

**ANÁLISIS VIBRACIONAL EN EQUIPOS ROTATIVOS Y
MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

**CAPÍTULO VIII
BALANCEO DINÁMICO**

ANÁLISIS VIBRACIONAL EN EQUIPOS ROTATIVOS Y MANTENIMIENTO PREDICTIVO

BALANCEO DINÁMICO

Introducción	8.5
Balanceo de rotores en un plano	8.8
Cálculos previos.....	8.9
Cálculo de la fuerza centrífuga.....	8.9
Corrección del desbalance en un plano (método gráfico).....	8.11
Práctica; de cálculo e instalación de pesos de corrección durante el proceso de balanceo.....	8.14
1. Puntos disponibles.....	8.14
2. Suma de pesos de corrección	8.16
Balanceo de rotores en voladizo	8.19
Cálculos previos.....	8.19
Cálculo de la fuerza centrífuga.....	8.20
Corrección del desbalance estático.....	8.21
Corrección del par dinámico.....	8.22
Balanceo Multiplanar	8.24
1. Lecturas iniciales.....	8.24

2. Instalación del peso de prueba – desbalance estático	8.25
3. Lecturas con peso de prueba	8.25
4. Corrección del desbalance estático	8.26
5. Corrección del par dinámico	8.27
Ejercicios	8.30
Bibliografía	8.31

BALANCEO DINÁMICO

INTRODUCCIÓN

El desbalance es una condición que existe en un rotor cuando una fuerza o movimiento vibratorio es transmitido a sus cojinetes como resultado de las fuerzas centrífugas, esta fuerza dependerá de la velocidad de rotación y de la cantidad de desbalance.

$$\text{Fuerza Centrífuga (Kg)} = 111.786 \times 10^{-10} (\text{m.g.R}) (\text{RPM})^2$$

$$F = 111.786 \times 10^{-10} W.R (\text{RPM})^2 \quad (1)$$

$m \text{ g} = W = \text{Peso en gramos (gr)}$.

$R = \text{Radio (cm)}$

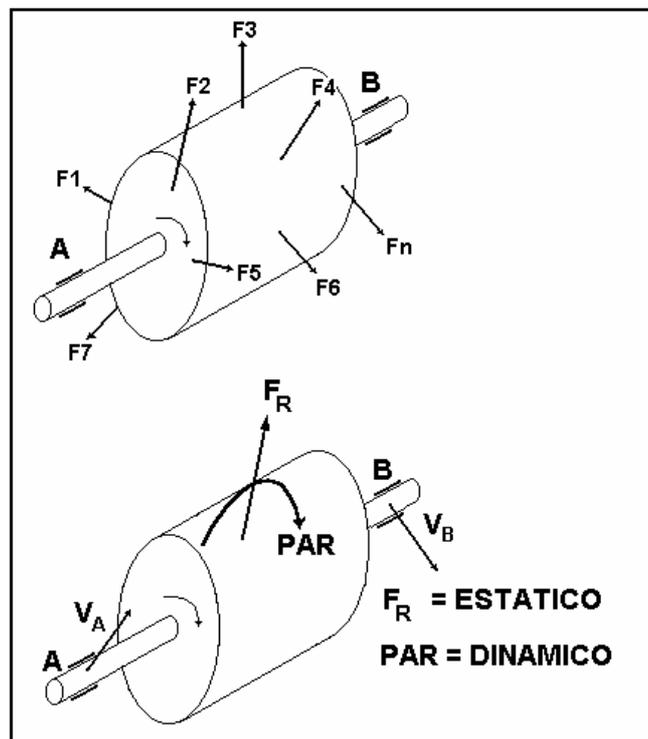


Figura 8.1 Las Fuerzas por Desbalance de un Rotor son Equivalentes a una Fuerza Estática y a un Par Dinámico

La cantidad de desbalance se expresa con el producto $m R$ (gr masa - cm), puede convertirse a otro radio variando la masa de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{Desbalance} = m_1 R_1 = m_2 R_2 = \dots = m_1 R_1 \quad (2)$$

En las ecuaciones (1) y (2) se observa que la fuerza centrífuga es función del cuadrado de la velocidad de rotación del rotor y directamente proporcional al desbalance.

La sumatoria de todas las fuerzas radiales producto de una distribución desigual del peso del rotor con respecto a su centro de rotación es igual a una fuerza resultante ($F_R = \text{Estático}$) y a un momento (par dinámico). La fuerza estática (F_R) se transmite a los apoyos A y B, en la misma dirección y sentido, el par dinámico se transmite también a los apoyos A y B con fuerzas de igual magnitud pero de sentido contrario. La sumatoria de las dos fuerzas por efecto estático y por efecto dinámico tanto en el apoyo A como en el B, causan vibraciones, tal como se indica en la figura 8.1.

Al graficar en un diagrama polar las vibraciones V_A y V_B podemos descomponer en:

Una vibración (V estática); por efecto de la fuerza estática F_R .

Dos vibraciones (PAR_A y PAR_B), por efecto del par dinámico (ver figura 8.2)

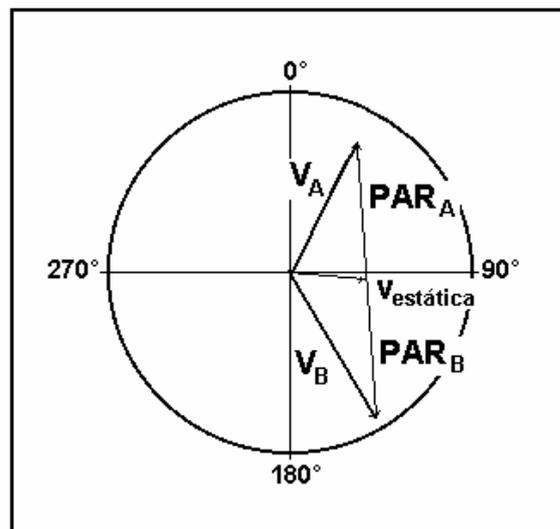


Figura 8.2 Descomposición de las Vibraciones en los Apoyos A y B en una Vibración Estática y un Par Dinámico

En este gráfico polar, considerando las magnitudes de las vibraciones estática y dinámica, podemos determinar que tipo de desbalance es el más importante; si el par dinámico es despreciable entonces el desbalance estático es el más importante y el rotor puede ser balanceado utilizando el procedimiento de balanceo para un solo plano y si ambos son importantes entonces el rotor debería ser balanceado en dos planos.

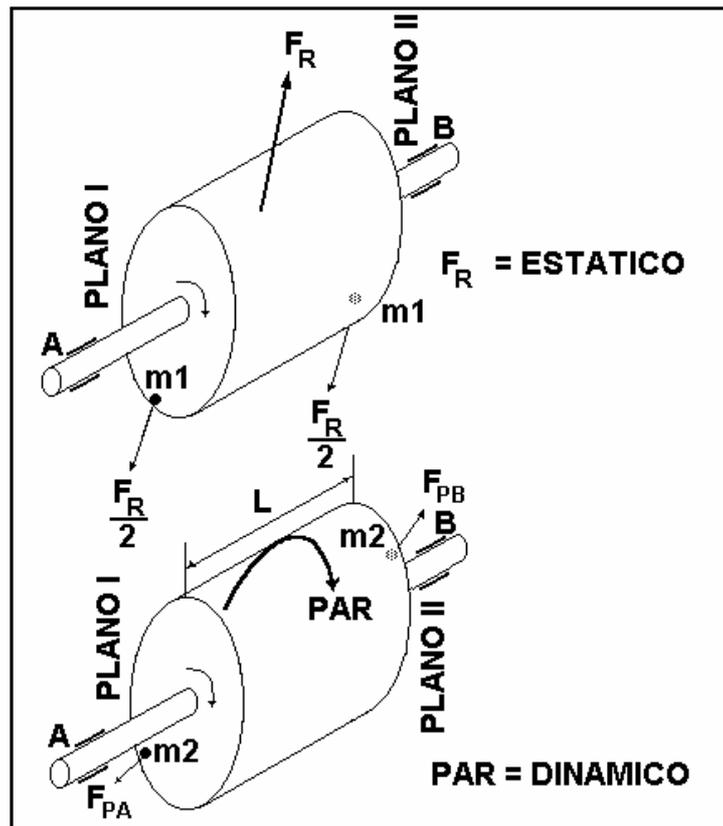


Figura 8.3 Eliminación de las Fuerzas Estática y Dinámica con Adición de Masas

El desbalance estático puede ser eliminado instalando dos pesos de corrección en los planos I y II (son iguales si están ubicadas a un mismo radio), tal como se indica en la figura 8.3, que ambas generan una fuerza centrífuga igual y opuesta a la fuerza estática (F_R).

