Balanceo y Vibración

AMCA *insite* ™ Webinar Series | AMCA International | www.amca.org

Scott Arnold

Gerente de Contenido, AMCA International

Moderador de seminarios web

- Se unió a AMCA en 2017
- Encabeza el desarrollo y publicación de artículos y documentos técnicos y materiales educativos.
- Editor en jefe de la renombrada revista AMCA inmotion,

PATROCINADOR DEL WEBINAR

TCF

TWIN CITY FAN

Introducción y Reglas

- Reglas de participación:
  - La audiencia será silenciada durante el webinar.
  - Las preguntas podrán ser enviadas, en cualquier momento, a través de la plataforma GoToWebinar y serán abordarán al final de la presentación.
  - Recordatorio: ¡Este webinar está siendo grabado!
  - Para obtener acreditación PDH, tendrá que mantenerse conectado al webinar durante toda la hora.
  - Posteriormente, a la terminación del webinar, se enviará una evaluación por correo electrónico en el transcurso de un día, y deberá ser llenada para poder recibir la acreditación PDH.
  - Todo participante que desee recibir acreditación PDH debe estar registrado de forma individual. En caso de ser un grupo de participantes y requieren la acreditación, póngase en contacto con Lisa Cherney (*lcherney@amca.org*) para obtener una hoja de registro grupal.

P & R

Para hacer una pregunta:

- En el panel de control de los asistentes, a un lado de la pantalla, seleccione la opción desplegable de "Preguntas".
- Escriba su pregunta en el recuadro, comenzando con el nombre del presentador al cual está dirigida la misma.
- Haga clic en "Enviar".
- Las preguntas serán contestadas al final de la presentación

AMCA International cumple con los estándares y requerimientos del Programa de Educación Continua Registrados (Registered Continuing Education Program). La acreditación recibida al final del programa será reportada a RCEP en RCEP.net. Se entregará Certificado de Cumplimiento a cada participante. Como tal, no incluye contenido que pueda ser considerado o interpretado como aprobación o endoso por parte de RCEP.

La participación en la totalidad del seminario, y su evaluación, son requisito para poder proceder a la emisión y entrega de la acreditación de PDH. No se otorgarán créditos parciales en caso de abandonar el seminario antes de su terminación o al no enviar la evaluación.

ENGINEERING
RCEP
REGISTERED CONTINUING EDUCATION PROGRAM

DERECHOS de AUTOR

Los derechos de autor de esta actividad educativa están protegidos por leyes Internacionales y de los EEUU. Está prohibida la reproducción, distribución, muestra y uso de esta actividad educativa sin un permiso escrito del presentador.

© AMCA International 2020

Rad Ganesh

Director, Aplicaciones de Producto, Empresa Miembro de AMCA

- Más de 32 años de experiencia en la industrie del Movimiento de Aire (HVAC y Ventiladores).
- En este momento cuenta con 6 patentes 5 solicitudes de patente pendientes.
- Involucrado de forma muy activa en comités de AMCA y ASHRAE, contribuciones en publicaciones y dando presentaciones.
- Ostenta un Doctorado en Ingeniería Mecánica y se encuentra registrado como Ingeniero en el estado de Wisconsin, EEUU.

Balanceo y Vibración

Propósito y Objetivos de Aprendizaje

El objetivo de esta presentación es el de informar a los profesionales de la industria sobre Balanceo y Vibración en lo que se refiere a ventiladores de uso comercial e industrial.

Al final de la presentación usted podrá:

1. Explicar Balanceo y Vibración, y la diferencia entre ellos.
2. Identificar los estándares utilizados en el balanceo de ventiladores y los grados aceptables del mismo.
3. Describir el como diagnosticar problemas de vibración y como solucionarlos.
4. Comparar las diversas especificaciones de vibración relacionadas a los ventiladores.

¿Por qué del importante el tema?

- Las características de Balanceo y vibración son utilizan como indicadores de calidad.
- Entender la terminología y las especificaciones es importante para los usuarios y para los que seleccionan ventiladores.

Temas a ser Tratados

Balanceo

- Esta es una propiedad del ventilador y se mantiene igual en cualquier lugar.
- El desbalanceo está presenta aun cuando el ventilador no se encuentre en funcionamiento.

- Vibración
  - Altamente influenciada por el entorno y la velocidad de operación del ventilador.
- ¡No confundir estos dos conceptos!

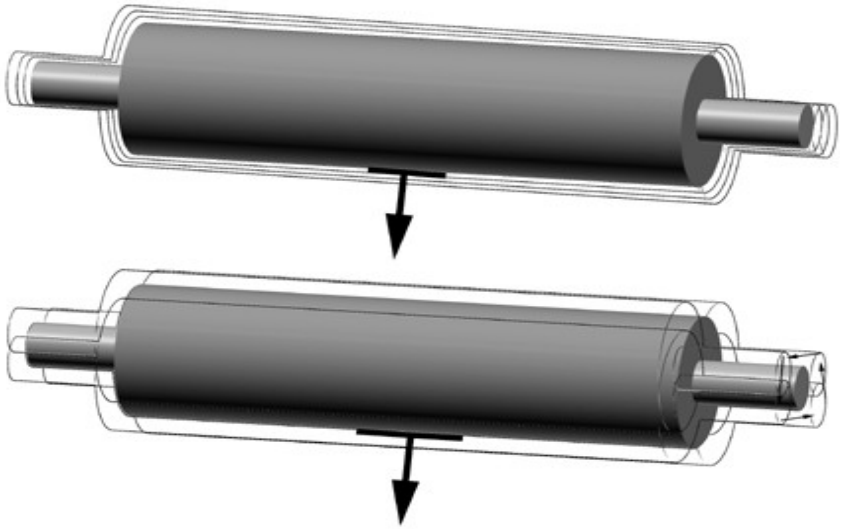
¿Terminología en Balanceo???

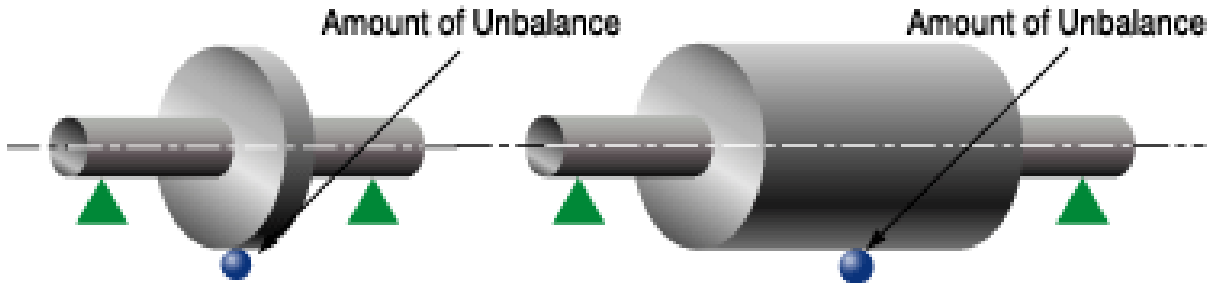
Balanceo:

- Es el proceso de agregar o quitar masa al rotor para de esa forma trasladar el centro de gravedad hacia el eje de rotación.
- El propósito del balanceo es reducir las fuerzas de desequilibrio.

Desbalanceo Estático.

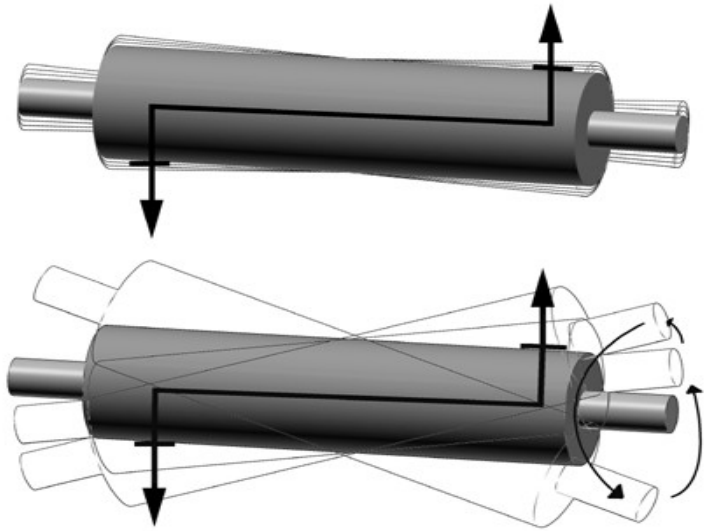
- El desbalanceo estático puede ser corregido añadiendo una sola masa.
- Cuando ponemos un rotor sobre rodamientos, el punto de mayor peso hará que el rotor gire hasta que éste quede abajo.

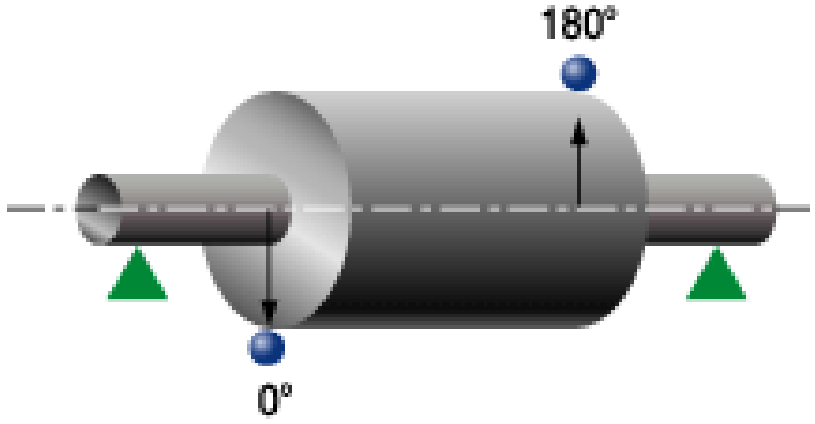




Desbalanceo Cople o Par.

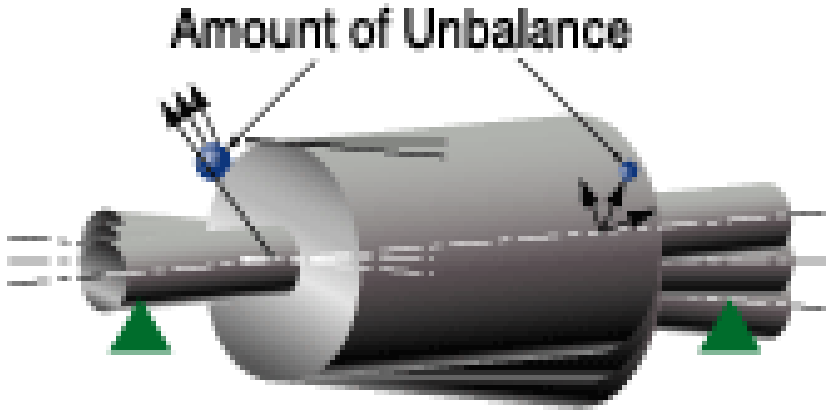
- El desbalanceo cople o par consta de dos masas, de igual magnitud, localizadas a 180º una de otra.
- La probabilidad de la existencia un desbalanceo cople o par puro es muy baja.





Desbalanceo Dinámico

- El desbalanceo dinámico consta de dos masas localizadas a cualquier ángulo de desfase entre una y otra, menos 0º 0 180º una de otra.
- El desbalanceo dinámico requiere de una corrección en dos planos

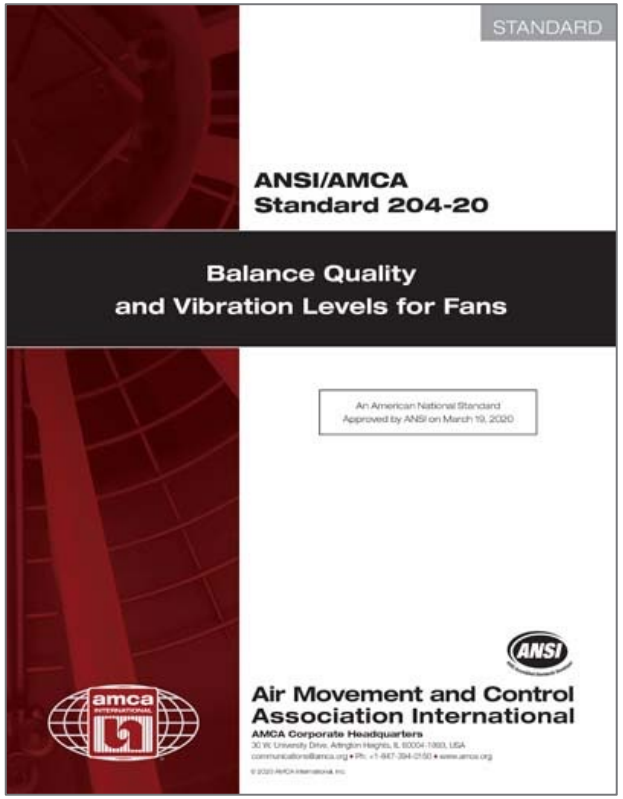


Tolerancia de Balanceo

- Define la magnitud máxima del desbalanceo residual remanente después del balanceo.
- Definido, originalmente, en el estándar ISO 1940/1.
- Adaptado a los ventiladores en el estándar AMCA 204-20.

