se elimina con efectividad. Un incremento en la temperatura del bobinado del estator de 1°C, incrementa a su vez al menos el 0.5% las pérdidas, además de acortar la vida del aislamiento del motor.

Es importante revisar el apriete de los terminales en la caja de bornas, ya que con el funcionamiento podrían aflojarse y hacer mal contacto, lo que podría producir un arco eléctrico en ciertas condiciones, así como evitar que haya cables sueltos o pelados que puedan producir un cortocircuito.

Igualmente debe verificarse el estado y contacto de la puesta a tierra.

Debe asegurarse que el radio de curvatura de llegada del cableado a la caja de bornas impide que penetre agua a través del prensaestopas y adaptar el prensaestopas y su posible reductor al diámetro de cable utilizado. Para conservar en la caja de bornas del motor su protección IP original.

Es indispensable asegurar la estanqueidad del prensaestopas apretándolo correctamente. En caso de varios prensaestopas y que no se utilicen algunos, debe asegurarse que siguen estando cerrados y reapretarlos para que asimismo sólo puedan soltarse empleando una herramienta.

Se ha de comprobar que las tensiones por fase no difieran más de un 10% y la intensidad de trabajo esté por debajo de la intensidad nominal siempre sobre valores de placa.

El sentido de giro correcto del ventilador será anti-horario visto desde lado de aspiración o bien horario desde lado de impulsión. Si no fuese así deben intercambiarse las conexiones de dos borneros.

Se recuerda que no se puede conmutar el sentido de giro de un ventilador sin pasar por el estado de reposo pues se pueden producir daños mecánicos debido al alto momento de inercia y que sólo son tolerables 6 procesos de arranque-hora, con objeto

de evitar un calentamiento excesivo y una sobrecarga de acoplamiento. Entre dos arranques debe mediar una fase de enfriamiento de al menos 5-10 minutos.

2.5. Convertidor de frecuencia

Debe reglarse para evitar cargas innecesarias debidas a altas aceleraciones positivas o negativas. Ello se cumple por lo general si el tiempo de aceleración para rotores con un diámetro de hasta 1.000 mm dura al menos 30 segundos, para diámetros entre 1000 y 2000 mm, 60 segundos y para diámetros mayores, 120 segundos.

En la puesta en marcha deben ajustarse estos valores de acuerdo a las condiciones de funcionamiento.

La regulación debería ser lo más pausada posible, para evitar sobrecargas innecesarias durante el funcionamiento, con aceleraciones y frenados persistentes, que podrían originar roturas por fatiga. Las aceleraciones ordenadas por el control del proceso no deberían ser mayores de $0,45 \text{ rad/s}^2$, excepto al paso por frecuencias características.

Se tiene constancia de roturas por fatiga cuando se modifica repetidamente el número de revoluciones con el convertidor de frecuencia.

Deben bloquearse las frecuencias de resonancia en la regulación del convertidor de frecuencia para que su paso por ellas se realice rápidamente. En caso contrario la vida útil se reducirá significativamente.

Tras cortar el suministro de corriente al convertidor de frecuencia se debe esperar un tiempo mínimo de 10 minutos antes de tocar los cables o componentes del convertidor, ya que existe riesgo de graves lesiones debido a la energía acumulada en los condensadores. Incluso las tarjetas de control pueden estar al potencial del circuito eléctrico principal y por ello debe medirse siempre la tensión y conectar a tierra antes de tocar los componentes.

Deben tenerse en cuenta las indicaciones de seguridad específicas del fabricante del convertidor de frecuencia antes del montaje y la puesta en funcionamiento.

Como recomendaciones generales:

- El motor y el convertidor de frecuencia deben emplazarse lo más próximos posibles el uno del otro para minimizar interferencias electromagnéticas.

- Los cables deben estar revestidos y no pueden tener mayor longitud que la prevista por el fabricante.
- Se deben conectar a tierra cables, regletas protectoras de cables, el convertidor de frecuencia y el motor.
- Para minimizar las interferencias de radio puede ser necesario el uso de filtros suplementarios.

2.6. Resistencias de Caldeo

En determinadas condiciones ambientales puede darse condensación en la caja de bornas. Ello se evita calentando previamente al arranque mediante resistencias de caldeo.

Se trata de unas resistencias situadas en el propio compartimento motor, alimentadas por defecto a 220V, y que generan una potencia calorífica que dependerá del tamaño del motor.



En la foto de la placa se observa una resistencia que puede disipar entre 65-94W de calor. Adicionalmente indica la presencia de dos sondas PTC en el que la pre-alarma se producirá cuando el bobinado del motor alcance 155°C y que la alarma que producirá el paro del motor ocurrirá cuando la temperatura sea de 180°C.