El desbalance dinámico puede ser eliminado instalando dos masas ubicadas una de otra a 180° en los planos I y II, que producen un momento o par opuesto al par dinámico.

BALANCEO DE ROTORES EN UN PLANO

Este tipo de rotores es común en; engranajes, bombas, poleas, volantes, turbinas, etc., para balancear estos rotores hay que seguir el siguiente procedimiento:

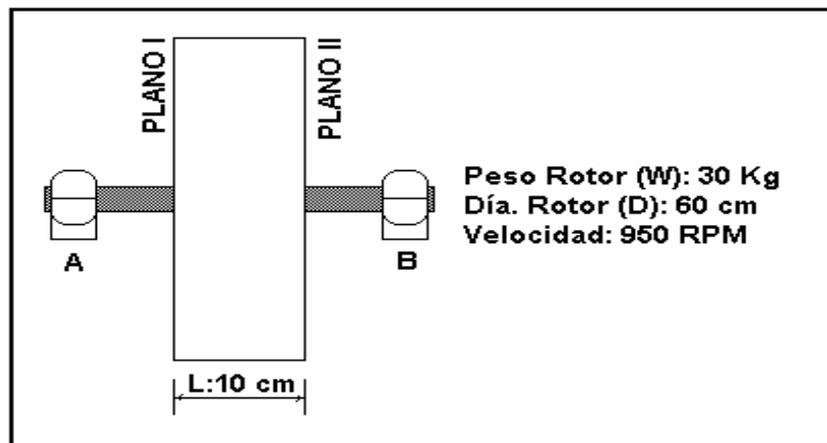


Figura 8.4 Rotor con dos Apoyos y dos Planos para Balancear

Las amplitudes y ángulos de fase de las vibraciones iniciales del rotor son:

$$V_{AO}: 12 \text{ a } 25^\circ \quad V_{BO}: 12,3 \text{ a } 27^\circ$$

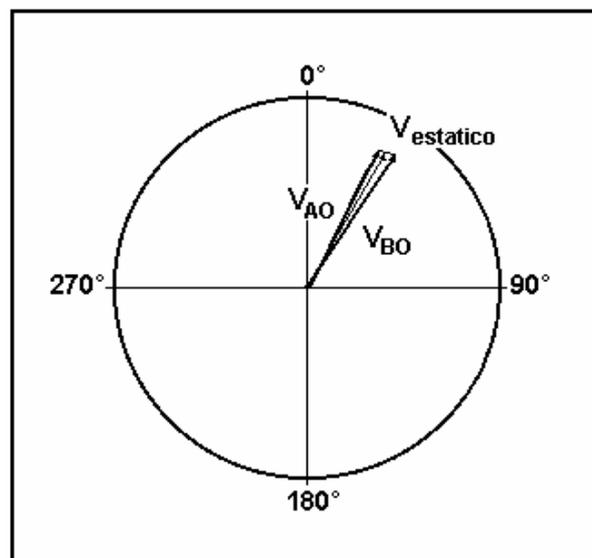


Figura 8.5 Gráfico Polar de las Vibraciones

Para decidir en cuantos planos balancear, es necesario graficar las vibraciones de ambos apoyos en un diagrama polar, en la figura 8.5 se observa que el desbalance estático es más significativo que el par dinámico; por lo tanto, se debe balancear en un solo plano.

CÁLCULOS PREVIOS

Selección del Peso de Prueba

Para calcular el peso de prueba, se considera que; cada apoyo soporta 50% del peso del rotor o sea $W = 15 \text{ Kg}$, entonces el peso de prueba debe ser seleccionado de tal manera que genere una fuerza centrífuga igual al 20% de su carga estática,

$$\text{Peso de Prueba} = PP \text{ (gr)} = 35782656 W / (\text{RPM}^2 D)$$

$$\text{Peso de Prueba} = 35782656 \times 15 / (950^2 \times 60) = 9.91 \text{ gr}$$

$$\text{Peso de Prueba} = 9.91 \text{ gr}$$

CÁLCULO DE LA FUERZA CENTRÍFUGA

Para comprobar, si es correcto el peso de prueba calculado; es necesario calcular la fuerza centrífuga que genera dicho peso y debe ser igual o menor que el 20% de la carga que soporta el apoyo.

$$\text{Fuerza Centrífuga} = 55.893 \times 10^{-10} (PP) D \text{ RPM}^2$$

$$\text{Fuerza Centrífuga} = 55.893 \times 10^{-10} \times 9.91 \times 60 \times 950^2 = 3 \text{ Kg}$$

$$\text{Fuerza Centrífuga} = 3 \text{ Kg}$$

Como 3 Kg es igual al 20% del peso que soporta el apoyo (15 Kg); entonces el peso de prueba seleccionado es correcto y no existirá ningún riesgo de alta vibración en el equipo por error en la selección del peso de prueba.

Antes de proceder a efectuar las pruebas de balanceo se debe escoger un punto de referencia, para el rotor; el técnico balanceador siempre observará del lado derecho, tal como se indica en la figura 8.6.

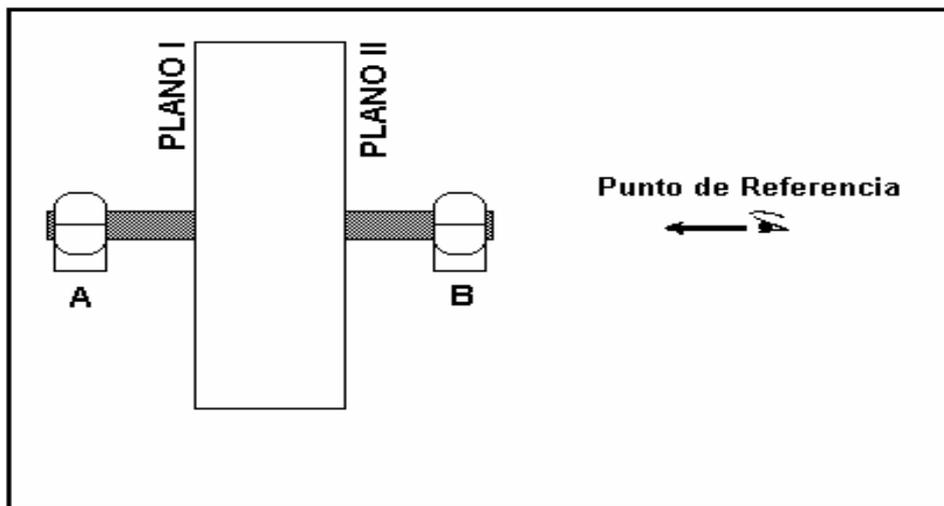


Figura 8.6 Punto de Referencia del Balanceador con Respecto al Rotor

Las coordenadas polares fijas al rotor, para cada uno de los planos es la siguiente:

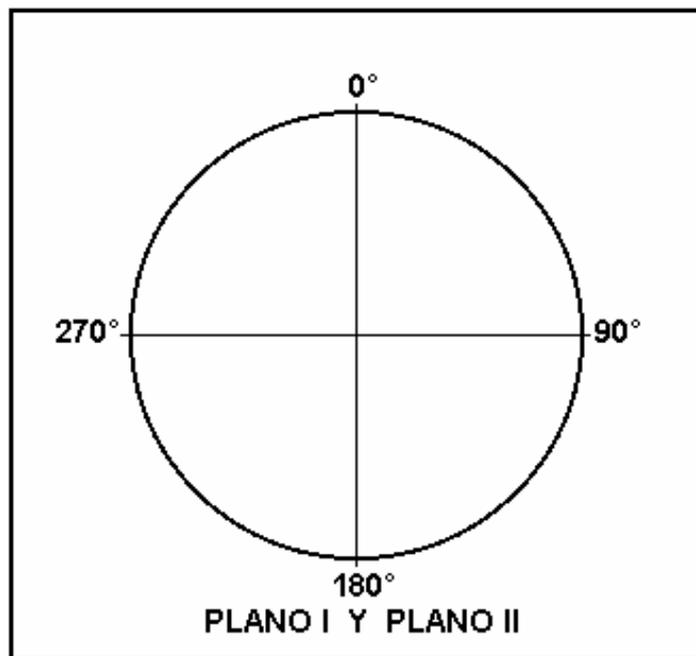


Figura 8.7 Coordenadas Polares Fijas al Rotor, Visto desde el Punto de Referencia

CORRECCIÓN DEL DESBALANCE EN UN PLANO (METODO GRÁFICO)

Eliminar el desbalance en un solo plano, significa calcular el peso de corrección a partir de las lecturas de uno de los apoyos, por ejemplo el B y se corrige en el plano más conveniente por ejemplo el Plano II (PL:II).