Guía de Recomendaciones de Tolerancias

- Usar AMCA 204-20 para especificar la tolerancia de balanceo y vibración.
- Todos los términos relevantes están definidos.
  - Las tolerancias son realistas.
  - Contempla las diferentes categorías de ventiladores.
  - Resulta una vida larga y operación confiable, sin costos excesivos.



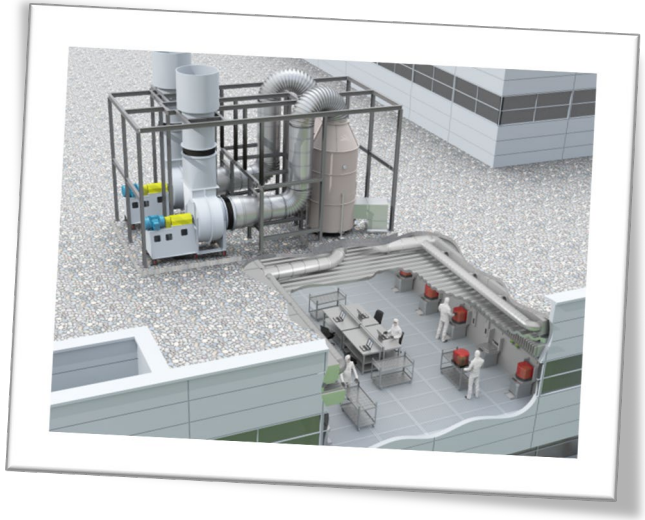
Categorías de Ventiladores según AMCA 204

Tabla 6.1 Categorías de usos de ventiladores para balanceo y vibración

Uso	Ejemplos	Límites Potencia Motor kW (hp)	Categoría Uso Ventilador, BV
Residencial	Ventiladores de techo, áticos, unidades de aire acondicionado de ventana	≤ 0.15 (0.2) > 0.15 (0.2)	BV-1 BV-2
HVAC y agrícola	Ventilación de edificios y sistemas de aire acondicionado, sistemas comerciales	≤ 3.7 (5.0) > 3.7 (5.0)	BV-2 BV-3
Procesos industriales y Generación de energía, etc.	Casa de bolsas, lavadoras de aire, minas, trasportadores, calderas de aire, aire de combustión, control de polvos, túneles de viento	≤ 298 (400) > 298 (400)	BV-3 BV-4
Transporte y marítimo	Locomotoras, camiones, automóviles	≤ 15 (20) > 15 (20)	BV-3 BV-4
Transito y túnel	Ventilación de emergencia del metro, ventiladores de túnel, ventilación de estacionamiento	≤ 75 (100) > 75 (100)	BV-3 BV-4
	Ventiladores Jet Fan para túnel	Todos	BV-4
Procesos petroquímicos	Gases peligrosos, Ventiladores de proceso	≤ 37 (50) > 37 (50)	BV-3 BV-4
Fabricación de electrónicos	Cuarto limpio	Todos	BV-5

Tolerancias de Balanceo AMCA 204

- Categorías de ventilador basadas en el uso
  - BV-3 incluye a todos los ventiladores excepto los más pequeños y más grandes de uso comercial e industrial.
  - BV-4 usado en ventiladores industriales grandes (arriba de 400 HP) y ciertos usos especiales.
  - BV-5 aplica para fabricantes de componentes electrónicos para computadoras.



Tolerancias de Balanceo AMCA 204

Tabla 7.1 Categorías de usos de ventiladores y Grados de Calidad del Balanceo

Categorías de usos de ventiladores BV	Grado de Calidad del Balanceo Rotores / Impulsores Rígidos
BV-1*	G 16
BV-2	G 16
BV-3	G 6.3
BV-4	G 2.5
BV-5	G 1.0

Nota: La categoría BV-1 puede incluir rotores extremadamente pequeños que pesan menos de 227 g (8 oz). En tales casos, el balanceo residual puede ser difícil de determinar con precisión. El proceso de fabricación debe asegurar una distribución equitativa del peso en el eje de rotación.

Qué es “G6.3”

- “G”, velocidad en alemán (Geschwindigkeit), los valores se refieren a la velocidad a la que el centro de la flecha rota alrededor del centro de gravedad cuando está suspendida a campo libre
- **$G = e \times \omega$ (mm/segundo)**
  - e = Desbalanceo Específico o distancia entre el centro de gravedad y el eje de rotación (mm)
  - ω = velocidad angular a velocidad máxima de diseño (rad/seg)

- “G” es una unidad de velocidad la cual no es apropiada para especificar tolerancias de vibración.
- AMCA 204 muestra claramente los cálculos para obtener el desbalanceo residual.

AMCA 204 Ejemplo: Desbalanceo Residual Permisible, Peso Máximo Permisible

- G = 6.3 mm/s; N=4000rpm
- Masa Rotor, m = 10lbs = 4.5 Kg; Radio Rotor, r = 6 pulg
- De la Fig C.1, e_{per} = 15 gr mm / Kg
- Desbalanceo Residual Máximo U_{per} = 15 * 4.5 ~ 67.5 g mm ~ 67.5/25.4 ~ 2.68 gr pulg.
- Masa máxima permisible en DM del rotor para balanceo en 2 planos = 2.68/ (2* 6) ~ 0.22 gr por plano
  - Cubo de acero de 1/8” por lado ~ 0.25 gr
- Aunque pequeños, los rotores ligeros que giran a alta velocidad son los más difíciles de balancear además de la incertidumbre en la homogeneidad del material y su fabricación.
- Las máquinas balanceadoras utilizadas hoy en día le indican al balanceador la magnitud y localización (fase) del peso de balanceo – magnitud del vector.

Anexo C

Desbalanceo Residual Máximo Permisible (Informativo)

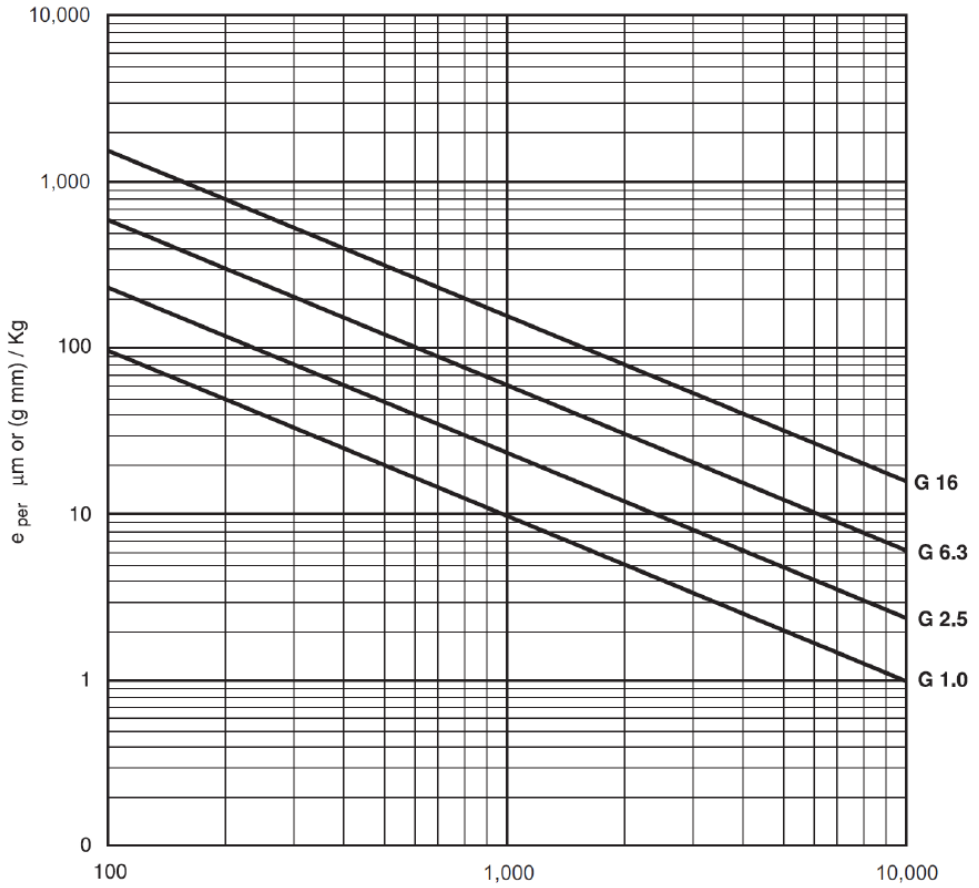
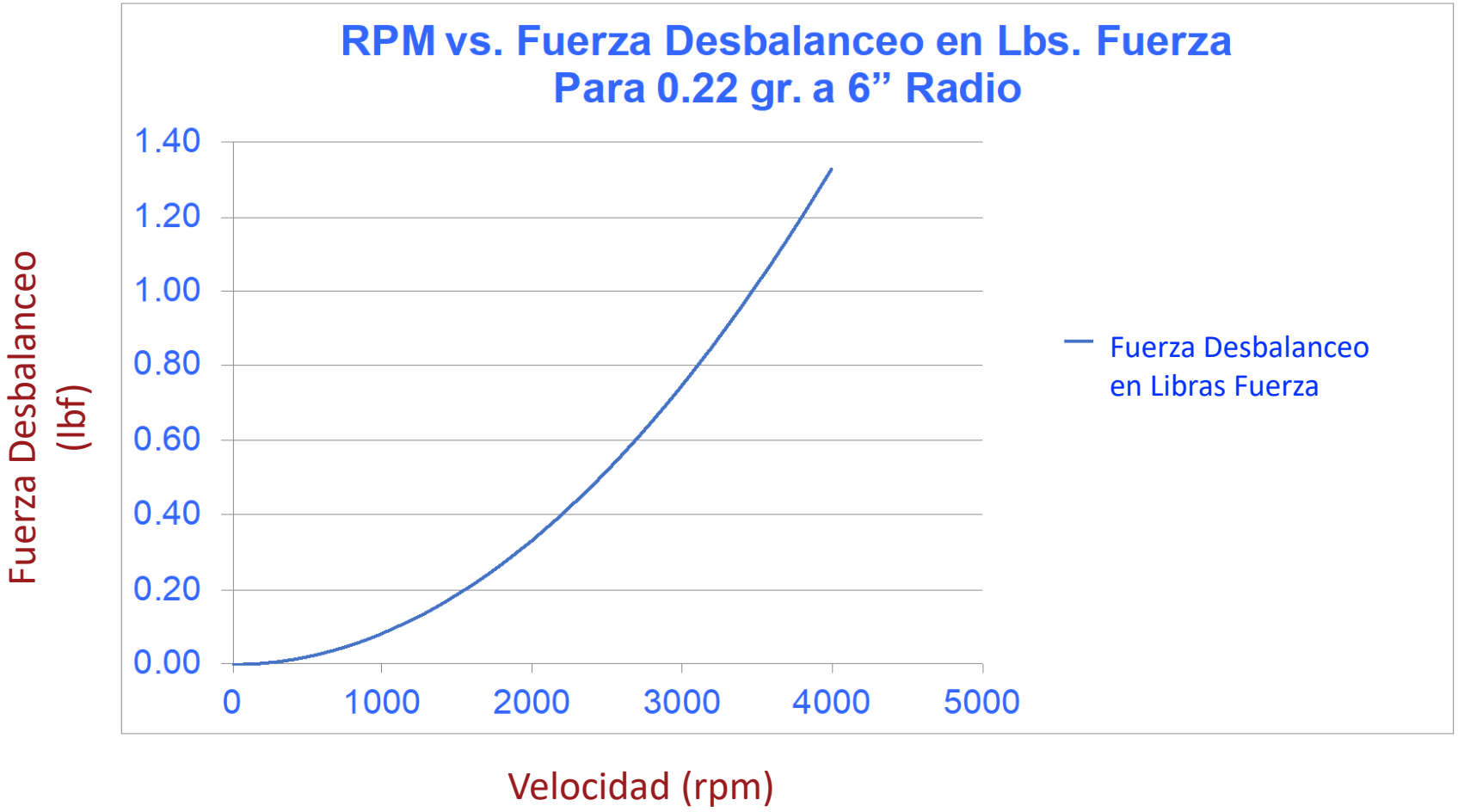


Figura C.1 - Desbalanceo Residual Máximo Permisible (SI)

Fuerza Centrífuga Por Desbalanceo

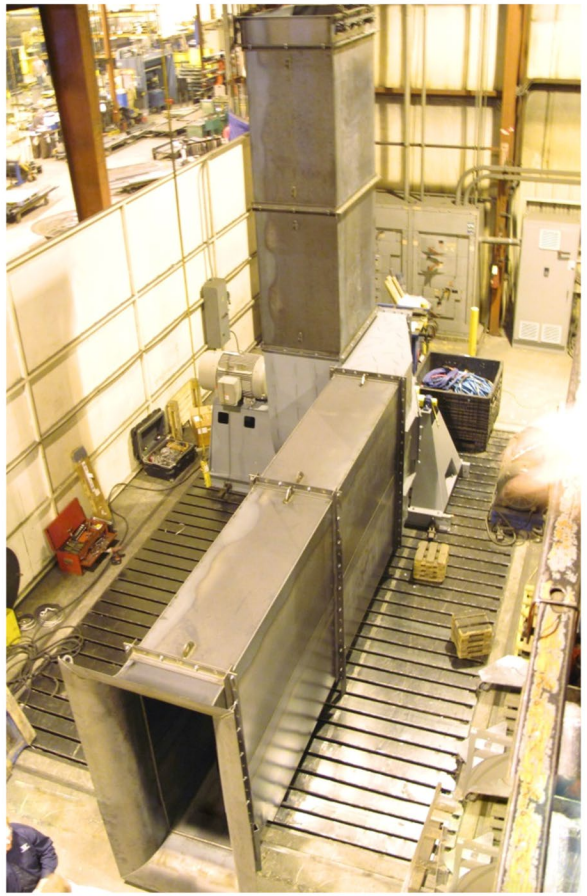


Máquinas Balanceadoras

- Diseñadas para soportar el peso del rotor

Balanceo de Ajuste

- Después del ensamble del ventilador, se hacen pruebas y se verifica la vibración.
- Si la vibración es alta. Se realiza un balanceo de ajuste.
  - Esto corrige el ajuste de las partes ensambladas.
  - La mayoría de los ventiladores llevan pesos de ajuste soldados.
- Normalmente no es necesario hacer un balanceo de ajuste en dos planos.