Se debe abrir regularmente los orificios para purga de condensados del motor y además comprobar la correcta apertura de la tapa.

3. Periodicidad en las revisiones preventivas

Se ha de establecer una lista de inspecciones de mantenimiento y dichas acciones deben ser registradas en un archivo de históricos. El Manual de Explotación debe recoger estos procedimientos.

La frecuencia del mantenimiento depende esencialmente del modo de funcionamiento, de las condiciones ambientales y de la disponibilidad requerida. Debe determinarse conjuntamente con la concepción global del equipo, ateniéndose a las especificaciones del fabricante.

Cuando en el lugar de emplazamiento de los ventiladores existan amenazas suplementarias como altos índices de corrosión, contaminación elevada, ambientes agresivos, etc. se deben llevar a cabo inspecciones de control y limpieza con intervalos más cortos.

El aumento de la IMD y del porcentaje de vehículos pesados en particular debe entenderse como una amenaza con los efectos descritos.

Esto es especialmente aconsejable, por no decir exigible, para los ventiladores de chorro (aceleradores o jets) que están situados en la clave del propio túnel. El riesgo sobre los vehículos y por tanto de los usuarios tiene un carácter directo.

Debe destacarse que es usual el empleo de ventiladores de chorro reversibles sobre todo en túneles bidireccionales. En ellos el cambio de sentido de marcha ejerce un esfuerzo cortante variable que incide en la fatiga del sistema de anclaje, factor que debe considerarse a la hora de incrementar la frecuencia de las revisiones.

Los ventiladores axiales de túneles con un sistema transversal o semitransversal, si bien no presentan este riesgo directo, pueden encontrarse fuera de servicio o en condiciones de rendimiento y capacidad inferior a la de diseño y, ante un caso de emergencia, conllevarían igualmente una situación de riesgo.

A continuación se muestra un calendario típico y aconsejable de mantenimiento preventivo correspondiente a una situación de explotación normal y en las condiciones de diseño de los equipos.

Cada dos meses (puede realizarse por personal de explotación)

Inspección visual de conexiones, elementos de soporte, carcasa o virola, silenciadores, álabes, rejillas, compuertas de regulación, etc. y el estado de limpieza en general.

Observar que no haya ningún ruido extraño de origen mecánico. Los ruidos de arranque, marcha, y detención progresiva pueden compararse con el de otros ventiladores.

Verificar arranques. Si los ventiladores llevan mucho tiempo parados, el consumo eléctrico al inicio será algo más alto, hasta que se estabiliza en valores ligeramente inferiores.

Comprobar que los consumos eléctricos se mantienen en límites normales siempre por debajo de la intensidad nominal.

Comprobar y anotar en histórico las horas de funcionamiento de cada equipo.

Revisar los valores de vibración monitorizados, caso de disponer detectores o sensores de vibración en los equipos y alimentar el archivo histórico de datos.

Para los archivos históricos (consumo, horas y vibraciones) se recomienda un seguimiento mensual.

Se rellenarán las hojas o formularios de mantenimiento individuales para cada equipo que deben estar incluidos en el Manual de Explotación, quedando a disposición del Responsable de Seguridad.

Cualquier anomalía detectada o desfase sobre el archivo histórico será comunicada inmediatamente tanto al Director de Explotación como al Responsable de Seguridad.

Anualmente (por parte de instalador autorizado)

Revisión minuciosa y detallada: Observar daños y corrosión en silenciadores, rotor, carcasa, motor, cables, conexiones, suspensión y amortiguadores.

Todas las partes portantes y uniones atornilladas de sustentación y de los apoyos deben ser supervisadas. Las tuercas deben asegurarse contra el aflojamiento y apretadas con el par correcto. Debe sustituirse cualquier unión atornillada que presente daños o irregularidades en su tratamiento superficial contra la corrosión.

En caso de dudas sobre el par de apriete necesario para un elemento de fijación, debe contactarse con el fabricante.

En particular se verificará como mínimo:

- Estado del rodete y holgura con carcasa.
- Equilibrado y limpieza de álabes.
- Estado de cableado de fuerza y de comunicaciones.

- Consumo eléctrico.
- Apriete de los terminales de las cajas de bornas.
- Ausencia de ruidos extraños.
- Estado de silenciadores: no presenten polvo, sin perforaciones y que no acumulen humedad.
- Nivel de vibraciones.
- Estado de anclajes y aprietes de soporte principal y de cadena de seguridad.
- Estado de antivibratorios.

Todos los elementos que no puedan desempeñar correctamente su función original serán reparados a tal fin o remplazados.

Por último las superficies internas y externas deben limpiarse con agua a baja presión y aditivos no abrasivos, evitando cualquier aplicación directa de agua al motor.