1. Tomar la vibración inicial en B y graficar a escala en coordenadas polares, tal como se indica en la figura 8.8:

V_{BO} : 12.3 a 27°

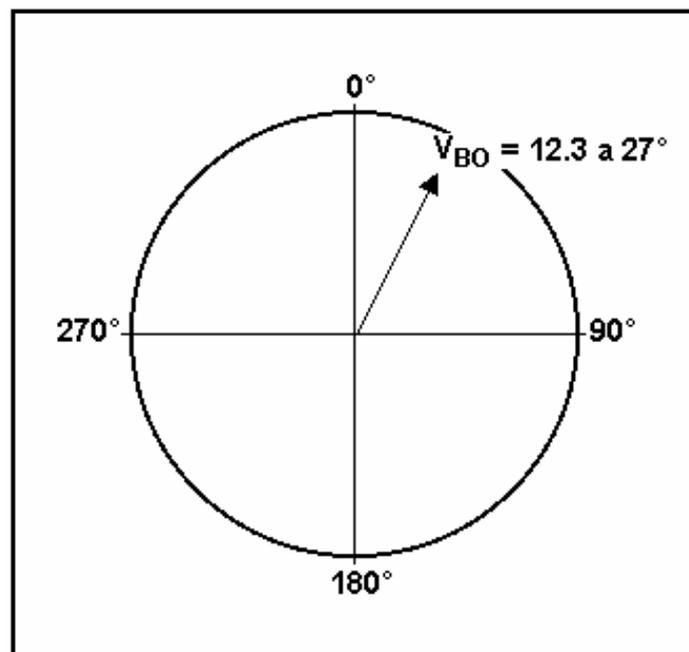


Figura 8.8 Gráfico a Escala de la Lectura Inicial V_{BO} en un Diagrama Polar

2. Colocar un peso de prueba en el Plano II (PL:II).

PP_{II} : 9.91 gr a 0°

3. Tomar la vibración en B, con el peso de prueba y graficar a escala en las coordenadas polares, tal como se indica en la figura 8.9:

V_{BO+TII} : 15 a 225°

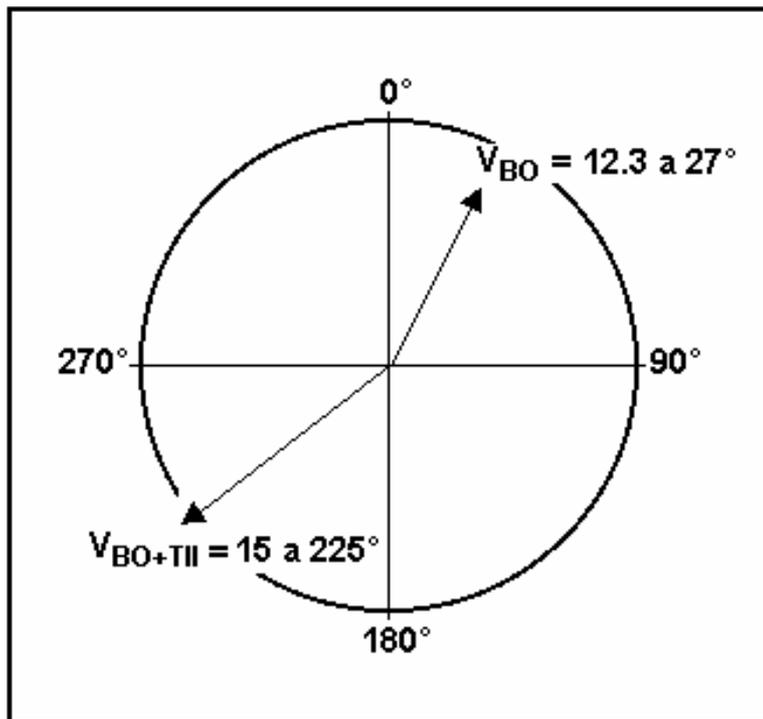


Figura 8.9 Gráfico a Escala de la Lectura de la Primera Prueba V_{BO+TII} en un Diagrama Polar

4. Cálculo del Peso de Corrección del desbalance, se traza un vector del extremo del vector V_{BO} al extremo del vector V_{BO+TII} y se le llamará vector V_{TII} , tal como se indica en la siguiente figura 8.10:

4.1 Magnitud de V_{TII} : 26.97

4.2 Cálculo del peso de corrección:

$$\text{Peso de Corrección (P.C.)} = PP_{II} V_{BO} / V_{TII}$$

$$\text{Peso de Corrección (P.C.)} = 9.91 \times 12.3 / 26.97$$

$$\text{P.C.: } 4.52 \text{ gr}$$

4.3 Medir el ángulo entre los vectores V_{BO} y V_{TII} : 9.9°

- 4.4 Aplicar la Regla de Ubicación del Peso de Corrección: V_{BO} ha variado por efecto del peso de prueba a V_{BO+TII} y el giro del vector ha sido antihorario; entonces el ángulo de corrección de 9.9° será en sentido horario (siempre es en sentido contrario) a partir de la posición del peso de prueba y visto desde el punto de referencia del balanceador.

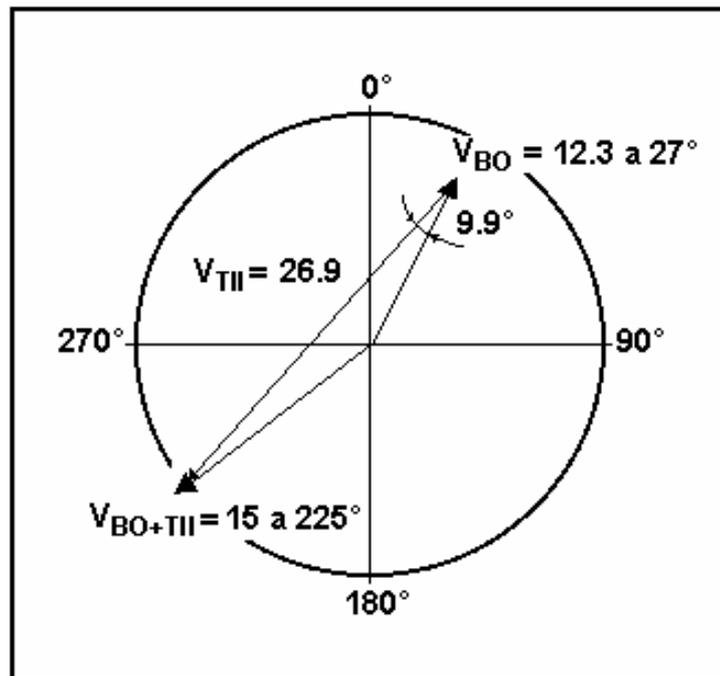


Figura 8.10 Método Gráfico para Hallar la Magnitud y Orientación Relativa del Vector Producto del Peso de Prueba

5. Toma de vibraciones de comprobación; Sí las vibraciones en el apoyo B no han disminuido apreciablemente, afinar el balanceo considerando;

V_{BO} : 12.3 a 27°

PP_{II} : 4.52 gr. a 9.9°

V_{BO+TII} : Toma de comprobación

PRÁCTICA DE CÁLCULO E INSTALACIÓN DE PESOS DE CORRECCIÓN
DURANTE EL PROCESO DE BALANCEO

1. PUNTOS DISPONIBLES

Cuando se tiene un rotor, por ejemplo un acoplamiento con 6 pernos ubicados a 60° cada uno y se desea colocar un Peso de Corrección de 20 gramos a un ángulo de 75° , tal como se indican en la figura 8.11, es necesario descomponer el Peso de Corrección en dos pesos ubicados en los puntos disponibles más cercanos.

Hay calculadoras programadas para descomponer un vector resultante en dos componentes ubicados en ángulos disponibles si no se tiene se puede solucionar gráficamente, tal como se indica en las figuras 8.12, 8.13 y 8.14.