Vibración

- ¿Qué es la vibración?
  - La fuerzas que varían en amplitud o dirección en el tiempo provocan un movimiento repetitivo llamado vibración.
- ¿Cuándo es perjudicial la vibración?
  - Todos los ventiladores deben generar algo de vibración.
  - Sólo la vibración que excede cierta amplitud es perjudicial.

Tipos de Vibración

- La vibración por doblez se refiere a cuando partes del ventilador, como pueden ser las aspas, se doblan de manera cíclica.
  - Tema avanzado. No contemplado en esta presentación.
- La vibración torsional se refiere al torsión periódica de la flecha del ventilador debido a múltiples componentes con alta inercia en el tren de transmisión de potencia.
  - Tema avanzado. No contemplado en esta presentación.
- Vibración lineal o lateral se refiere al movimiento del ensamble en dirección radial o axial.
  - Este el el tema de esta presentación.

Terminología de Vibración

Frecuencia:

- Es el número de veces en la que un objeto repite su movimiento por unidad de tiempo.
- La frecuencia rotacional de un ventilador, en Hertz, es igual a RPM / 60.
- Normalmente a la frecuencia rotacional se le conoce como 1X.
- Otras frecuencias son normalmente identificadas como múltiplos de 1X, tales como 2X, 3X, 3.6X, 19.2X, etc. A estas se les llama ‘Harmónicas’ u ‘Ordenadas’

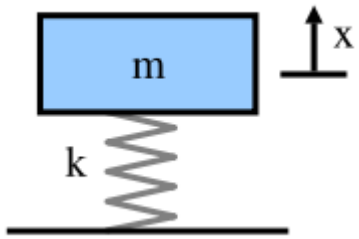
Terminología de Vibración

Amplitud:

- Es la medida de energía cíclica o movimiento de un objeto que esté vibrando.
- Las tres formas más comunes de expresarla:
  - Desplazamiento en mils pico a pico
  - Velocidad en pulgadas/segundo pico
  - Aceleración en g's MC
- La medición de la amplitud puede ser convertida entre las diferentes unidades si se conoce la frecuencia.

¿Qué es la Frecuencia Natural?

- Todos los objetos tienen su propia Frecuencia Natural en su estructura de soporte.
- Para ventiladores normalmente existen dos tipos de estructuras de soporte: Montaje Rígido y Montaje Flexible.
- Fundamentos de vibración: Wikipedia



K= rigidez, lbf/in
m= masa, lbm.

Frecuencia natural no-amortiguada

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Fan Engineering by R. Jorgensen ed. 9

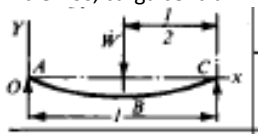
amca INTERNATIONAL

Diagramas de Soporte y Carga

Cantiléver, carga puntal

Cantiléver, carga uniforme

Soporte Extremos, carga central



Deflexión Máxima

$$y = -\frac{1}{6}\frac{W}{EI}(x^3 - 3l^2x + 2l^3)$$

$$Max\ y = -\frac{1}{3}\frac{Wl^3}{EI}\ (at\ A)$$

$$y = -\frac{1}{24}\frac{W}{EI}(x^4 - 4l^3x + 3l^4)$$

Capítulo 17 – Mecánica de los Ventiladores 17-23

Para calcular las velocidades críticas existen programas de computadora muy complejos. Estos incluyen los efectos de los soportes de los rodamientos, la cimentación y el suelo. También pueden contemplar los efectos giroscópicos y de flexibilidad del impulsor cuando así sea apropiado. También es posible obtener cálculos detallados de respuesta. Esto es, que pueden calcular el movimiento en varios puntos para una fuerza de excitación. Se pueden predecir valores de velocidad crítica de forma aproximada por medio de fórmulas muy fáciles. Para un sistema simple, el cálculo de la máxima deflexión estática puede ser determinada con la ecuación de la tabla 17.2.

$$N_{cr} = \frac{187.7}{\sqrt{y}} \qquad (17.31)$$

La magnitud de la fuerza transmitida entre miembros de un sistema depende de las masas, rigidez y aislamiento presente. A la proporción de transmisión de fuerza se le llama transmisibilidad TR y está relacionada con la frecuencia natural f_n del sistema así como también de la frecuencia de disturbio f. Ignorando el aislamiento.

$$TR = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_n}\right)^2 - 1}. \qquad (17.36)$$

La frecuencia natural de un ventilador montado es aisladores puede ser determinada por la deflexión estática y utilizando

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{y}}. \qquad (17.37)$$

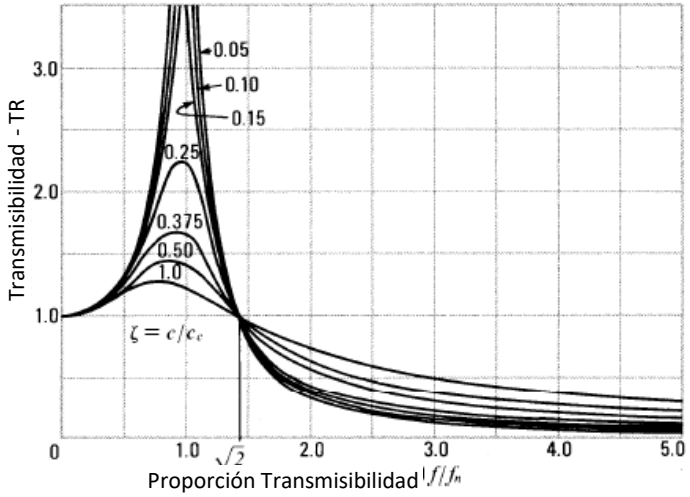


Figura 17.13 Transmisibilidad

© 1999 Howden Buffalo, Inc.

Conversión en Vibraciones

- Velocidad (pulg/s)

  V = D(2pf)

  Donde:

  D = pico desplazamiento, (pulg)

  f = frecuencia (Hz)

  p = 3.14

- Aceleración (pulg/s^2)

  A = V(2pf)

  Donde:

  A = Aceleración, (pulg/s^2)

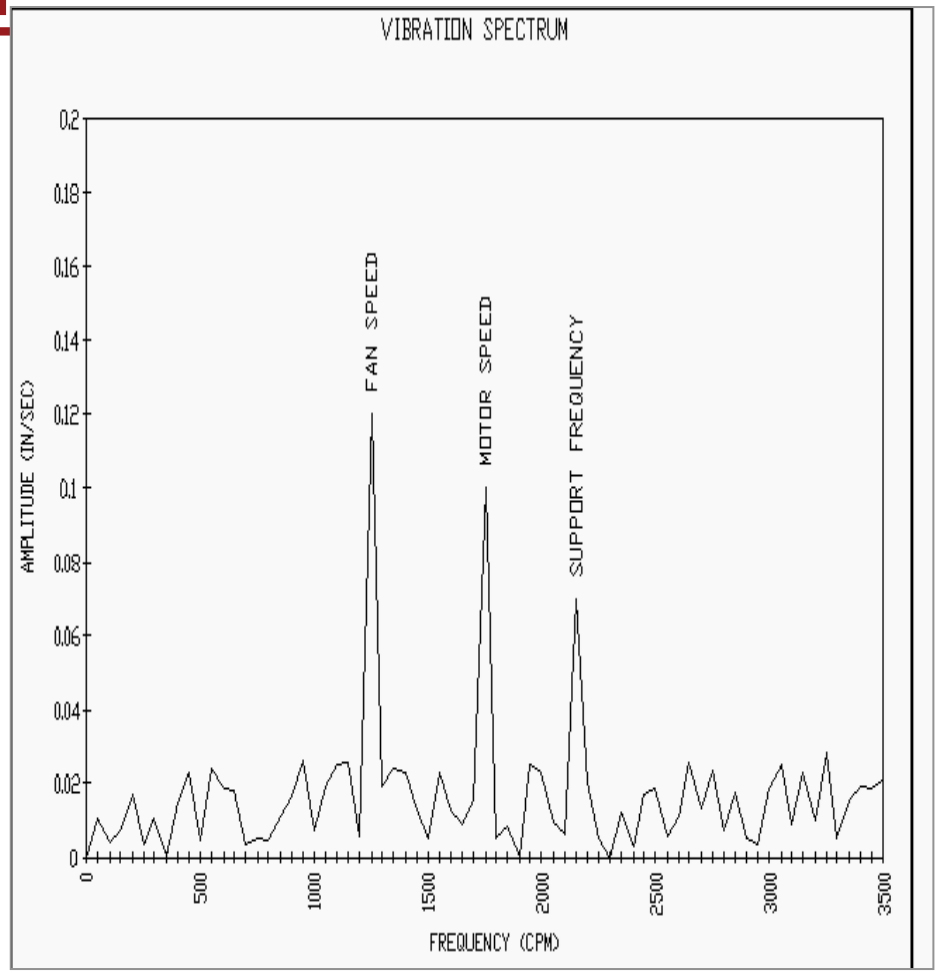
  1g = 386.1 pulg/s^2)

- Pico = 1,414 * MC

Terminología de Vibración

- Espectro de Vibración
  - Visor de frecuencia vs. amplitud.

- El eje horizontal es lineal, no es logarítmico ni en octavas como se usa con el ruido.



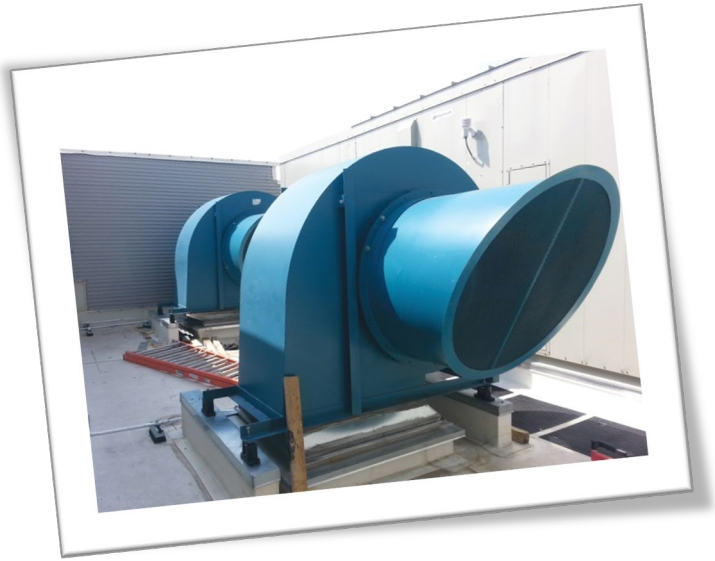
Terminología de Vibración

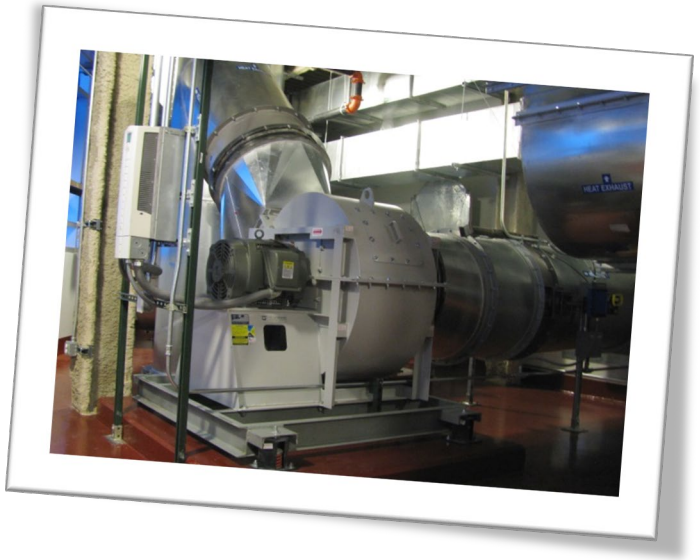
Montaje Rígido:

- Generalmente aplica a ventiladores montados sobre losa de concreto.
- Una estructura rígida de acero también puede ser considerada

Terminología de Vibración

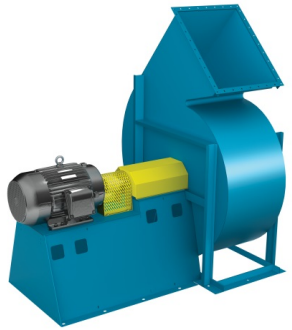
- Montaje Flexible
  - Ventiladores montados sobre bases de resortes o aisladores de vibración.
  - Cuando una base de inercia se rellena con concreto y todo el ensamble es montado sobre resortes.
    - En caso de requerir aisladores, esto es lo mejor para ser usado con vibraciones.

