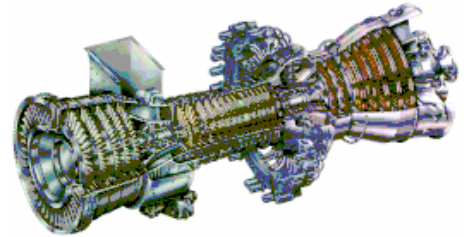


Desbalanceo Mecánico

El desbalanceo mecánico en elementos rotatorios (rotor) se ha convertido en un problema importante en el desarrollo de maquinaria moderna, especialmente en donde altas velocidades y la confiabilidad son de extrema importancia.



El desbalanceo mecánico es la fuente de vibración más común en sistemas con elementos rotativos, todo rotor mantiene un nivel de desbalanceo residual, el hecho de que estos generen vibraciones o no, dependen básicamente de que estos operen dentro de las tolerancias de calidad establecidas en las normas para las características y velocidades del rotor en cuestión.

El mantener el desbalanceo residual dentro de tolerancias permitirá:

- Evitar falla por fatiga en estructuras y elementos asociadas al elemento rotatorio,
- Incrementar la vida útil del sistema rotatorio y u o máquina,
- Ahorro de energía,
- Prevenir cargas excesivas en rodamientos debido a sobrecargas.

Apasionados por la Metrología

La Guía MetAs, es el boletín electrónico de difusión periódica de MetAs & Metrologos Asociados.

En *La Guía MetAs* se presentan: noticias de la metrología, artículos e información técnica; seleccionada por nuestros colaboradores, que deseamos compartir con Usted, colegas, usuarios, clientes, estudiantes, amigos y en fin, con todos aquellos interesados o relacionados con la metrología técnica e industrial.

Calle: Jalisco # 313. Colonia: Centro
49 000, Cd. Guzmán, Zapotlán El Grande, Jalisco, México
Teléfono & Fax: 01 (341) 4 13 61 23 & 4 14 69 12 con tres líneas
E-mail: laguiametas@metas.com.mx. Web: www.metas.com.mx

Servicios Metroológicos:

Laboratorio de Calibración:

Presión, Alto Vacío, Temperatura, Humedad, Eléctrica, Vibraciones, Masa, Densidad, Volumen y Óptica

Ingeniería:

Selección de Equipos, Desarrollo de Sistemas de Medición y Software, Reparación y Mantenimiento

Gestión Metroológica:

Subcontratación de Servicios, Outsourcing, Selección de Proveedores, Confirmación Metroológica

Consultoría:

Capacitación, Entrenamiento, Asesoría, Auditorías, Ensayos de Aptitud, Sistemas de Calidad

Causas del desbalanceo mecánico

Existe una gran cantidad de fuentes del desbalanceo mecánico en maquinaria rotativa, las más comunes son:



- ✦ Falta de homogeneidad en materiales, especialmente en fundiciones, en las cuales la presencia de burbujas de aire es una causa común de desbalanceo,
- ✦ Flechas flexionadas,
- ✦ Errores de maquinado y tolerancias en el proceso de manufactura,
- ✦ Cambio de componentes del rotor durante operaciones de mantenimiento,
- ✦ Desgaste irregular durante la operación de la máquina,
- ✦ Depósitos de material acumulados durante la operación de la máquina,
- ✦ Distorsión del rotor debida a gradientes de temperatura,
- ✦ Etc.

**Severidad depende de:
Geometría +
Velocidad +
Masa +
Planos C.**

Severidad del desbalanceo dinámico

Todo rotor posee un desbalanceo residual, La aplicación de una técnica matemática y de un equipo de medición para reducir al desbalanceo a sus más bajos límites de vibración, muchas veces resulta inapropiado y muy costoso, debido a eso surgen normas que satisfacen los requerimientos para asegurar el buen funcionamiento de estos elementos, en donde se conjuga el compromiso técnico y el económico.

Estas normas consideran elementos esenciales que habrán de tomarse en cuenta antes de seleccionar los criterios de aceptación del desbalanceo residual, algunas de estas consideraciones son:

1. Geometría propia del elemento rotatorio,
2. Velocidad de giro,
3. Masa inercial del elemento,
4. Planos de corrección.

Existen diversas normas para la obtención de límites de error (tolerancias) del desbalanceo residual (ver referencias), todas estas aplican de acuerdo a las características indicadas anteriormente.

En este caso mostraremos los límites de error (tolerancias) que aplican para rotores rígidos, la norma que aplica es la: ISO 1940-1:2003 Mechanical vibration - Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state - Part 1: Specification and verification of balance tolerances.