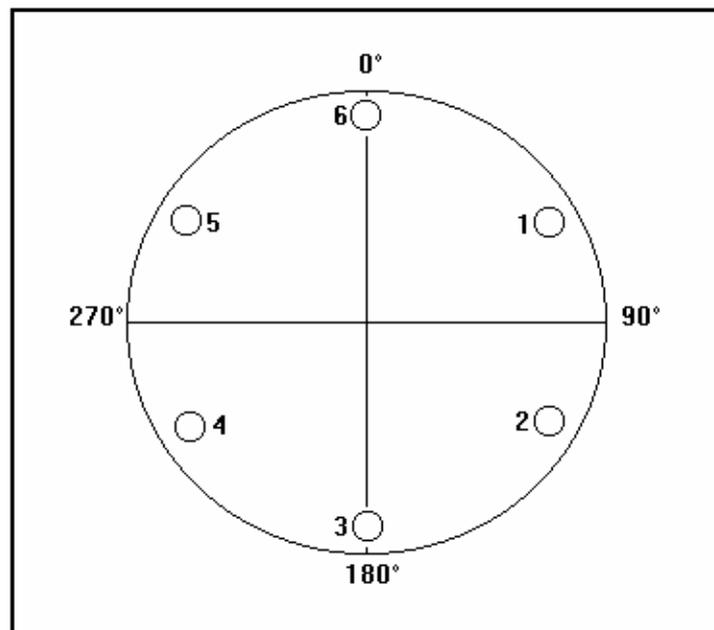


Figura 8.11 Gráfico Polar, se Indica las Seis Posiciones Disponibles para Ubicar los Pesos de Corrección.

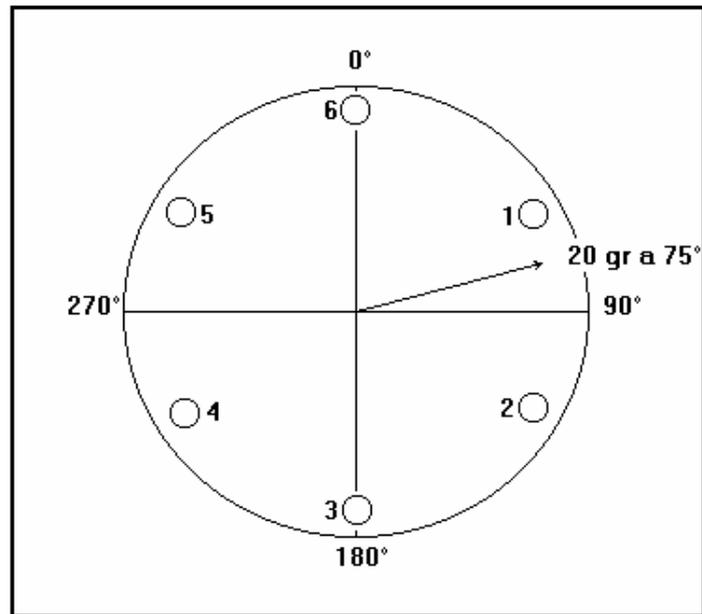


Figura 8.12 Peso de Corrección Representado por un Vector Resultante (magnitud y ángulo)

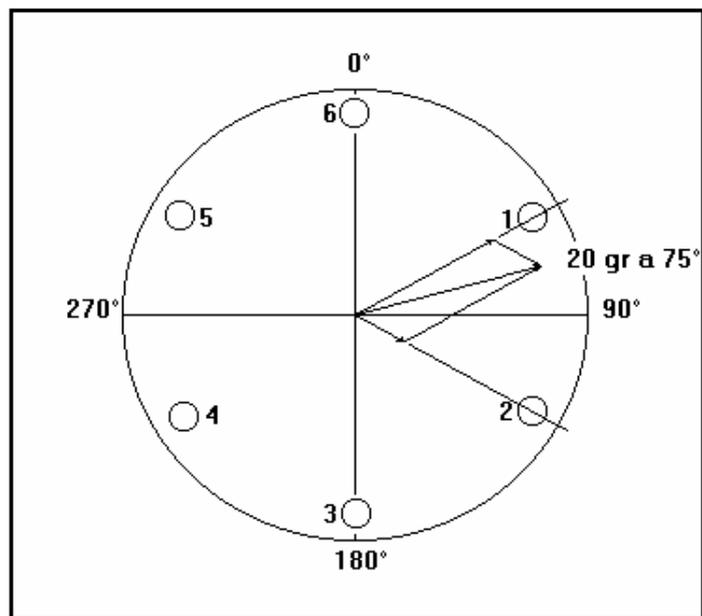


Figura 8.13 Trazar un Paralelogramo a Partir del Extremo del Vector Resultante

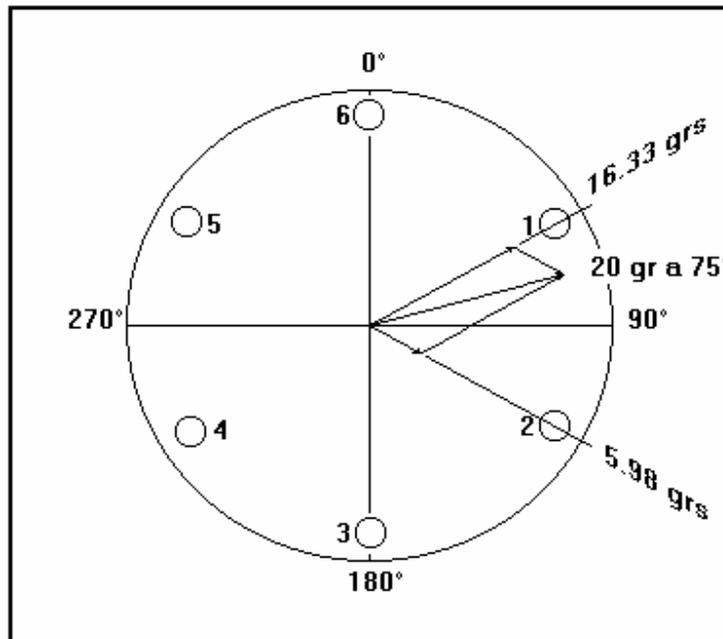


Figura 8.14 Medición de los Componentes Ubicados en las Posiciones Disponibles

2. SUMA DE PESOS DE CORRECCIÓN

Al afinar el balanceo de un rotor es común tener mas de dos pesos en un mismo plano, si es una turbina hay que quitar peso y la calidad del trabajo se observa en la presentación de la corrección si hay varios puntos donde se ha quitado peso el trabajo es de mala calidad; por lo tanto es deseable tener un solo peso de corrección equivalente.

Por ejemplo, se tienen los siguientes pesos de corrección; 20 gramos a 0° , 10 gramos a 30° y 5 gramos a 45° , tal como se indican en la figura 8.15, es necesario hallar el Peso de Corrección resultante y su posición angular. Hay calculadoras programadas para hallar el vector resultante; si no se tiene, se puede solucionar gráficamente, tal como se indican en las figuras 8.16, 8.17 y 8.18.