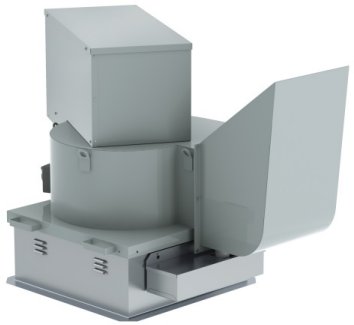




Medición de Vibraciones

- La vibración puede ser medida en cualquier lugar.
  - Las lecturas pueden ser Desplazamiento (mils), Velocidad (pulg/s) o aceleración (g, in/s^2).
- Normalmente, solo nos preocupan las vibraciones en los rodamientos del ventilador o los del motor.
- Normalmente, se toman mediciones de forma horizontal, vertical y axial en cada uno de los rodamientos.
  - A esto se le llama mediciones triaxiales.





Amplitud Global contra Filtrada

- La amplitud global (sin-filtro) es la medición de la energía de vibración en todo el rango de frecuencias.
- La amplitud filtrada (con-filtro) usualmente se refiere a la vibración a 1X (velocidad de giro de operación).
- La amplitud global incluye los efectos de todas las fuentes — inclusive aquellas externas al ventilador.

Resonancia Mecánica

- Todos los equipos mecánicos tienen componentes y cada uno de ellos tienen su propia frecuencia natural.
  - Para los ventiladores esto incluyen las aspas, impulsores, estructuras, envolventes, ensambles de componentes rotatorios, etc.
- Cuando la frecuencia rotatoria de un ventilador o sus harmónicas (1X, 2X…frecuencias excitables) coinciden con la frecuencia natural del ventilador o el de alguno de sus componentes, estas se ven excitadas y puede resultar en una amplificación de la vibración. A este fenómeno se le conoce como resonancia.
- Hay amplitudes que pueden o no ser perjudiciales en la resonancia.
- Sólo las amplitudes que exceden ciertos límites son consideradas perjudiciales.

Causas de Vibración

- Desbalanceo (normalmente a 1X)
  - Rotor del ventilador, poleas, coples o el motor

- Por la transmisión de bandas (normalmente 2X)
  - Poleas no-concéntricas
  - Bandas de longitud diferente, desgastadas o con partes duras.
  - Poleas desalineadas
  - Por lo general las poleas de paso cuentan con espacios desiguales entre ranuras.

Causas de Vibración

- Por la flecha (normalmente 2X)
  - Flecha no-recta
  - El cuñero crea un punto débil (rotores entre rodamientos)
  - Flechas ovaladas
  - Flechas adelgazadas
- Por fallas en rodamientos (~alta: 10-20 X)
  - Falla en rodamientos y no-simétricos
  - Contaminantes en los rodamientos
  - Distorsión en los rodamientos
  - Los rodamientos no se auto-alinean
  - Distorsiones causadas por opresores
  - Grasa o aceite batido

Causas de Vibración

- Por construcción del ventilador
  - Imperfecciones en los componentes del impulsor
  - Rozamiento
  - Des alineamiento (rodamientos y cople)

- Aerodinámicas (aleatorias X)
  - Flujo turbulento o excéntrico por el ventilador
  - Ventilador en zona de inestabilidad
  - Falta de sustentación rotacional ~ 2/3X, 4/3X…

Causas de Vibración

- Instalación y ambientales
  - Soporte Inadecuado (resonancia)
  - Pernos de sujeción flojos o faltantes
  - Registros flojos, paneles vibrando, etc.
  - Objetos solidos que impacten al impulsor
  - Ventiladores con tiros que vibren debido a vórtices
- Problemas en el motor (eléctricas y mecánicas)

Las Causas de Vibración se Incrementan con el Tiempo

- Desgaste pos abrasivos o corrosión
- Acumulación de agua en aspas aerodinámicas
- Acumulación de material o polvo
- Deformación de componentes del ventilador debido a impactos
- Daños debido a alta temperatura
- Desgaste o deterioro de los rodamientos

Las Causas de Vibración se Incrementan con el Tiempo

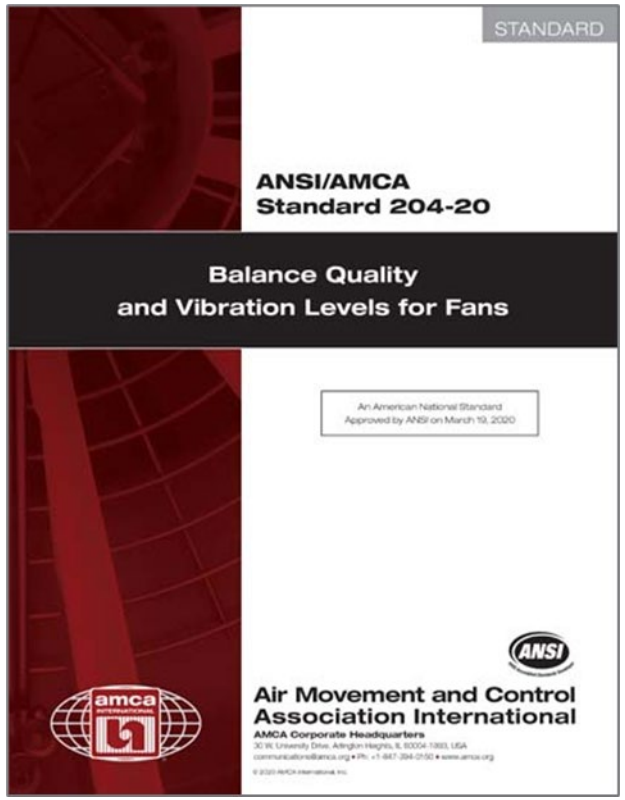
- Desgaste en la transmisión de poleas y bandas
- Falla por fatiga debido a cargas fuera de lo normal
- Aflojamiento de los herrajes
- Cambio en RPM
- Pérdida de pesos de balanceo

Consecuencias de la Vibración Excesiva

- Reducción en la vida de los rodamientos
- Reducción en la vida de los lubricantes
- Daño estructural al ventilador
- Aumento en el ruido
- Daño a los procesos adyacentes
- Soltura en la sujeción

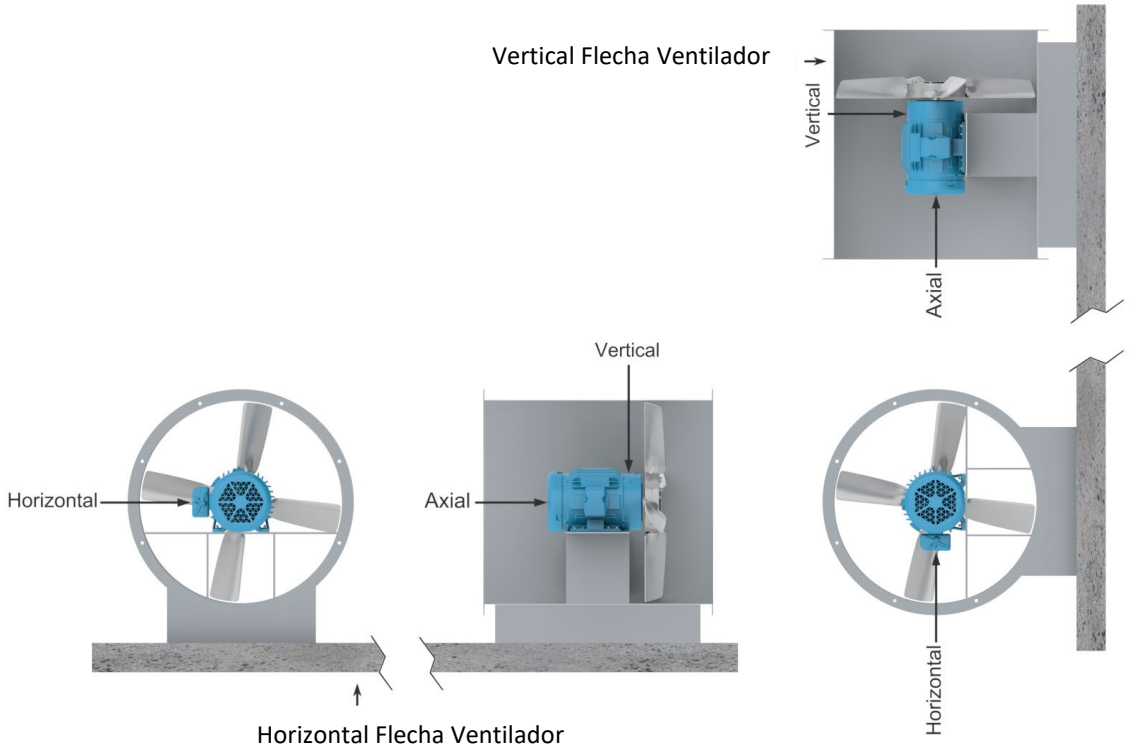
Tolerancias Recomendadas para Vibraciones

- Use AMCA 204 para especificar tolerancias de vibración.
- Todos los términos relevantes están definidos.
- Las tolerancias son realistas.
- Contempla las diferentes categorías de ventiladores.
- Ofrece una vida operativa larga y confiable sin costos excesivos.



AMCA 204 – Medición de Vibraciones

- El estándar indica donde se deben tomar las mediciones.



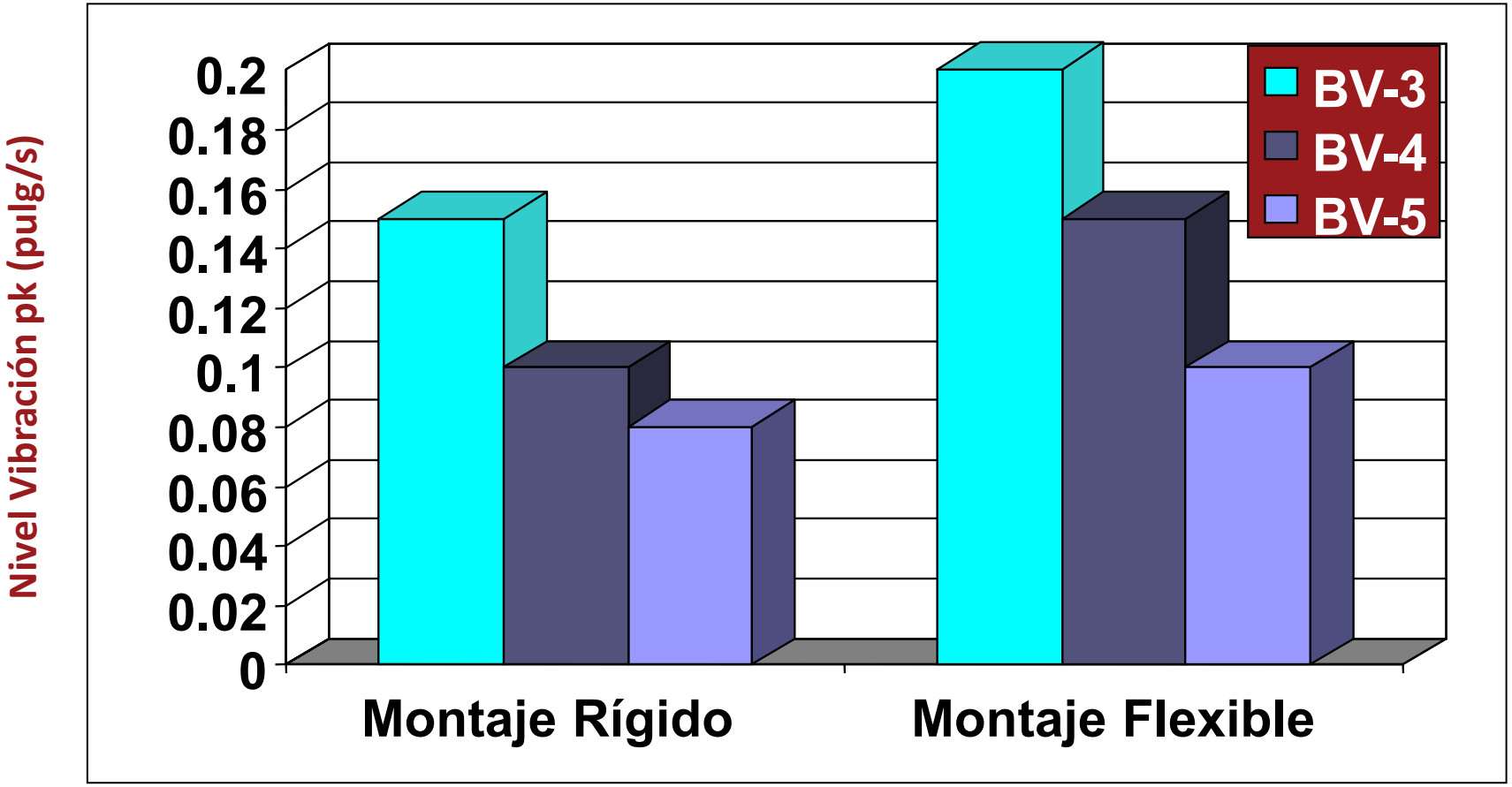
AMCA 204 Categorías de Ventiladores

- Las mismas categorías que en tolerancias de balanceo.