Relación entre desbalanceo permitido y la masa del rotor

En general, es tan grande el desbalanceo residual permitido en un rotor de gran masa, que sin embargo, el valor permisible residual U_{per} de un rotor de masa m en términos específicos, están dados por la siguiente fórmula:

$$U_{Per} = e_{Per} \cdot m$$

Si se considera que existen n geometrías de rotores, se puede establecer el caso especial donde todo desbalanceo presente en un rotor pueda ser reducido al sistema equivalente de un único desbalanceo, localizado en un plano transversal a lo largo de la flecha axial asumiendo un desbalanceo tipo cople igual a cero, se considera entonces que el e_{per} es un equivalente del desplazamiento permisible del centro de masa del rotor al eje axial de la flecha.

El producto

$$e_{per} \cdot \omega$$

**Determina el
Grado de
Calidad del
Balanceo**

Grados de calidad relativos a la velocidad de servicio y desbalanceo específico

La experiencia muestra que en general, para rotores del mismo tipo de e_{per} , este varía inversamente a la velocidad del rotor en el intervalo de velocidad mostrado en el diagrama 1, en donde para un determinado grado de calidad la relación está dada por la siguiente fórmula:

$$e_{per} \cdot \omega = \text{Constante}$$

Donde: ω es la velocidad angular del rotor a la máxima velocidad de servicio. Esta relación demuestra que, para un rotor geométricamente similar y girando a perímetros de velocidad semejantes, los esfuerzos en rodamientos y rotores son los mismos. La tabla de grados de calidad están basados en esta relación.

Cada grado de balanceo de calidad es mostrado en el diagrama 1 y contiene un intervalo de desbalanceo específico permisible, desde un límite inferior cero hasta un límite superior dado por la magnitud del producto de $(e_{per} \cdot \omega)$ expresado en mm/s. Los grados de calidad son designados de acuerdo al producto de la conexión. Si del producto de $e_{per} \cdot \omega$ es igual a 630 mm/s, el grado de calidad de balanceo es designado G 630.

Calidad Balanceo Grados G	$e_{per} \omega$ mm/s	Tipos de Rotor Ejemplos Generales
G 4000	4 000	Juego de ejes montados en motores marinos diesel lentos con diferente número de cilindros.
G 1600	1 600	Juego de ejes rígidos montados a maquinaria de dos ciclos.
G 630	630	Juegos de ejes rígidos montados en maquinaria de cuatro ciclos y rotores flexibles en motores diesel marinos.
G 250	250	Rotores rígidos rápidos, motores diesel de cuatro cilindros.
G 100	100	Rotores rápidos diesel con seis o más cilindros, gasolina o diesel para camiones y locomotoras.
G 40	40	Ruedas y aros de automóviles compactos.
G 16	16	Ejes de transmisión automotrices, partes de máquinas agrícolas y trituradoras.
G 6.3	6,3	Ejes de transmisión de requisitos especiales, rotores de maquinaria de procesamiento, envasadoras centrífugas, abanicos, volantes, bombas centrífugas, armaduras estándar de motores eléctricos, máquinas en general.
G 2.5	2,5	Turbinas, sopladores, generadores, armaduras de tamaño mediano y grande para requisitos especiales, bombas con unidad motriz de turbina.
G 1	1	Rotores de motores de reacción y sobrecargados, unidades motrices de grabadoras y tocadiscos.
G 0.4	0,4	Armaduras, ejes y molduras de máquinas esmeriladoras de precisión.

**Grados de
Calidad de:
Balanceo
Vs
Tipo de
Rotor**

Tabla 1. Para grupo representativo de rotores acordada por ISO 1940 y ANSI S2.19

Los grados de balanceo están separados uno respecto de otro por un factor de 2,5 veces. Un grado fino puede ser necesario en algunos casos, especialmente cuando la alta precisión de balanceo es requerida.