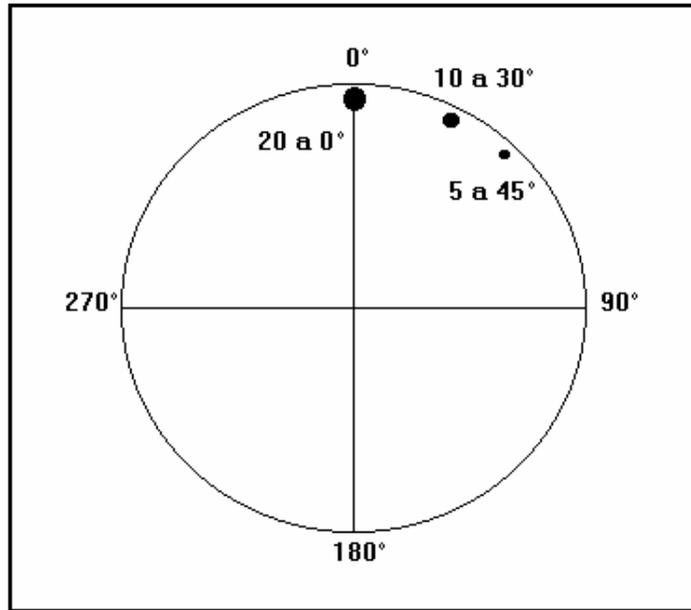


Figura 8.15 Tres Pesos de Corrección que Serán Combinados en un Equivalente

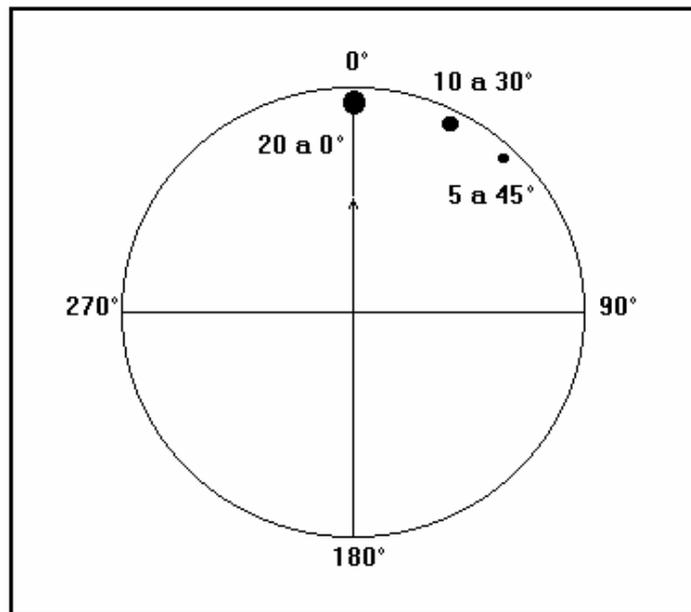


Figura 8.16 Trazar el Primer Peso de Corrección 20 Gramos a 0° Como un Vector a Escala

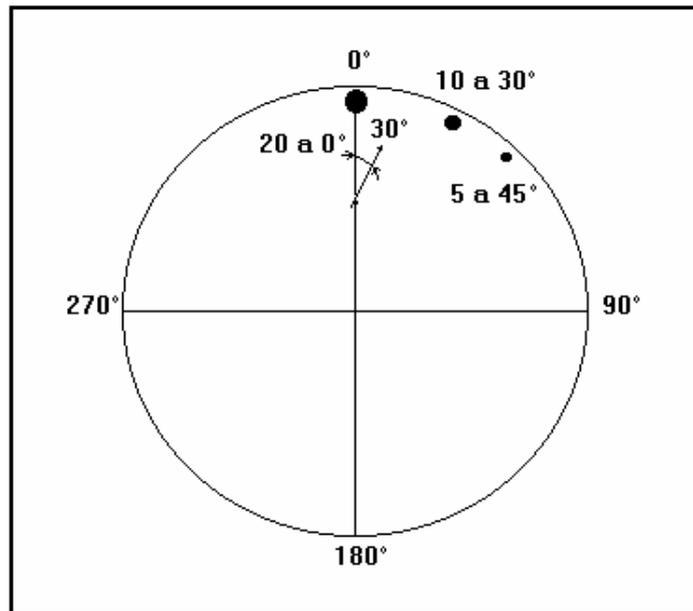


Figura 8.17 Trazar el Segundo Peso de Corrección 10 Gramos a 30° como un Vector a Escala y a Partir del Extremo del Primer Peso de Corrección

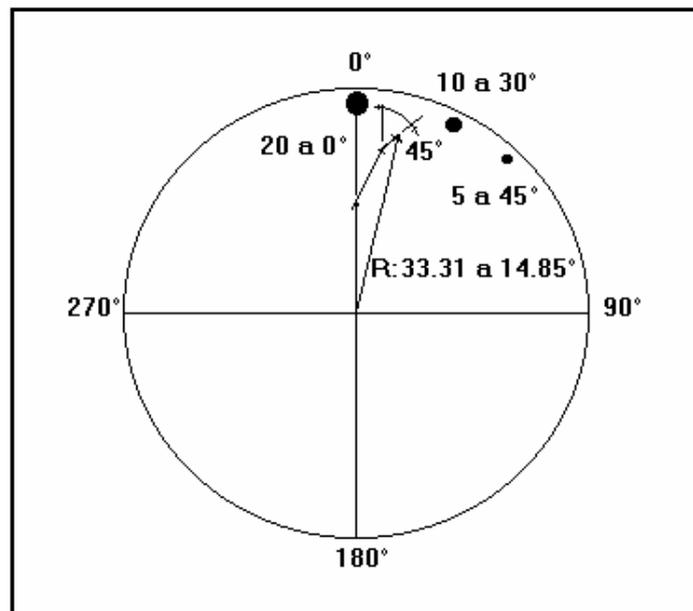


Figura 8.18 Trazar el Tercer Peso de Corrección 5 Gramos a 45° Como un Vector a Escala, a Partir del Extremo del Segundo Peso de Corrección y Trazar el Vector Resultante "R"

BALANCEO DE ROTORES EN VOLADIZO

Este tipo de rotores es común en; ventiladores y bombas. Ha veces es difícil balancear este tipo de rotores debido al efecto cruzado, para balancear estos rotores ha que seguir el siguiente procedimiento:

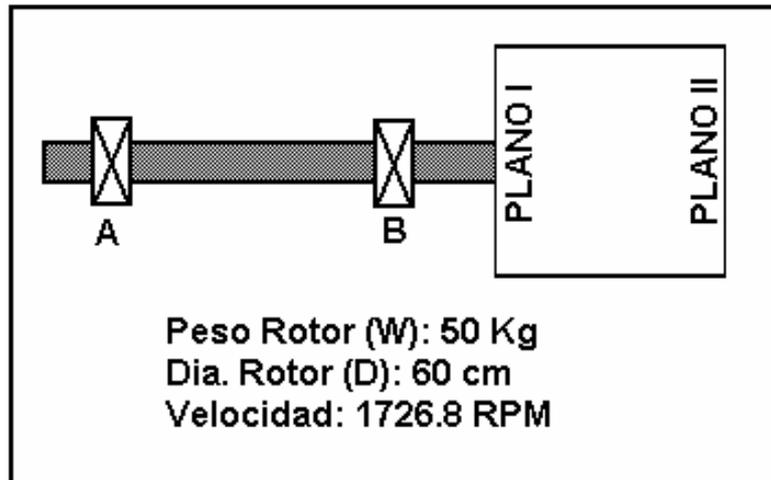


Figura 8.19 Rotor en Voladizo con dos Apoyos y dos Planos para Balancear

Nota: El diámetro D es medido en el perímetro donde se van a instalar o quitar los pesos de corrección y el peso del rotor es total incluido el eje.

Por ejemplo, las vibraciones iniciales de un rotor en voladizo que deseamos balancear son las siguientes:

$$V_{AO}: 15 \text{ a } 25^\circ \quad V_{BO}: 20 \text{ a } 145^\circ$$

CÁLCULOS PREVIOS

Selección del Peso de Prueba

Para calcular el peso de prueba se considera el apoyo más cargado, en rotores en voladizo, el apoyo B es el que soporta todo el peso del rotor, entonces el peso de prueba debe ser seleccionado de tal manera que genere una fuerza centrífuga igual al 20% de su carga estática.

$$\text{Peso de Prueba} = PP \text{ (gr)} = 35782656 W / (\text{RPM}^2 D)$$

$$\text{Peso de Prueba} = 35782656 \times 50 / (1726.8^2 \times 60) \text{ gr}$$

$$\text{Peso de Prueba} = 10 \text{ gr}$$

CÁLCULO DE LA FUERZA CENTRÍFUGA

Para comprobar, si es correcto el peso de prueba calculado; es necesario calcular la fuerza centrífuga que genera dicho peso y debe ser igual o menor que el 20% de la carga que soporta el apoyo más cargado.

$$\text{Fuerza Centrífuga} = 55.893 \times 10^{-10} (PP) D \text{ RPM}^2 \text{ Kg}$$

$$\text{Fuerza Centrífuga} = 55.893 \times 10^{-10} \times 10 \times 60 \times 1726.8^2 = 10 \text{ Kg}$$

$$\text{Fuerza Centrífuga} = 10 \text{ Kg}$$

Como 10 Kg es igual al 20% del peso que soporta el apoyo B (50 Kg); entonces el peso de prueba seleccionado es correcto y no existirá ningún riesgo de alta vibración en el equipo por error en la selección del peso de prueba. Antes de proceder a efectuar las pruebas de balanceo se debe escoger un punto de referencia, para el rotor en voladizo; el técnico balanceador siempre observará el lado derecho, tal como se indica en la figura 8.20.