Tabla 6.1 Categorías de usos de ventiladores para balanceo y vibración

Uso	Ejemplos	Límites Potencia Motor kW (hp)	Categoría Uso Ventilador, BV
Residencial	Ventiladores de techo, áticos, unidades de aire acondicionado de ventana	≤ 0.15 (0.2) > 0.15 (0.2)	BV-1 BV-2
HVAC y agrícola	Ventilación de edificios y sistemas de aire acondicionado, sistemas comerciales	≤ 3.7 (5.0) > 3.7 (5.0)	BV-2 BV-3
Procesos industriales y Generación de energía, etc.	Casa de bolsas, lavadoras de aire, minas, trasportadores, calderas de aire, aire de combustión, control de polvos, túneles de viento	≤ 298 (400) > 298 (400)	BV-3 BV-4
Transporte y marítimo	Locomotoras, camiones, automóviles	≤ 15 (20) > 15 (20)	BV-3 BV-4
Transito y túnel	Ventilación de emergencia del metro, ventiladores de túnel, ventilación de estacionamiento	≤ 75 (100) > 75 (100)	BV-3 BV-4
	Ventiladores Jet Fan para túnel	Todos	BV-4
Procesos petroquímicos	Gases peligrosos, Ventiladores de proceso	≤ 37 (50) > 37 (50)	BV-3 BV-4
Fabricación de electrónicos	Cuarto limpio	Todos	BV-5

AMCA 204 Límites de Vibración – Prueba en Planta



Estándar AMCA 204-20

Tabla 8.2 – Límites de Vibración para Pruebas en Planta

Categoría de uso del Ventilador, BV	Montaje Rígido mm/s (pulg/s)		Montaje Flexible mm/s (pulg/s)	
	Pico	MC	Pico	MC
BV-1	12.7 (0.50)	9.0 (0.35)	15.2 (0.60)	11.2 (0.44)
BV-2	5.1 (0.20)	3.5 (0.14)	7.6 (0.30)	5.6 (0.22)
BV-3	3.8 (0.15)	2.8 (0.11)	5.1 (0.20)	3.5 (0.14)
BV-4	2.5 (0.10)	1.8 (0.07)	3.8 (0.15)	2.8 (0.11)
BV-5	2.0 (0.08)	1.4 (0.06)	2.5 (0.10)	1.8 (0.07)
Nota: Los valores pico son ampliamente usados en Norteamérica y conforman varias ondas sinusoidales que no necesariamente coinciden con los valores MC. También dependen de los instrumentos utilizados.				

AMCA 204 Pruebas Realizadas In Situ

- **Nota: No utilizar como especificaciones para ventiladores.**

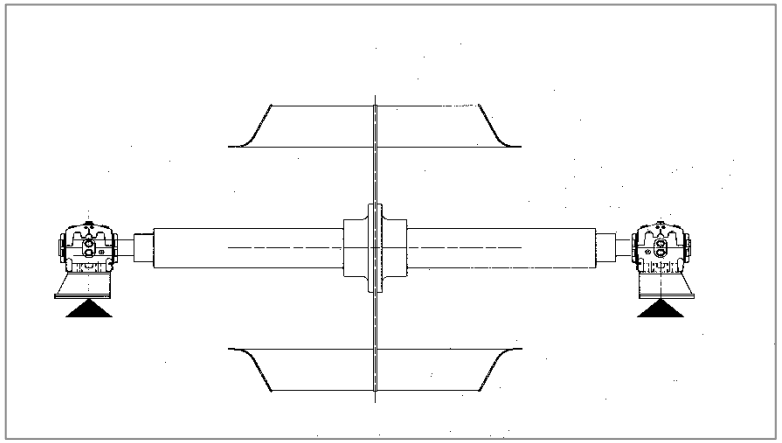
Tabla 8.3 – Límite de Vibración para Pruebas In Situ
Los valores en ésta tabla representan el valor global de vibración en un rango mínimo de frecuencia de 10 – 1,000 Hz, TRF calculadas y mediciones analógicas

Estado	Categoría de uso del Ventilador, BV	Montaje Rígido mm/s (pulg/s)		Montaje Flexible mm/s (pulg/s)	
		Pico	MC	Pico	MC
Arranque	BV-1	14.0 (0.55)	10 (0.39)	15.2 (0.60)	11.2 (0.44)
	BV-2	7.6 (0.30)	5.6 (0.22)	12.7 (0.50)	9.0 (0.35)
	BV-3	6.4 (0.25)	4.5 (0.18)	8.8 (0.35)	6.3 (0.25)
	BV-4	4.1 (0.16)	2.8 (0.11)	6.4 (0.25)	4.5 (0.18)
	BV-5	2.5 (0.10)	1.8 (0.07)	4.1 (0.16)	2.8 (0.11)
Alarma	BV-1	15.2 (0.60)	10.6 (0.42)	19.1 (0.75)	14.0 (0.55)
	BV-2	12.7 (0.50)	9.0 (0.35)	19.1 (0.75)	14.0 (0.5)
	BV-3	10.2 (0.40)	7.1 (0.28)	16.5 (0.65)	11.8 (0.28)
	BV-4	6.4 (0.25)	4.5 (0.18)	10.2 (0.40)	7.1 (0.28)
	BV-5	5.7 (0.20)	4.0 (0.16)	7.6 (0.30)	5.6 (0.22)
Paro	BV-1	NOTE 1	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1
	BV-2	NOTE 1	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1
	BV-3	12.7 (0.50)	9.0 (0.35)	17.8 (0.70)	12.5 (0.49)
	BV-4	10.2 (0.40)	7.1 (0.28)	15.2 (0.60)	11.2 (0.44)
	BV-5	7.6 (0.30)	5.6 (0.22)	10.2 (0.40)	7.1 (0.28)

Notas:
1. Los niveles de paro de los ventiladores para los Grados de Uso del Ventilador BV-1 y BV-2 deben ser establecidos con datos históricos
2. Los valores pico son ampliamente usados en Norteamérica y conforman varias ondas sinusoidales que no necesariamente coinciden con los valores MC. También dependen de los instrumentos utilizados, hasta cierto punto.

Velocidad de Resonancia del Diseño (Frecuencia)

- La frecuencia natural de la masa de resorte combinada del Elemento Rotatorio, película de aceite o elemento rodante, chumacera y soporte de rodamientos (del ventilador completo) pero excluyendo la cimentación.
- El rango típico de la velocidad de resonancia del diseño (o velocidad crítica) es de aproximadamente 1.3 la velocidad máxima de operación dependiendo de la aplicación.



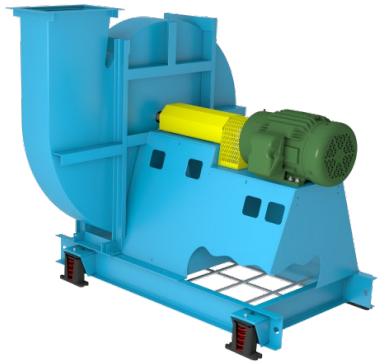
$$\frac{1}{S_{Combinado}} = \frac{1}{S_{Flecha}} + \frac{1}{S_{Rodamientos}} + \frac{1}{S_{Envolvente}} + \frac{1}{S_{Pedestal}}$$

Montaje Rígido vs. Flexible

- Un montaje rígido opera por debajo de la primera frecuencia fundamental del sistema de soporte.
- Un montaje flexible opera por encima de la primera frecuencia fundamental del sistema de soporte.

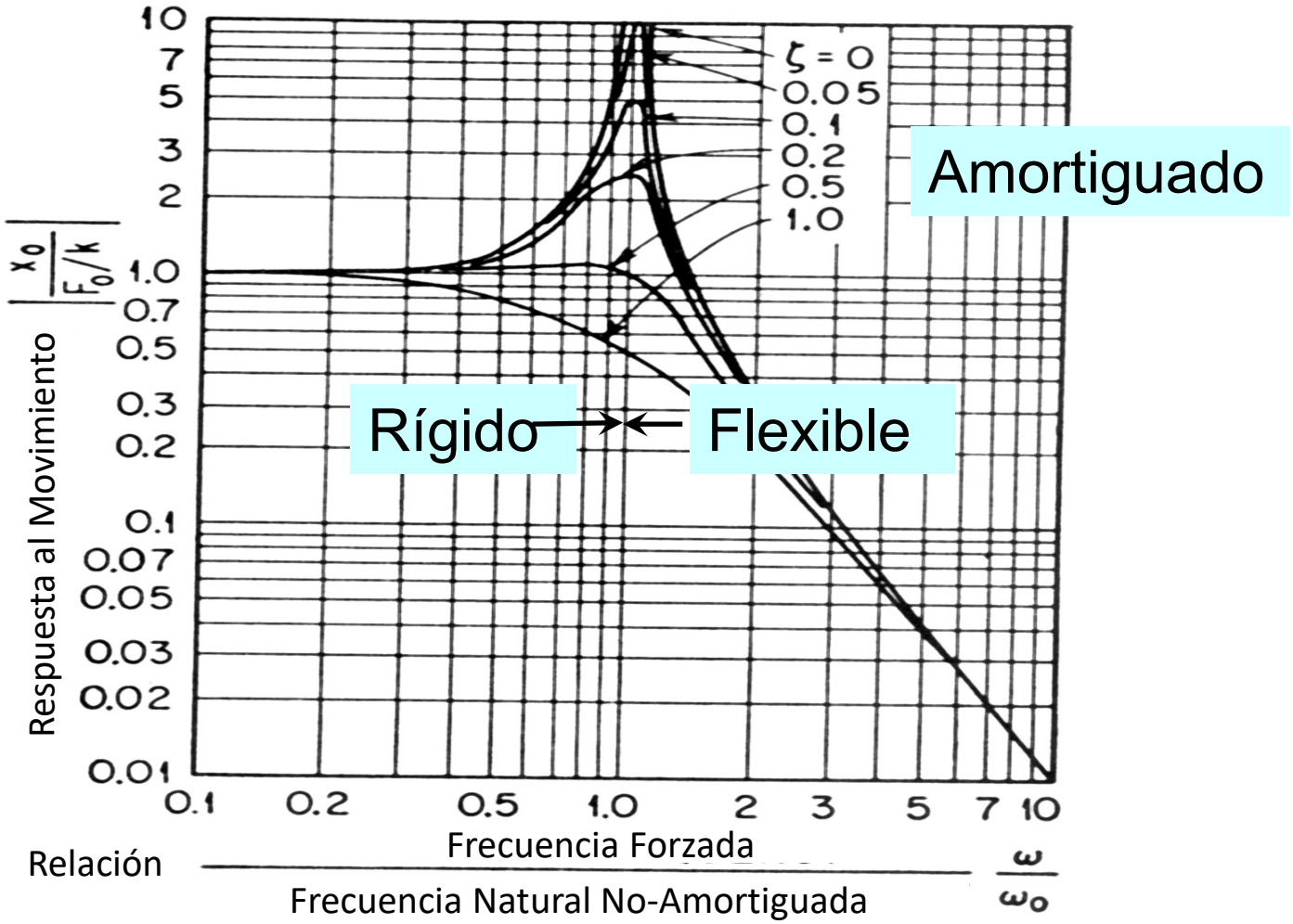
Evite Operar en la Primera Frecuencia Fundamental

Montaje Rígido



Montaje Flexible

Montaje Rígido vs. Flexible



Cimentación en Ventiladores

- Diseñadas para cargas estáticas y dinámicas.
- Una buena cimentación ayuda a mantener niveles bajos de vibración.

Cimentación Rígida

- Son bases grandes de concreto.
- Lechada de cemento entre la base del ventilador y el concreto.

Montaje Flexible Con Base de Acero

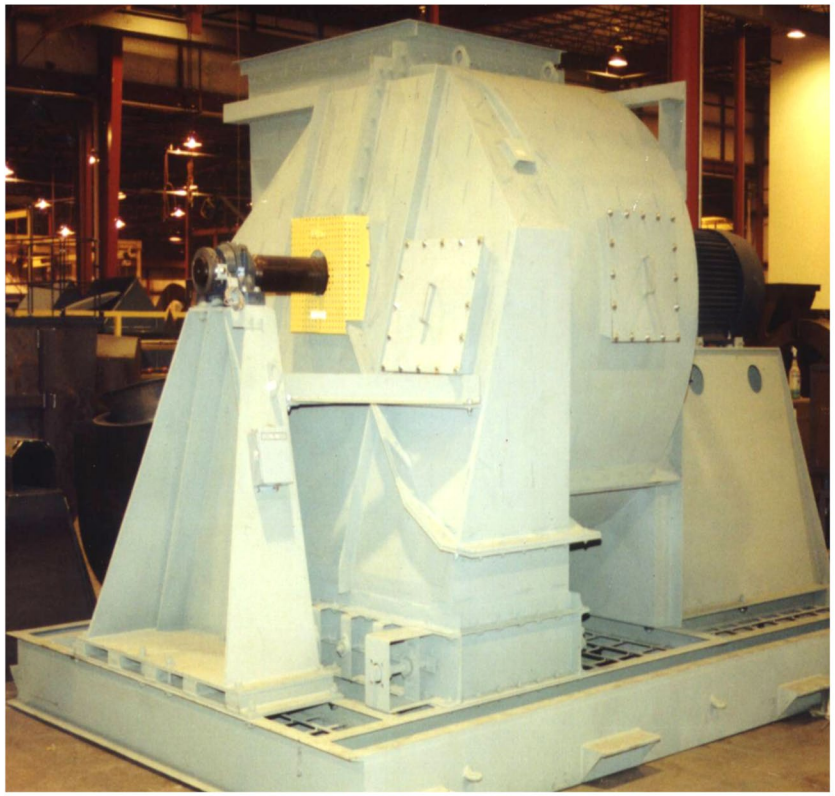
- Usualmente de canal estructural o Viga I.
- Calzas entre la base del ventilador y la base de acero.