4. Incidente en el túnel de Monrepós 1 (Huesca)

El 13 de noviembre de 2008 se produjo el descuelgue, no caída, de un ventilador de chorro por rotura de tres de sus tornillos de anclaje de forma que solo uno aguantó el esfuerzo del peso y empuje. La cadena de seguridad no llegó a trabajar. La incidencia fue detectada en el Centro de Control a las 14:20 horas.

La temprana reacción de los servicios de Conservación y Mantenimiento fue crucial y evitó daños mayores. A las 00:00 del 14 de noviembre se cierra el túnel y comienzan los trabajos de desmontaje. A la 1:47 se reabre el túnel y se da por finalizada la incidencia.

Se verificó el diseño del sistema de sustentación y soporte descartando como causa posible un incorrecto dimensionamiento. Se destaca que el equipo fue colocado en el año 2004.

El Jefe de la Unidad de Carreteras de Huesca, quien personalmente recogió muestras de los tornillos, encargó un estudio detallado del origen de la rotura.

Se decidió enviar las muestras al Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) al objeto de caracterizar el tipo de acero utilizado en su fabricación y las posibles causas de su rotura en servicio.

Los ensayos realizados en este trabajo fueron:

- Análisis químico.
- Examen visual de la parte roscada de los tornillos
- Examen de la superficie de fractura a escala macroscópica y en microscopio electrónico de barrido (Examen fractográfico).
- Estudio metalográfico y ensayo de dureza.

Obteniéndose las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos en el análisis químico, que indican que el material utilizado en la fabricación de los tornillos es un acero no aleado para temple y revenido del tipo C35E de la norma UNE EN 10083, y el estado metalúrgico del material que corresponde al de temple y revenido, son conformes a los requisitos impuestos para los tornillos clase de calidad 8.8 en la norma UNE EN ISO 898-1 “Características mecánicas de los elementos de fijación. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones”.
- La rotura de los tornillos se produce en un proceso de fatiga mecánica iniciado en zona de raíz de diente. En las zonas de iniciación de la rotura la microestructura del acero es martensita revenida, y no se han observado defectos de material que pudieran ser causa o haber favorecido la rotura de los tornillos en un proceso de fatiga mecánica.
- En el caso de dos muestras se ha producido corrosión en servicio, que de acuerdo con los resultados obtenidos en el microanálisis de los productos de corrosión debe estar favorecido por la presencia de cloruros en el medio. El proceso de corrosión se localiza a la zona de contacto con la tuerca, y se comprueba que en la zona de inicio de la rotura no se ha producido corrosión en servicio.

A la vista de estas conclusiones, las circunstancias en las que se produce la fatiga mecánica pueden encontrarse en las condiciones de explotación que a su vez afectan al funcionamiento de los equipos.

En la fecha del incidente se estaba construyendo un tubo paralelo al túnel de Monrepós 1, futuro Monrepós 1'. Debido a las obras, uno de los tres carriles fue reservado al paso de camiones dedicados principalmente al movimiento de tierras.

Este aumento de tráfico y especialmente el de vehículos pesados, supuso un incremento considerable del número de arranques y horas de funcionamiento de los ventiladores de chorro (además reversibles), en base a que los opacímetros detectaban escalones continuos de descenso de visibilidad.

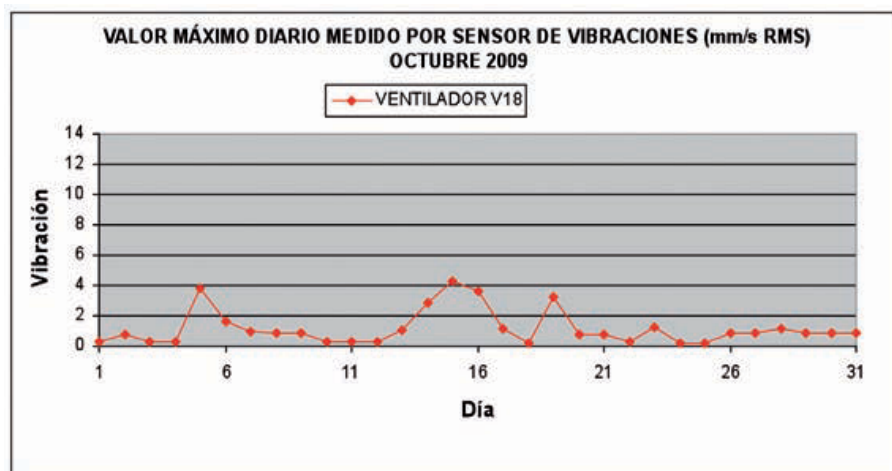
Si añadimos una atmósfera con alta concentración de partículas en suspensión, agrediendo directamente a los componentes del equipo, nos encontramos en una indudable situación de riesgo.