Ejemplo para determinar el desbalanceo residual permitido en un rotor

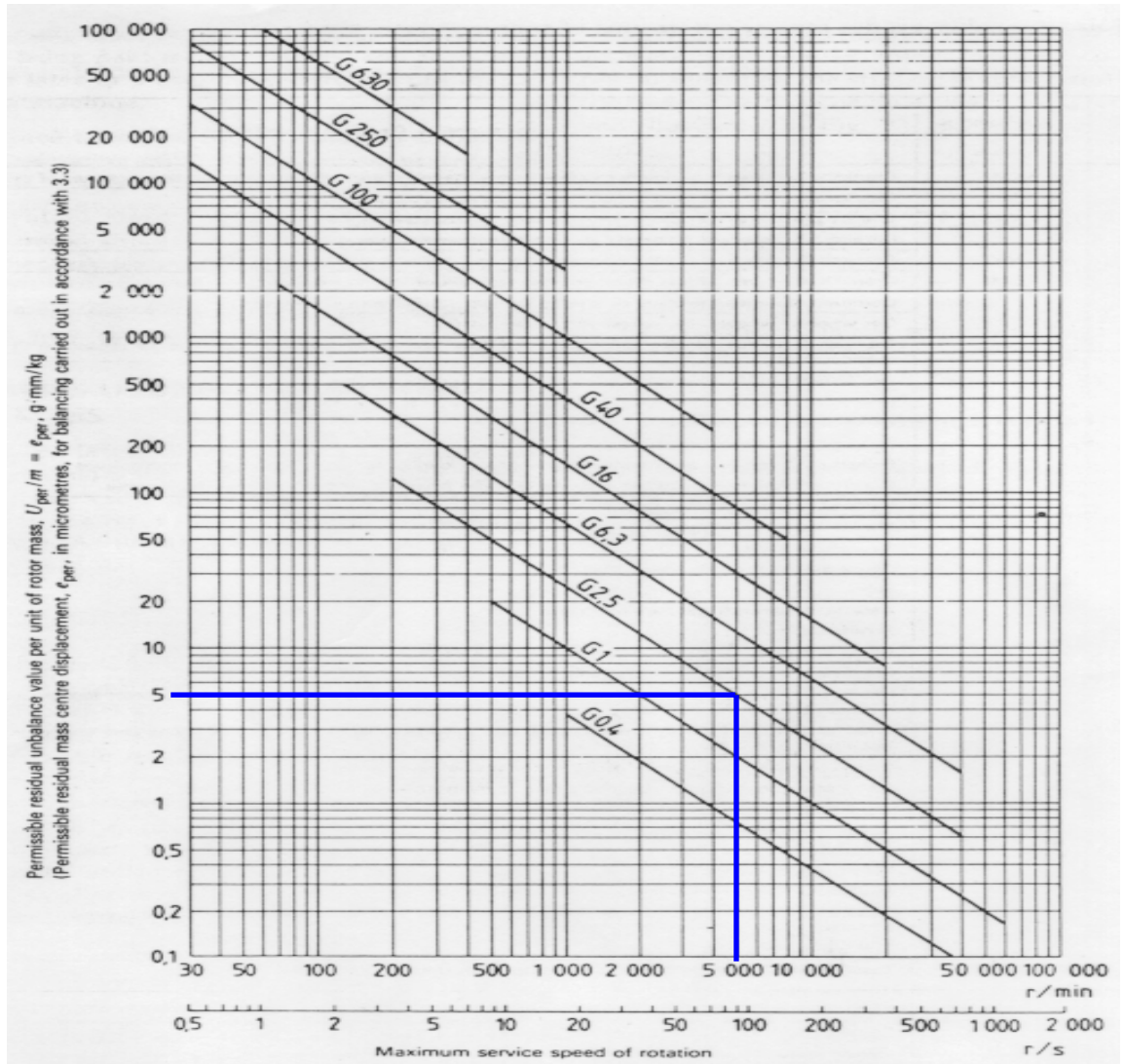


Diagrama 1. Límites para grados de calidad del desbalanceo residual de acuerdo a ISO 1940 Y ANSI S2.19.

Ejemplo de la determinación del desbalanceo residual utilizando el método anterior, datos:

Velocidad de operación = 5 000 min⁻¹,

Se supone un balanceo 2 planos,

Peso del rotor = 250 kg (*m*),

Grado de balanceo requerido = 2.5 (G),

Con los datos de velocidad y grado de balanceo requerido se encuentra en diagrama el valor de $e_{per} = 5$ g·mm/kg. (límite inferior),