Flexible – Base de Inercia

- Base de Inercia: Similar a la base estructural de acero, excepto que la base está rellena de concreto.

Flexible – Base de Inercia – En Planta

- El Ventilador y el Motor pueden ser montados para su embarque cuando se especifica.
- El concreto es colado en campo.
- Loa aisladores se embarcan sueltos, no montados.



Cimentación Rígida de Diseño Cuestionable

- Ventiladores montados en vigas muy largas.
- Soporte diagonal mínimo.
- Poca masa debajo del ventilador.
- Se requiere de un análisis dinámico de la estructura para asegurar una operación libre de problemas.

Cimentación en Ventiladores “Pequeños”

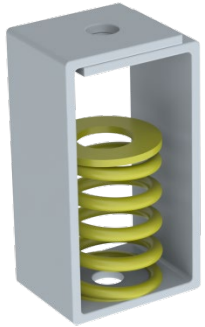
- Muchos ventiladores pequeños son montados sobre aisladores o tienen aisladores integrados.
- La vibración en los rodamientos puede ser muy alta.
- La energía de vibración total es baja por lo que hace que la incidencia de falla sea baja.
- El bajo costo hace que este tipo de construcción sea muy común.

Aisladores de Vibración

- Usados para prevenir la transmisión de la vibración del ventilador a la estructura de soporte.
  - Los aisladores de goma son utilizados en ventiladores pequeños con velocidades mayores de 1,000 rpm.
  - Para un buen aislamiento en ventiladores grandes, con velocidades de operación bajas, se utilizan aisladores de resorte.

Tipo Resorte

Montaje en Piso



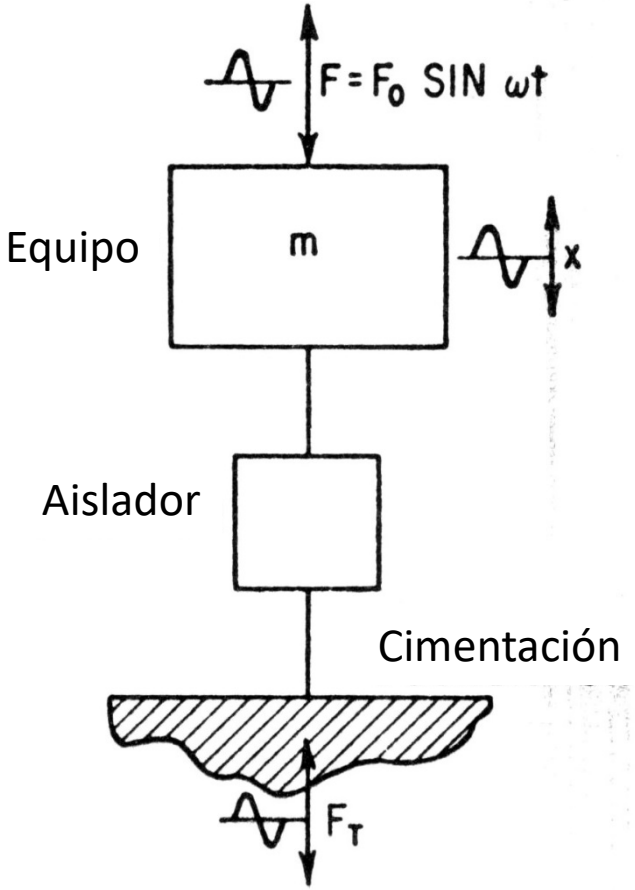
Montaje en Techo

Goma

Montaje en Piso

Montaje en Techo

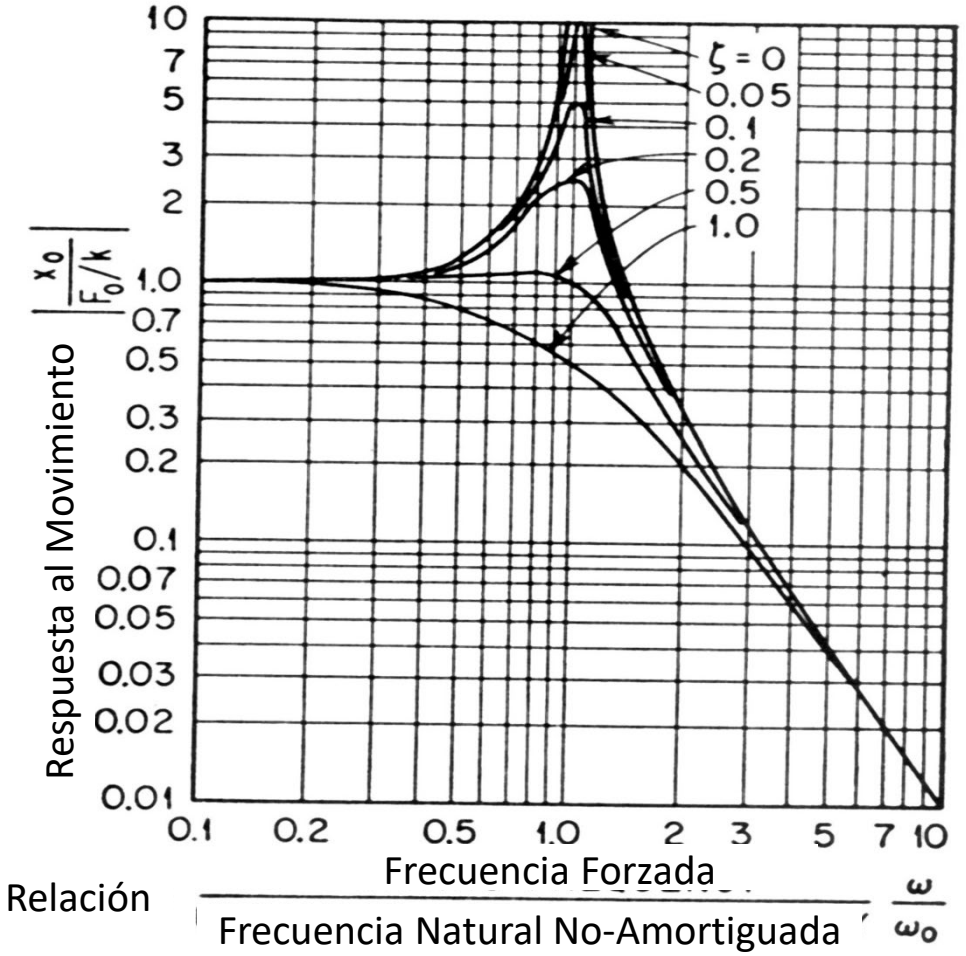
Model Utilizado para Cimentaciones Flexibles



Sistema con Un solo Grado de Libertad

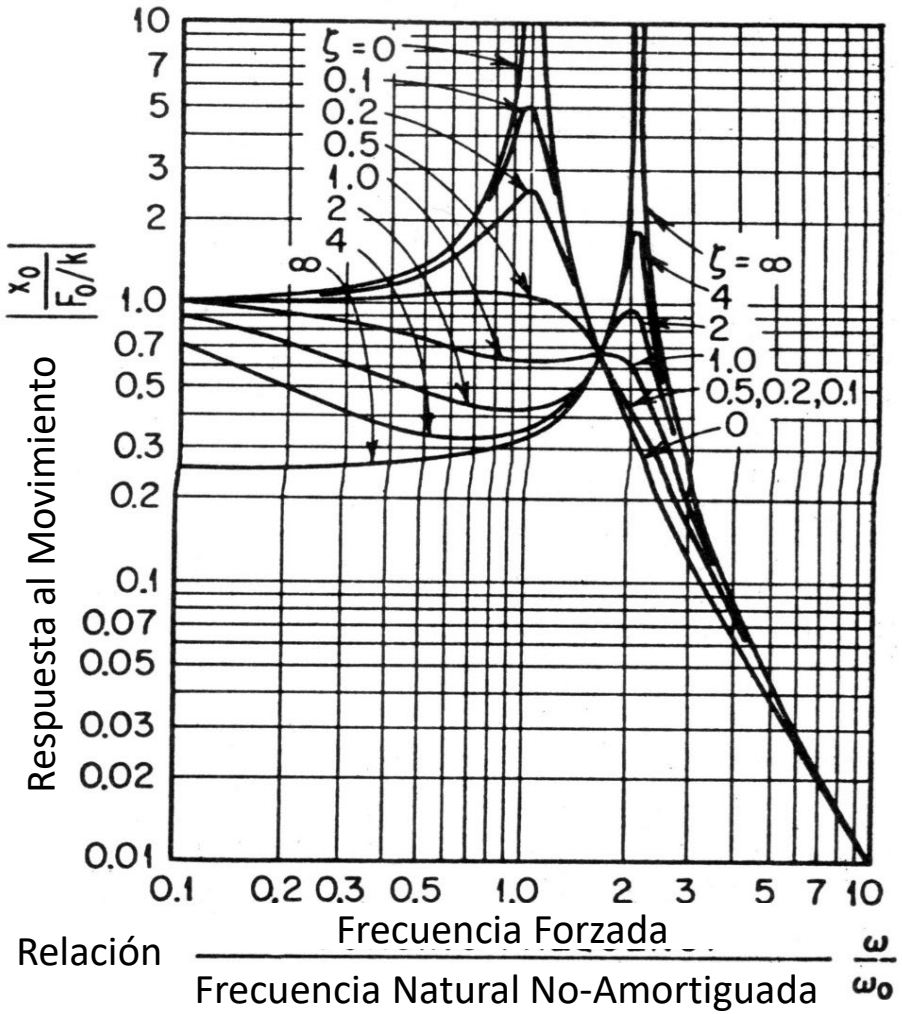
- Ventilador, Motor, y Base
- Resorte o Cojinete de Goma
- Estructura Infinitamente Rígida