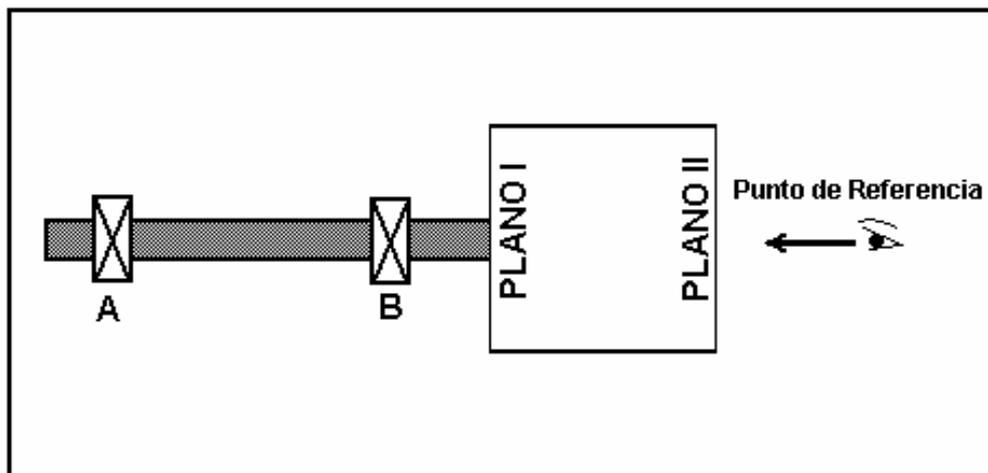


Figura 8.20 Punto de Referencia del Balanceador con Respecto al Rotor

Las coordenadas polares fijas al rotor, en cada uno de los planos son las siguientes:

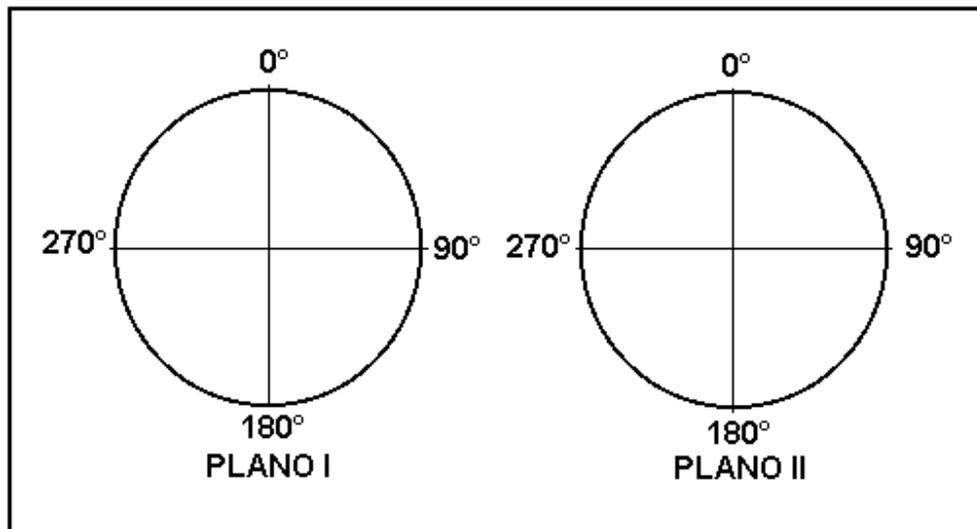


Figura 8.21 Coordenadas Polares Fijas al Rotor en los Planos I y II Visto desde el Punto de Referencia

CORRECCIÓN DEL DESBALANCE ESTÁTICO

Eliminar el desbalance estático (un solo peso) en rotores en voladizo, significa calcular según el procedimiento de balanceo en un plano, los pesos de corrección a partir de las lecturas del apoyo B y se corrigen en el plano más cercano (PL:I).

1. Colocar un peso de prueba en el plano (PL:I).

$$PP_i: 10 \text{ gr a } 0^\circ$$

2. Toma de vibraciones en el apoyo B.

$$V_{BO+TI}: 18 \text{ a } 270^\circ$$

3. Cálculo del Peso de Corrección del desbalance estático.

$$P.C.(PL:I): 5,93 \text{ gr a } 334.07^\circ$$

Toma de vibraciones de comprobación; Sí las vibraciones en el apoyo B no han disminuido apreciablemente, afinar el balanceo considerando;

V_{BO} : 20 a 145°

PC_i : 5,93 gr a 334.07°

V_{BO+TI} : Toma de comprobación

CORRECCIÓN DEL PAR DINÁMICO

Eliminar el par dinámico (un par de pesos) en rotores en voladizo, significan calcular según el procedimiento de balanceo en un plano, los pesos de corrección a partir de las lecturas del apoyo A, se corrigen en el plano más alejado (PL:II) y para no variar el balanceo estático se coloca otro peso igual en el plano más cercano (PL:I) pero a 180°.

4. Las vibraciones iniciales luego de haber minimizado las vibraciones en B, son las siguientes:

V_{AO} : 15 a 25° V_{BO} : Valores bajos

5. Colocar un peso de prueba en el plano (PL:II) y otro peso igual en el plano (PL:I) a 180°.

PP_{II} : 10 gr a 0° PP_I : 10 gr a 180°

Notar que ahora la referencia es el PL:II

6. Toma de vibraciones en el apoyo A.

V_{AO+TII} : 35 a 60° V_{BO} : Valores bajos

7. Cálculo del Peso de Corrección del par dinámico.

P.C.(PL:II): 6,18 gr a 235.75° P.C.(PL:I): 6,18 gr a 55.75°

Nota: El ángulo de ubicación de los pesos de corrección en ambos planos, se mide desde el punto de referencia, que es la posición del peso de prueba de 10 gr instalado a 0° en el plano II

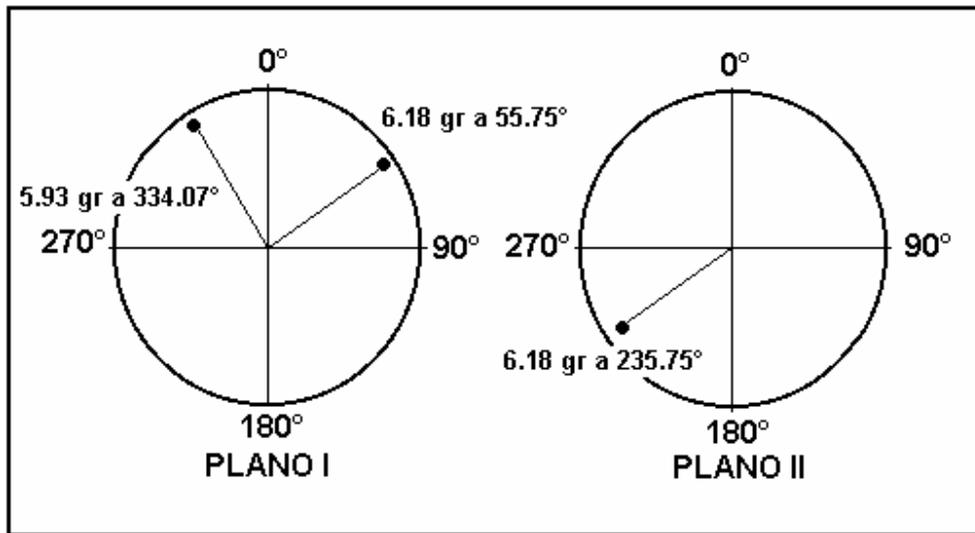


Figura 8.22 Ubicación de los Pesos de Corrección en los Planos I y II

8. Cálculo del Peso Equivalente de Corrección en el Plano I

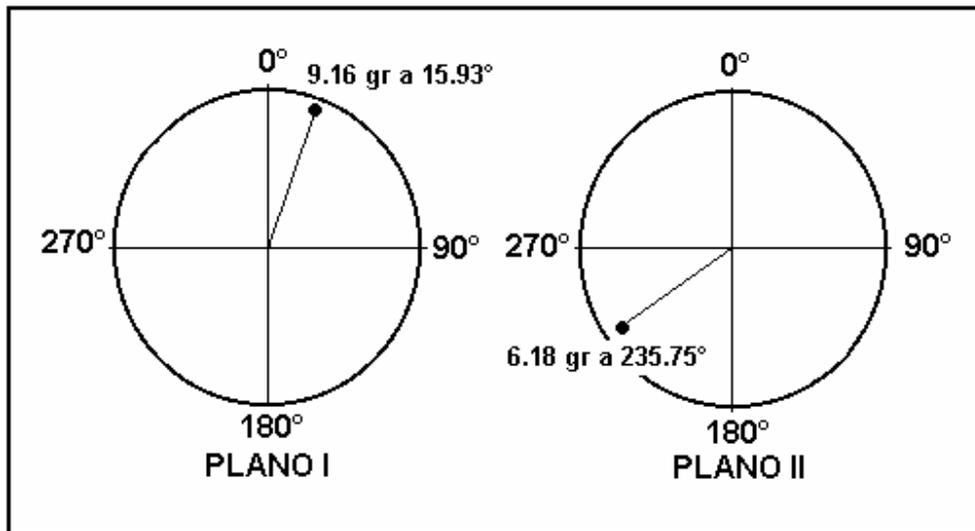


Figura 8.23 Magnitud y Posición del Peso Equivalente en el Plano I

9. Toma de vibraciones finales

V_A : Valores bajos V_B : Valores bajos

BALANCEO MULTIPLANAR

El desbalance de los rotores se dividen en dos tipos; el estático (una sola fuerza) y el dinámico (un par de fuerzas), para balancear rotores multiplanares se realizan por el Método de la Derivación del Par.