Para determinar el desbalanceo específico se tiene que:

$$U_{per} = e_{per} m, U_{per} = 5 \cdot 250 = 1\,250 \text{ g}\cdot\text{mm}$$

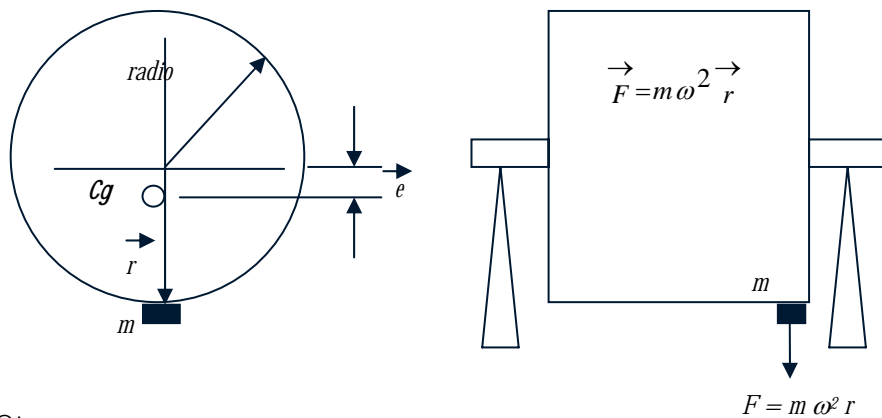
Como se tienen dos planos, $1\,250/2 = 625$ g·mm por plano.

Tipos de desbalanceo mecánico

Existen tres tipos de desbalanceo que están presentes en un sistema dinámico rotatorio, éstos se pueden clasificar como:

1. Desbalanceo estático

Es el caso más simple de desbalanceo, ocurre en un rotor uniforme de masa M montado en una flecha (rotor), cuando coincide su eje de rotación con su eje de simetría geométrica. Si una masa pequeña m se fija al rotor a una distancia r a partir del eje de rotación, entonces el rotor estará desbalanceado. La fuerza centrífuga generada por la masa m cuando el disco rota a una velocidad de ω , está dada por:



Donde:

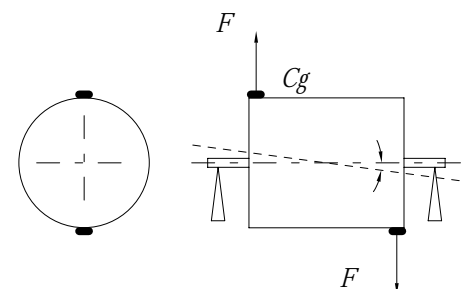
F es la fuerza equivalente a la fuerza generada por una excentricidad e , del centro de gravedad del rotor con respecto a su eje de rotación, M es la masa del rotor (kg),

e es la excentricidad del rotor (m, metros),

C_g es el centro de gravedad del rotor.

2. Desbalanceo cople o par

En el caso de un cilindro, como se muestra en la figura, es posible tener dos masas iguales, localizadas a una distancia igual del centro de gravedad, pero opuestas. En este caso el rotor está balanceado estáticamente, sin embargo las dos masas causan un cambio de orientación de los ejes de inercia principales centroidales. Este tipo de desbalanceo solo puede ser corregido tomando mediciones de vibración cuando el rotor esté trabajando y después hacer correcciones en dos planos.



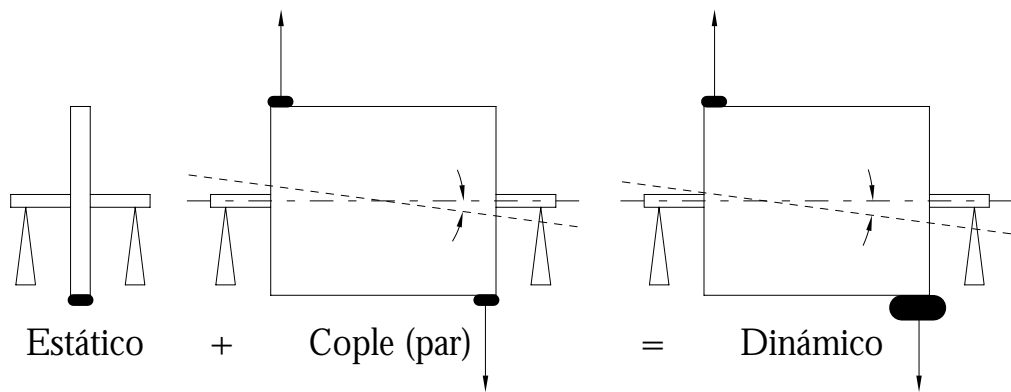
Tipos de desbalanceo en rotores rígidos

3. Desbalanceo dinámico

Normalmente el desbalanceo en un rotor es la combinación de desbalanceo estático y desbalanceo de cople, como se muestra en la figura. Para corregir el desbalanceo dinámico es necesario hacer mediciones de vibración mientras el rotor está trabajando y hacer correcciones en dos planos.