Ideal System Response

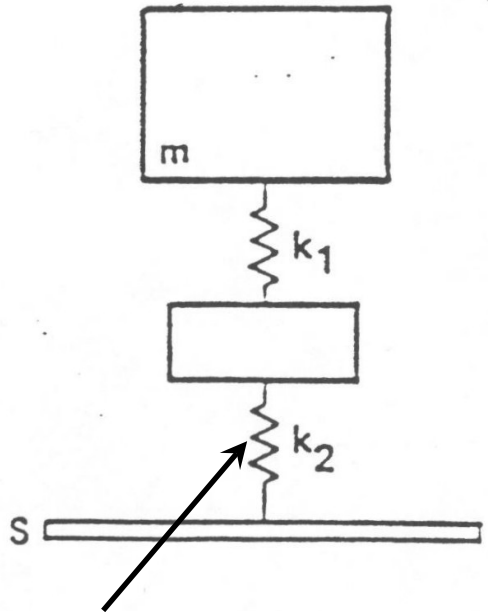


Sistema con Un solo Grado de Libertad

Model with Flexible Foundation

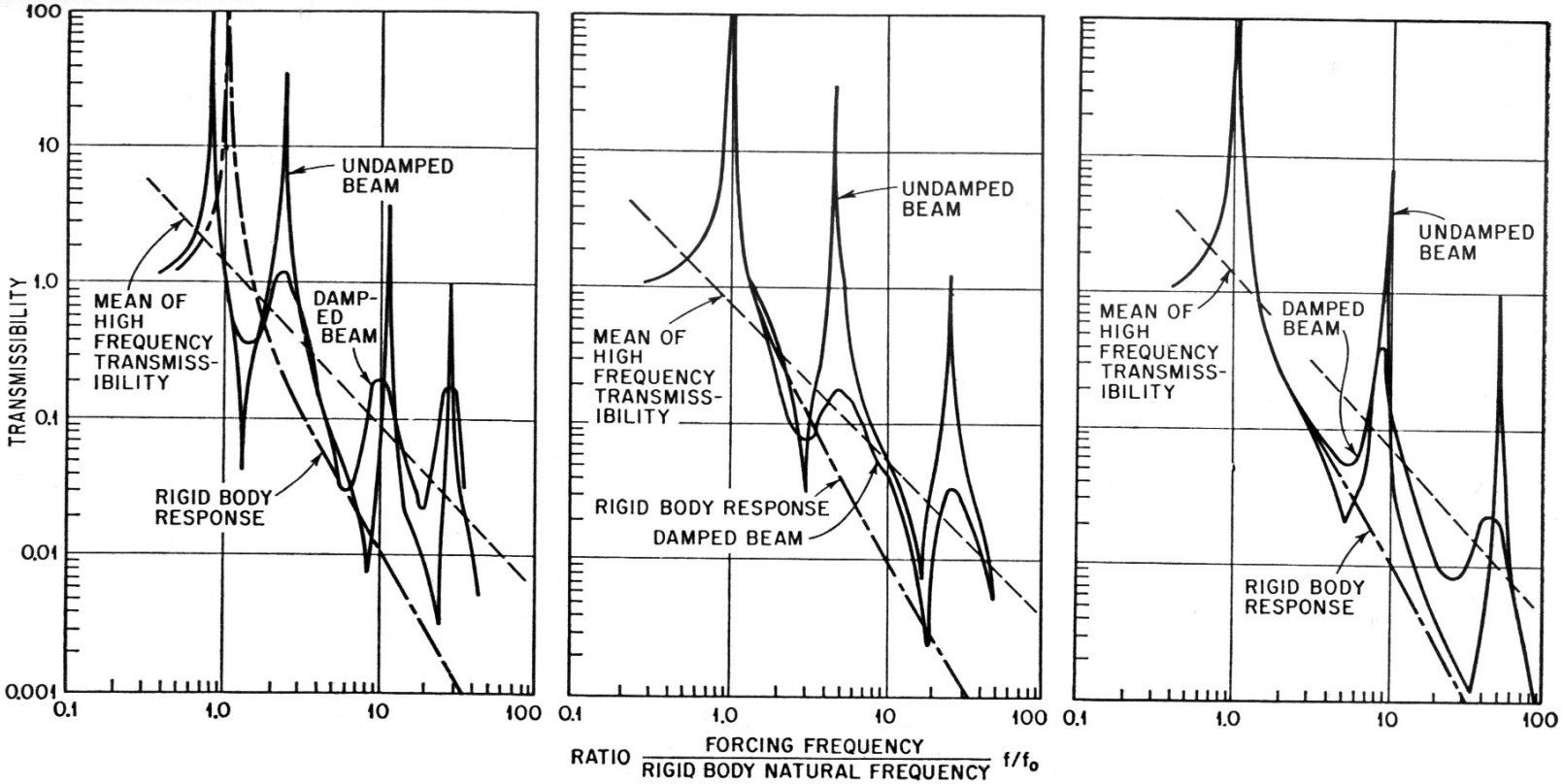


Sistema con Dos Grado de Libertad



Soporte "elástico" (techo) debajo de los resortes del ventilador

Sistema con Múltiples Grados de Libertad



Los Sistemas en la Realidad Tienen Muchas Frecuencias en los Cuales Puede Ocurrir la Amplificación de las Vibraciones

Características de Montajes Flexibles de Ventiladores

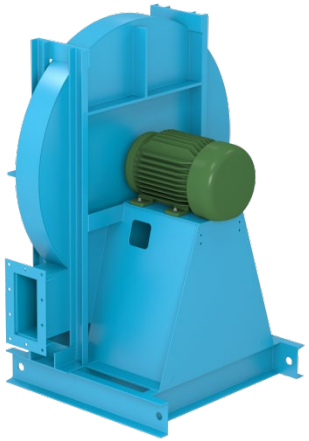
- Alta confiabilidad requiere de análisis sofisticado.
- La mayoría opera con transmisión de fuerzas mayores a las calculadas.
- La mayoría “funcionará” aún con problemas potenciales.
- La vibración en rodamientos será mayor (la mayoría permite tolerancias mayores).

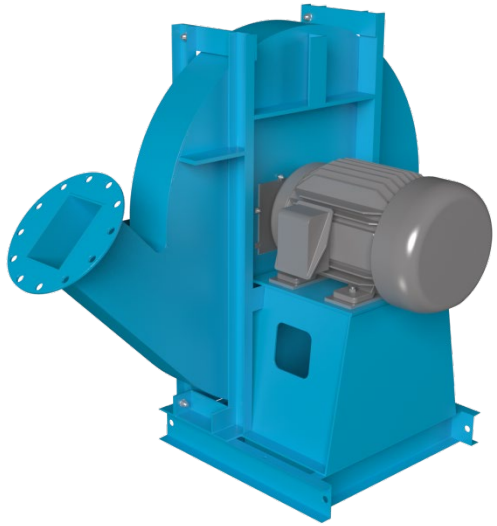
Ventiladores Montados en Techo

- Ventiladores montados en techo normalmente de forma rígida.
  - Los ventiladores con tiro deberán ser montados de forma rígida.
- Una baja rigidez en el techo pueden causar vibración al actuar como resorte.

Diseño de Cimentación Deseado

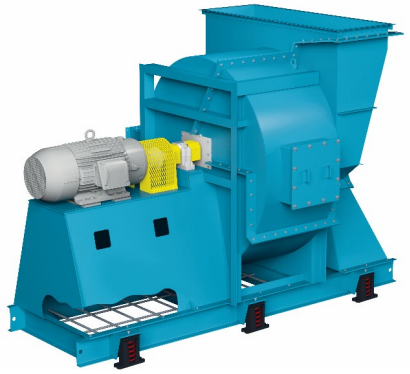
- Montaje rígido es el más confiable.
- Montaje de tipo flexible rara vez causa problemas.
- Bases de “resortes” de tipo no-inercia pueden causar problemas.
- En aplicaciones de baja potencia o no-críticas montar los resortes directamente al ventilador.





Otras Tolerancias de Vibración

- Vienen de diferentes fuentes, de diferentes formas y terminilogía variada.
  - Difíciles de interpretar
  - Puede ser muy difíciles o imposibles de cumplir debido a los requerimientos de baja amplitud.
  - Pueden incrementar de forma considerable el costo del ventilador.
- Los fabricantes de ventiladores recomiendan usar AMCA 204.



Tolerancias de Vibración Menores a las Estándar

- Nunca especificar demasiado bajos niveles de vibración a menos que sea absolutamente necesario.
- Incrementa el costo con un mínimo incremento en la vida del ventilador.

Conseguir Niveles Menores de Vibración

- Implica una mayor precisión de muchos de los componentes.
  - Mejor balanceo de todos los componentes rotatorios.
    - Rotor (balanceo del impulsor con su flecha), poleas, coples y motor
  - Flechas más derechas con tolerancias de diámetro y redondez mas precisas.
  - Rodamientos Premium de construcción especial.
  - Superficie de asiento de los rodamientos maquinadas.
  - Transmisión de poleas y bandas de calidad Premium e instalación de precisión.
  - Menor cabeceo y saltos del impulsor.
- Todas las modificaciones especiales añaden costo.

Lidiar con Especificaciones de Vibración Muy Bajas

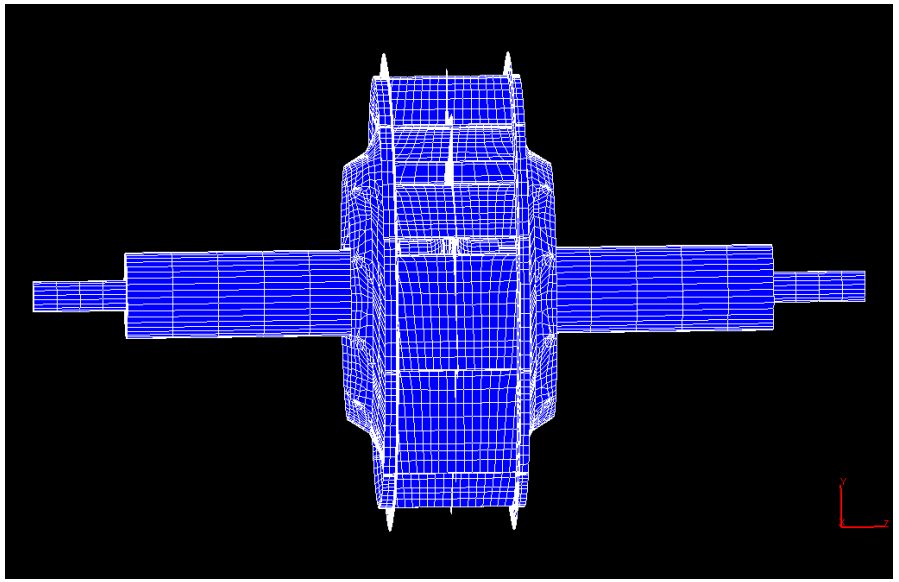
- Vibración filtrada (1X) más baja que que el estándar se puede conseguir con un mínimo de dificultad.
- Rangos globales o de “banda” de frecuencias pueden ser muy difíciles de conseguir.
- Los fabricantes de ventiladores normalmente solo se comprometen con niveles de vibración medidos en su planta.
  - Condiciones In Situ pueden tener generar efectos mayores.
  - Contratar servicio durante el arranque como parte del contrato.

Algunas Herramientas Avanzadas de Ingeniería

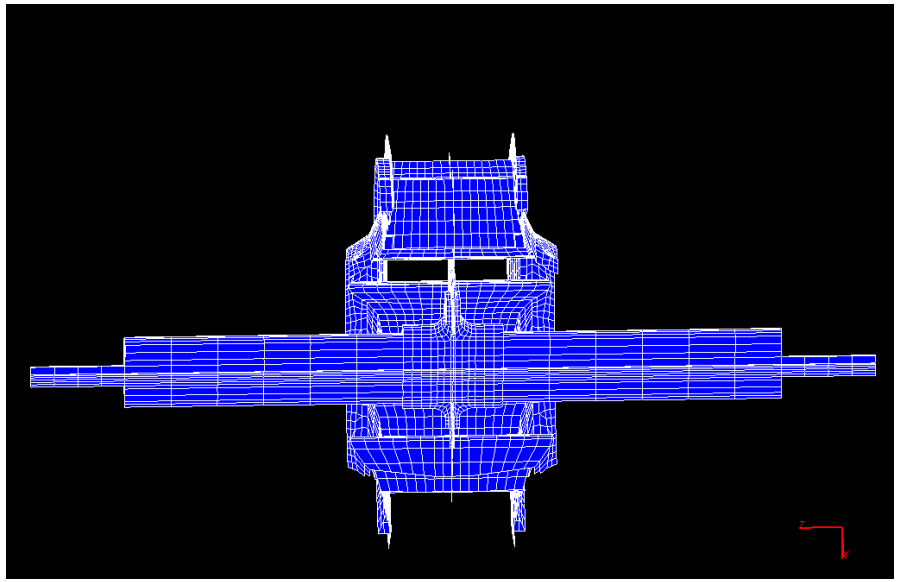
- Determinación de Frecuencias Naturales
  - Modelo FEA
  - Prueba de Golpe o Impacto
- Pruebas de Arranque / Paro
- Diagramas de cascada y análisis de ORDEN
- Análisis Modal, forma de modos
  - Modelado y animación FEA
  - Experimental – ODS (Formas de Deflexión Operacional)
  - Cámara de alta velocidad

Análisis de Elementos Finitos (FEA)- Modos de Vibración

Cabeceo de Disco o Modo Diametral

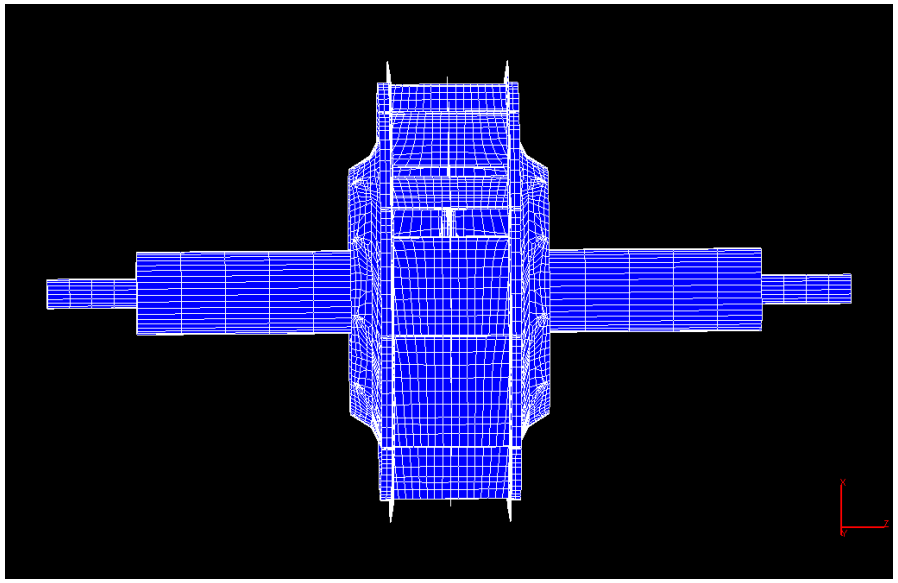


Modo Sombrilla

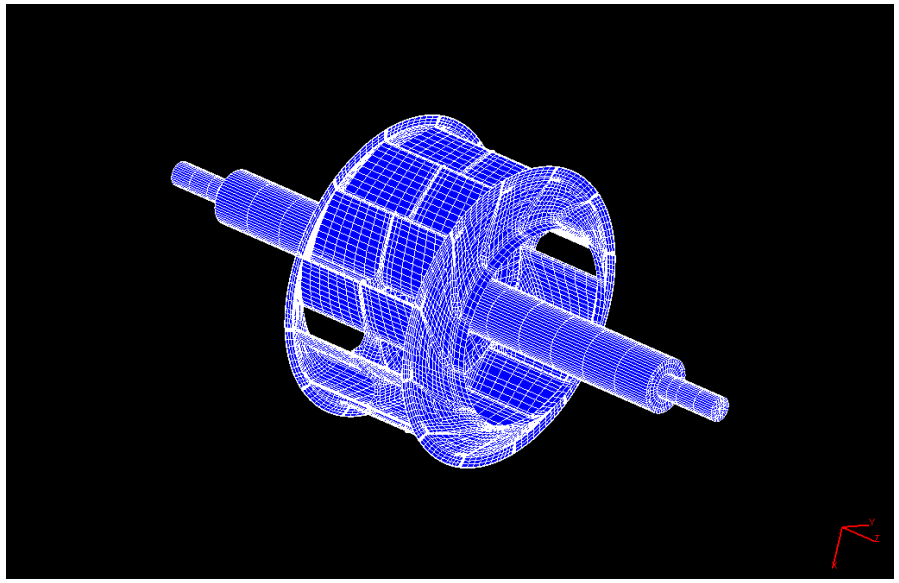


Análisis de Elementos Finitos (FEA)- Modos de Vibración

Modo Diametral de 2do Orden



Modo Torsional



Bump or Impact Tests to Validate FEA Models or Determine Natural Frequencies

Diam. Rotor Pulg.	Tamaño Mamelón Pulg.	Largo Aspa Pulg.	Num. Aspas	Ángulo Aspas grad.	RPM Max.	Frec. Max. Flecha Hz	Frec. Max. Paso Aspa Hz	Vel. Perifer. Fpm	Peso Rotor lbs	Peso Bruto lbs
59.9375	16	21.9688	5	35	796	13.3	66	12491	98	ND