Por ejemplo, para balancear un rotor de cinco planos de balanceo (ver Figura 8.24), en una balanceadora universal, se sigue el siguiente procedimiento:

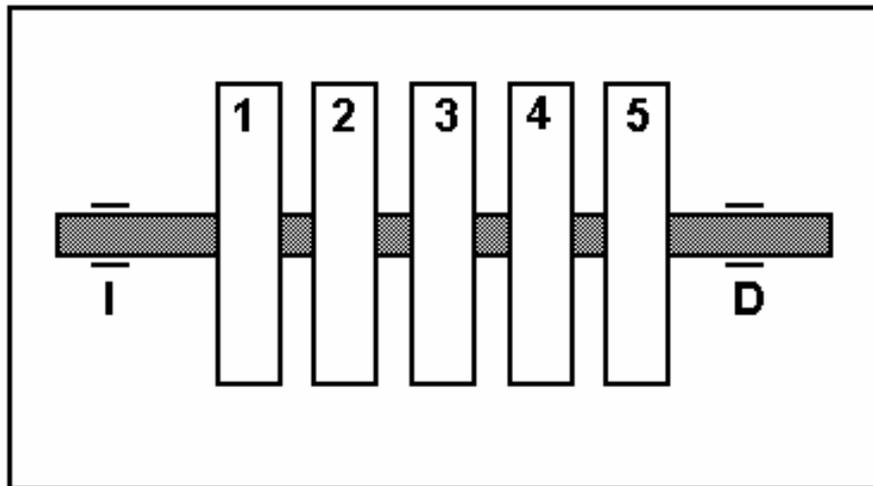


Figura 8.24 Rotor con Cinco Planos de Balanceo

1. LECTURAS INICIALES

LADO IQUIERDO $O_I : 7 \text{ a } 10^\circ$

LADO DERECHO $O_D : 6 \text{ a } 120^\circ$

Al graficar los vectores O_I y O_D (ver figura 8.25), podemos derivar los vectores de los desbalances; estático (E_O) y el par dinámico (P_I, P_D)

$E_O = 3.8 \text{ a } 59^\circ$

$P_I = 5.4 \text{ a } 338^\circ$

$P_D = 5.4 \text{ a } 158^\circ$

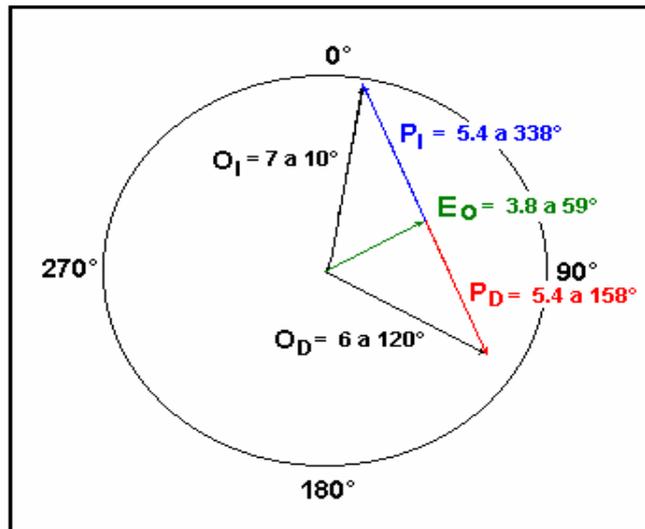


Figura 8.25 Diagrama Polar del Desbalance Inicial y Derivación de los Desbalances; Estático y par Dinámico

Como los desbalances estático y dinámico no se afectan mutuamente entonces se pueden balancear ambos simultáneamente, con la finalidad de comprender el procedimiento empezaremos a balancear primero el desbalance estático.

2. INSTALACIÓN DEL PESO DE PRUEBA – DESBALANCE ESTÁTICO

Colocar un Peso de Prueba de 50 gramos, divididos en pesos de 10 gramos e instalados a igual radio y en la misma posición angular para los cinco planos de balanceo (o sea, agregamos un desbalance estático). Si no es posible instalar a igual radio se debe colocar el mismo desbalance en cada plano aplicando la siguiente fórmula de conversión; $m_1.r_1 = m_2.r_2$.

3. LECTURAS CON PESO DE PRUEBA

Los cinco pesos de prueba están instalados en 0° , el mismo ángulo para cada plano y generan un desbalance que solamente influye en el desbalance estático y no en el par dinámico:

LADO IZQUIERDO: $(O+T)_I : 8 \text{ a } 346^\circ$

LADO DERECHO: $(O+T)_D : 3 \text{ a } 136^\circ$

$E_{O+T} = 2.8 \text{ a } 2^\circ$

$$P_I = 5.4 \text{ a } 338^\circ$$

$$P_D = 5.4 \text{ a } 158^\circ$$

Podemos observar en la figura 8.26, que los vectores del par dinámico P_I y P_D permanecen iguales.

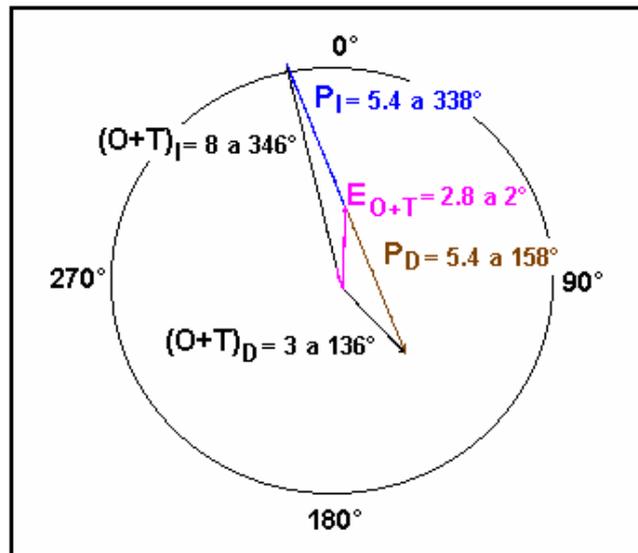


Figura 8.26 Diagrama Polar del Desbalance Inicial más el Desbalance Estático de Prueba

4. CORRECCIÓN DEL DESBALANCE ESTÁTICO

En el diagrama polar de la figura 8.27, son graficados los desbalances estáticos E_O y E_{O+T} , luego se calculan el peso y el ángulo de corrección por los métodos tradicionales. Al agregar los pesos de prueba en los cinco planos el vector E_O varió en sentido antihorario y llegó a ser E_{O+T} ; entonces la posición del peso de corrección será de 46° y en sentido horario.

$$E_O = 3.8 \text{ a } 59^\circ$$

$$E_{O+T} = 2.8 \text{ a } 2^\circ$$

$$E_T = 3.25 \text{ a } 285^\circ$$

$$\text{Peso de Corrección} = \text{Peso de Prueba} \times E_O \div E_T$$

Peso de Corrección = $50 \text{ gramos} \times 3.8 \div 3.25 = 58.46 \text{ gramos}$

Peso de Corrección por Plano = $58.46 \text{ gramos} \div 5 \text{ planos} = 11.69 \text{ gr}$