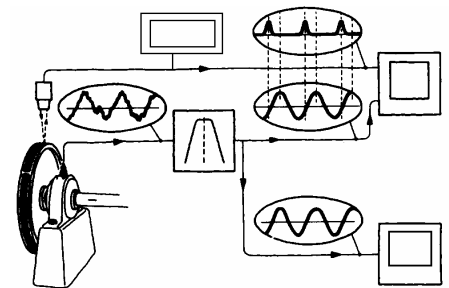
Lo anterior nos muestra de manera general los tipos de desbalanceo mecánico que podemos esperar en un sistema rotatorio, desafortunadamente la solución depende de una gran variedad de elementos que afectan las características propias de los elementos mecánicos al estar operando.

Principio básico para medir un desbalanceo residual en un rotor



Como medir el desbalanceo mecánico

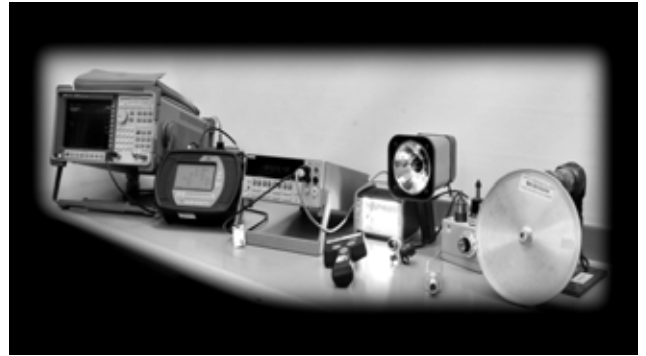
La magnitud del desbalanceo residual no puede ser obtenido por método directo, ésta es obtenida por medio de otras magnitudes, que son la de masa (g, gramos) y amplitud de vibración (μm , mm/s y m/s^2), y fase (0 a 360°).



Para llevar a efecto dicha medición se requiere de un equipo sencillo para medir *vibración* (A_o) y *velocidad del rotor* (ω_o) de cualquier equipo o máquina, en el cual se muestra un sensor óptico que envía un pulso eléctrico cada revolución del rotor para calcular su velocidad.

El acelerómetro genera una señal eléctrica proporcional a la aceleración del soporte del rotor, esta señal es filtrada a la frecuencia de operación del rotor para ser enviada a un medidor de vibración.

Un medidor de fase (ϕ_0) compara la señal del acelerómetro y la del sensor óptico para obtener el ángulo de fase entre estas dos señales.



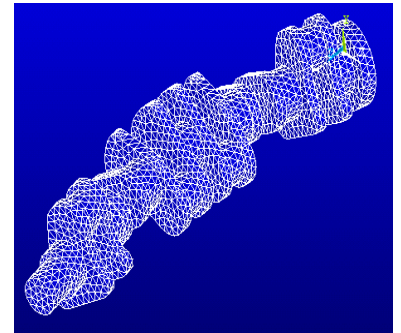
Una vez obtenidos los datos anteriores se procede a montar una masa de prueba m_p en el rotor y se hacen las mediciones de vibración (A_1) y velocidad del rotor (ω_1) para obtener el dato de fase (ϕ_1).

Conjuntando los datos, es posible calcular la magnitud y la posición de la masa que debe tener la masa de corrección para el balanceo del rotor. Para lo cual es necesario conocer bien los siguientes aspectos: Selección de la masa de prueba, cálculo de la posición de la masa de corrección, **aseguramiento de las mediciones** (calibración del instrumento) y montaje de la masa de corrección.

Midiendo el Desbalanceo Mecánico

Como corregir el desbalanceo mecánico

Existen una gran diversidad de algoritmos matemáticos que se utilizan para la corrección del desbalanceo residual, la aplicación de estos depende de las características propias del elemento a ser balanceado, y el lugar en donde se efectuará dicha corrección.



En MetAs & Metrólogos Asociados contamos con personal capacitado, para calibrar sus instrumentos de medición de vibraciones, así como para efectuar balanceos dinámicos "in-situ" para rotores rígidos y flexibles, usando técnicas de balanceo multiplanos con coeficientes de influencia.

REFERENCIAS

- ISO 1940-1. (2003). Mechanical vibration - Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state - Part 1: Specification and verification of balance tolerances.
- ISO 19499. (2007). Mechanical vibration. Balancing - Guidance on use and application of balancing standards.
- MetAs & Metrológos Asociados. (2005). Manual de curso de balanceo Dinámico.