Prueba 0	Golpe lateral en el marco [0] -- medición frente rodamiento [X]	solo montaje marco/estructura
Prueba 1	Golpe axial mitad aspa [1] -- medir en punta [A]	
Prueba 2	Golpe axial mamelón [2] -- medir en punta [A]	
Prueba 3	Golpe axial mitad aspa [1] -- medir en mamelón [B]	
Prueba 4	Golpe axial mamelón [2] -- medir en mamelón [B]	
Prueba 5	Golpe torsional aspa vertical [3] -- medir en punta aspa horizontal [C]	cuerpo libre torsional
Prueba 6	Golpe axial punta flecha [5] -- medir en punta [A]	cuerpo libre sombrilla
Prueba 7	Golpe -- medición (personalizada)	
Prueba 8	Golpe -- medición (personalizada)	
Prueba 9	Golpe -- medición (personalizada)	

PRUEBA DE GOLPE (FRECUENCIAS NATURALES, Hz)

Montaje Rígido					Personalizado			Cuerpo Libre					
Prueba 0	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
				16.21									
	16.98	16.98	16.98	16.98									
	18.88	18.88	18.88	18.88									
			22.13										
		34.71	34.71	34.71									
	49.02	49.02						49.59				49.59	
									49.78				49.78
	50.16	50.16						50.16					

Frecuencias Naturales Estructura

Frecuencias Naturales Aspa

Coast Down Plot

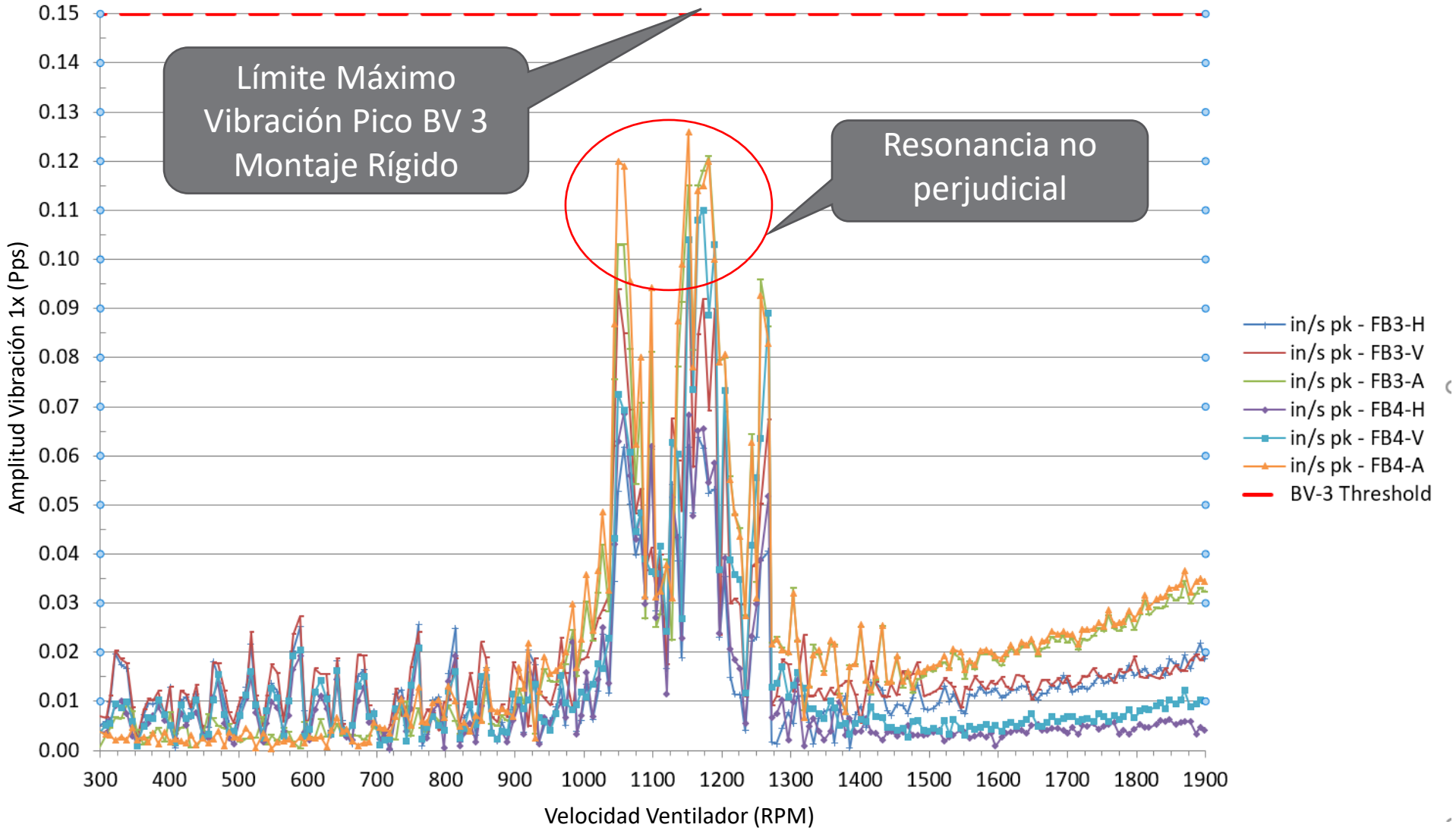
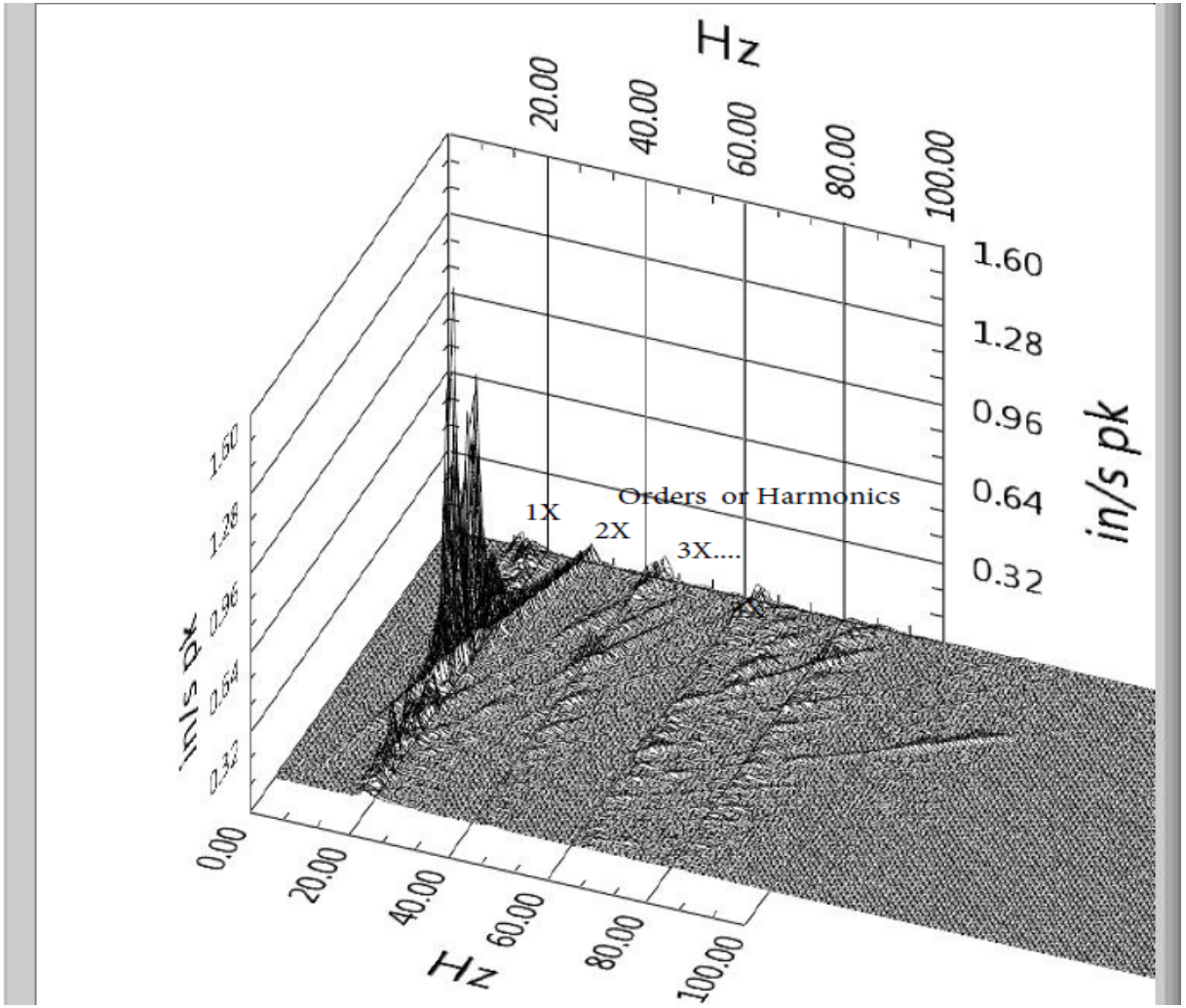


Gráfico de Cascada (orden)



Cámara Alta Velocidad: Visualizar Movimiento

- Basic Technology realiza Amplificación de movimiento y permite la medición del desplazamiento, velocidad y aceleración.
- Es muy útil para evaluar el origen de las causas de la vibración y nos da una idea de cómo solucionarlo / el como añadir masa o rigidez a la estructura.

Material de Referencia Adicional

- Twin City Fan FE-1900 - Vibration Isolation of Fans
- Twin City Fan FE-200 - Fan & Fan System Vibration
- Fan Engineering – By Robert Jorgensen, 1999 edition

Fuentes de Información

- **AMCA International**: *www.amca.org*
- **ANSI/AMCA Standards:** *www.amca.org/store (Disponible para compra)*
  - **> 204-20**: Balance Quality and Vibration Levels for Fans
- **AMCA Publications:** *www.amca.org/store (Disponible para compra)*
  - **> 202-17**: Troubleshooting

!Gracias por tu Atención!

Para recibir la acreditación PDH por la presentación de hoy, debe completar la evaluación en línea, que se enviará por correo electrónico al término de este seminario web.

Si ha participado en este seminario web como parte de un grupo y solo una persona se registró para acceder al mismo, envíe un correo electrónico a Lisa Cherney (lcherney@amca.org) para obtener una hoja de registro grupal hoy mismo. El registro deben ser enviado a Lisa, a más tardar, el día de mañana, 8 de abril.

Los créditos y certificados de participación PDH serán emitidos de forma electrónica en un plazo de 30 días, una vez que se comprueben todos los registros de asistencia y se reciban las evaluaciones en línea.

Los asistentes recibirán un correo electrónico a la dirección proporcionada en el registro, informando el número de horas acreditadas y un enlace para poder imprimir el certificado de participación.

¿Preguntas?

¡AGRADECIMIENTO A NUESTRO PATROCINADOR!

TCF

TWIN CITY FAN

Próximo Evento

Acompáñenos en nuestro próximo AMCA *insite* Webinar:

- Jueves, 9 de Junio
- 12:00-1:00pm CDT
- ***TEMA: Compuertas 101***
- Presentador: James Smardo, Gerente Nacional de Ventas-Compuertas y Ventas Arquitectónicas, Empresa Miembro de AMCA

>> Para mayor información sobre presentaciones y fechas vaya a: *www.amca.org/webinar*