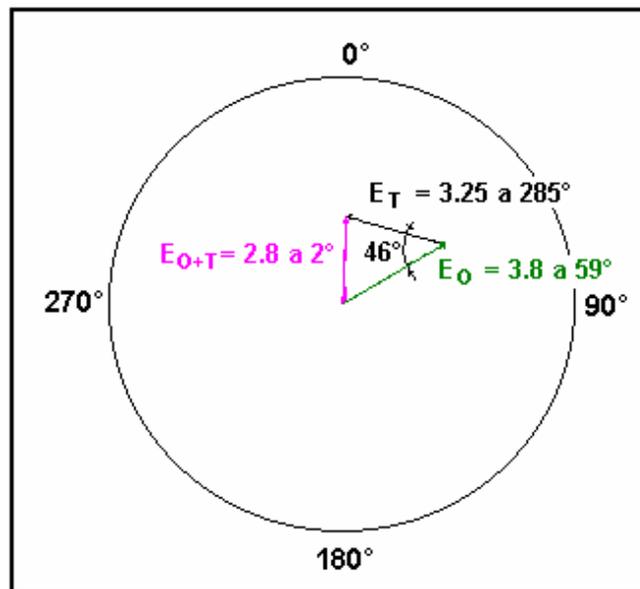


Figura 8.27 Diagrama Polar; Solución del Desbalance Estático

Colocar 11.69 gramos en cada plano de corrección, al mismo radio y a 46° medidos a partir de la ubicación inicial del peso de prueba y en sentido horario, con ésta adición de pesos se habrá eliminado el desbalance estático y quedará solamente el par dinámico, si no se ha logrado disminuir el desbalance estático repetir el procedimiento hasta minimizar sus valores.

5. CORRECCIÓN DEL PAR DINÁMICO

Para corregir el par dinámico será necesario instalar en los planos de corrección 1 y 5, un par de pesos opuestos (a 180°), para éste ejemplo se toma como referencia el plano 1, o sea la ubicación del peso de prueba en este plano es a 0° y las correcciones se calcularán con las lecturas del apoyo izquierdo. Al eliminarse el desbalance estático las lecturas iniciales son:

LADO IZQUIERDO: $P_I = 5.4 \text{ a } 338^\circ$

LADO DERECHO: $P_D = 5.4 \text{ a } 158^\circ$

5.1 Colocar un Peso de Prueba de 10 gramos a 0° en el plano 1 y otro de 10 gramos a 180° en el plano 5, conservando el mismo radio o el mismo desbalance.

5.2 Lecturas con el Par de Pesos de Prueba:

LADO IZQUIERDO: $P_{I+T} = 6$ a 300°

LADO DERECHO : $P_{D+T} = 6$ a 120°

5.3 Cálculos de corrección del par dinámico, en un diagrama polar son graficados los pares dinámicos P_I y P_{I+T} , luego se calcula el peso y ángulo de corrección por los métodos tradicionales

$P_I = 5.4$ a 338°

$P_{I+T} = 6$ a 300°

$P_T = 3.75$ a 237°

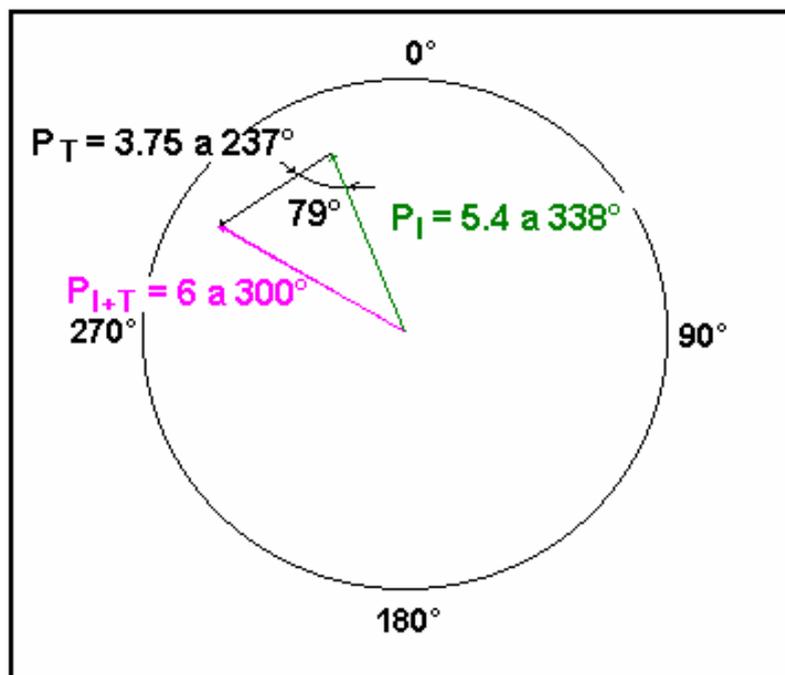


Figura 8.28 Diagrama Polar; Solución del par Dinámico

- 5.4 Al agregar un par de pesos de prueba (10 gramos a 0° en el plano 1 y 10 gramos a 180° en el plano 5) P_I varió en sentido antihorario y llegó a ser P_{I+T} (ver figura 8.28); entonces con respecto al plano 1, la posición del peso de corrección será a 79° y en sentido horario.

$$\text{Peso de Corrección} = \text{Peso de Prueba} \times P_I \div P_T$$

$$\text{Peso de Corrección} = 10 \text{ gramos} \times 5.4 \div 3.75 = 14.4 \text{ gramos}$$

Colocar 14.4 gramos a 79° y en sentido horario en el plano 1.

Colocar 14.4 gramos a 259° y en sentido horario en el plano 5.

Conservar el mismo radio o desbalance, no olvidar que los ángulos se miden a partir de la ubicación inicial del peso de prueba en el plano 1; con la adición de los pesos de corrección se habrá eliminado el par dinámico.

5.5 Pesos de Corrección por cada plano

$$\text{Plano 1:} \quad 11.69 \text{ g a } 46^\circ + 14.4 \text{ g a } 79^\circ = 25.03 \text{ g a } 64.26^\circ$$

$$\text{Plano 2, 3 y 4:} \quad 11.69 \text{ g a } 46^\circ$$

$$\text{Plano 5:} \quad 11.69 \text{ g a } 46^\circ + 14.4 \text{ g a } 259^\circ = 7.85 \text{ g a } 313.18^\circ$$

EJERCICIOS

1. Un rotor de un motor eléctrico gira a 1780 RPM, pesa 50 kilos, un diámetro de 60 cm y tiene las siguientes vibraciones filtradas a las RPM del rotor:

$$V1: 16 \text{ a } 340^\circ \text{ y } V2: 17 \text{ a } 343^\circ$$

- 1.1 En cuantos planos se debe balancear y por qué.
- 1.2 Calcular el peso de prueba.
- 1.3 Al colocar el peso de prueba, se obtienen las siguientes vibraciones filtradas a las RPM del rotor;

$$V1: 12 \text{ a } 220^\circ \text{ y } V2: 12 \text{ a } 217^\circ$$

Calcular los pesos de corrección y su ubicación.

- 1.4 Calcular los pesos de corrección y su ubicación si el rotor tiene 8 puntos disponibles donde colocar los pesos.
2. Un rotor de un ventilador en voladizo gira a 3575 RPM, pesa 75 kilos, un diámetro de 50 cm y tiene las siguientes vibraciones filtradas a las RPM del rotor:

$$V1 \text{ (lado del ventilador): } 10 \text{ a } 220^\circ \text{ y } V2 \text{ (lado libre): } 14 \text{ a } 330^\circ$$

- 2.1 Calcular el peso de prueba.
- 2.2 Al colocar el peso de prueba en el ventilador en el lado más cercano del apoyo 1, se obtienen las siguientes vibraciones filtradas a las RPM del rotor;

$$V1 \text{ (lado del ventilador): } 4 \text{ a } 145^\circ$$

Calcular los pesos de corrección y su ubicación del plano más cercano al apoyo 1.

- 2.3 Al colocar el peso de prueba en el ventilador en el lado más alejado y otro opuesto a 180° en el lado más cercano del apoyo 1, se obtienen las siguientes vibraciones filtradas a las RPM del rotor;

$$V2 \text{ (lado libre): } 18 \text{ a } 120^\circ$$

Calcular los pesos de corrección y su ubicación del plano más alejado del apoyo 1 y colocar a 180° la misma cantidad en el plano más cercano.

BIBLIOGRAFÍA

1. IRD Mechanalysis; Columbus Ohio; "Analysis II"; 1993.
2. Ronald L. Eshleman; "Basic Machinery Vibrations"; Clarendon Hills Hillinois; 1999.