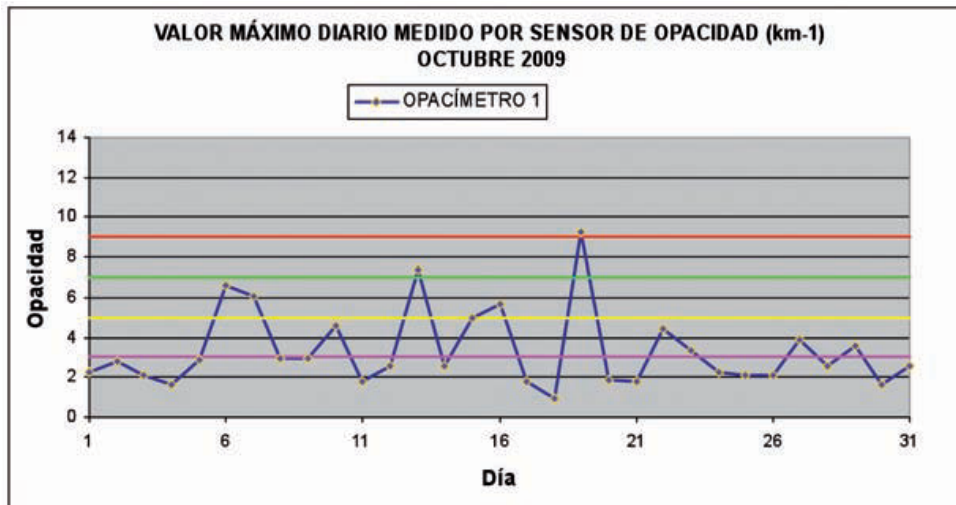
Las medidas principales tomadas a consecuencia del incidente se centraron en los siguientes aspectos:

- Incremento inmediato de las revisiones de mantenimiento preventivo, que pasaron de ser anuales a semestrales. Se destaca que la última revisión efectuada fue en febrero de 2008, nueve meses antes.
- Revisión de los parámetros de la aplicación informática para el funcionamiento automatizado del sistema de ventilación adaptándolo a la situación provisional de explotación.
- Control mensual de las vibraciones monitorizadas por los detectores de vibración.
- Incremento de la inspección y vigilancia de los equipos por parte del personal de explotación.
- Implantación de anclaje y cadena de seguridad en 12 de los 24 ventiladores del túnel que por antigüedad no disponían de ella.

Se destaca que en la siguiente revisión de mantenimiento preventivo, efectuada tan solo una semana después del incidente, se encontró otro equipo sostenido con dos de los cuatro tornillos únicamente. En dicha revisión se sustituyó la práctica totalidad de los tornillos de todos los ventiladores.

Las dos gráficas siguientes muestran un ejemplo del seguimiento en el control de vibraciones y de los niveles de opacidad, respectivamente, que mensualmente se añaden en el informe del Responsable de Seguridad del túnel:





5. Conclusiones

El presente artículo ha analizado los requerimientos de los ventiladores desde el punto de vista de su equilibrado y vibración, atendiendo a Standard 204-05 Balance Quality and Vibration Levels for Fans de AMCA (Air Movement and Control Association internacional).

Se ha detallado un conjunto de buenas prácticas de mantenimiento preventivo incidiendo en la necesidad de las inspecciones y revisiones periódicas y finalmente se ha descrito un incidente que sirve de ejemplo práctico de cómo puede afectar un ambiente agresivo al funcionamiento de un ventilador.

Como consecuencia de todo ello se insiste especialmente en la necesidad del mantenimiento preventivo cara a disminuir el riesgo, y en particular:

- La selección de los equipos de ventilación desde la fase de proyecto, debe atender a requerimientos de equilibrado y niveles de vibración normativos, exigiendo al fabricante los certificados correspondientes a sus ensayos.
- Se hace necesaria la inspección, comprobación de consumos, horas de funcionamiento y niveles de vibración de cada equipo por parte del personal de explotación.
- Es fundamental el control y seguimiento de los niveles de vibración en los equipos para lo cual deben implantarse sensores o detectores que los monitoricen.
- Debe duplicarse la frecuencia de las revisiones de mantenimiento preventivo para atender las exigencias derivadas de un incremento de la IMD y

del porcentaje de vehículos pesados, especialmente en túneles bidireccionales con ventiladores de chorro reversibles.

- Igualmente los cambios en el modo de explotación de un túnel pueden conllevar la revisión de algunos parámetros de la aplicación informática para el funcionamiento automatizado del sistema de ventilación.
- Se han de considerar medidas redundantes de reducción de riesgo como por ejemplo la implantación de cadenas de seguridad en los ventiladores para prevenir un posible fallo del sistema principal de anclaje.