



# **CATEDRA MANTENIMIENTO**

## **GUIA DE TRABAJO PRÁCTICO DE**

### **BALACEO EN DOS PLANOS**

<b>Redactó</b>	<b>Corrigió</b>	<b>Aprobó</b>
Rosenthal, Gustavo	Sánchez, Martín	Sacchetto, Víctor



## **CONTENIDO**

- 1. Objetivos de la práctica.**
- 2. Equipamiento disponible.**
- 3. Maquina sobre el cual se realizará el ensayo.**
- 4. Tipos de sensores y montaje de los mismos.**
- 5. Metodología de balanceo en dos planos.**
- 6. Preparación del equipamiento.**
- 7. Utilización del equipo portátil y desarrollo de la práctica.**
- 8. Bibliografía**



## 1. Objetivos de la práctica:

Adquirir los conocimientos básicos del balaceo en un plano de en un equipo que frecuentemente es encontrado en distintas industrias. Para esto se requiere:

1. Conocer el instrumental necesario y su funcionamiento.
2. Configurar una ruta de recolección de datos.
3. Establecer los puntos de medición y las condiciones de medición.
4. Realizar la práctica.

## 2. Equipamiento disponible:

A) Colector de datos Vibrator Modelos MA 2070-C completo. El equipo cuenta de un colector de datos propiamente dicho, cable espiralado, base magnética y sensor, como se observa en la figura siguiente.



Figura 1. Equipamiento disponible.



### 3. Maquina sobre la cual se realizará el ensayo.

#### Esquema de la instalación

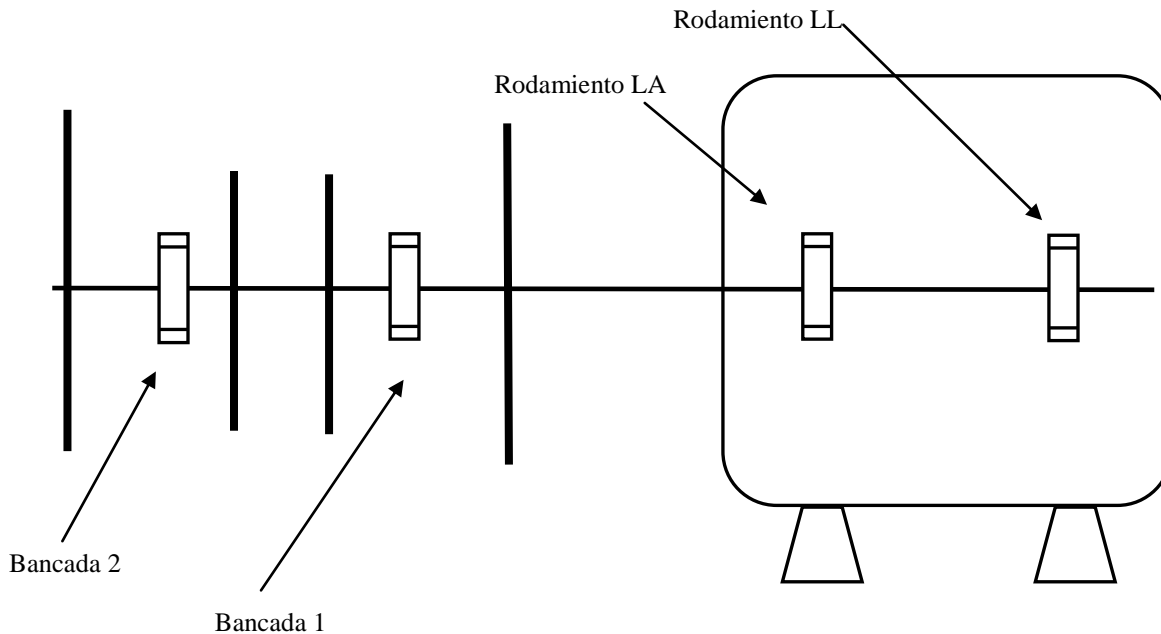


Figura 2. Esquema de la instalación.

### 4. Tipos de sensores y montaje de los mismos

El equipo cuenta con dos tipos de sensores necesarios para efectuar el trabajo:

- **Acelerómetros:** El sensor convierte las vibraciones mecánicas de una maquina (debidas a fuerzas rotacionales, dinámicas y de fricción dentro de la misma) en señales eléctricas que pueden ser medidas por el colector de datos.
- **Reflectivos:** consta de un sensor infrarrojo, que al ser atravesado por una cinta reflectiva (colocada en cualquier parte rotante del equipo a ensayar) emite una señal eléctrica pulsante que se traducirá en frecuencia de giro, medida en CPM.

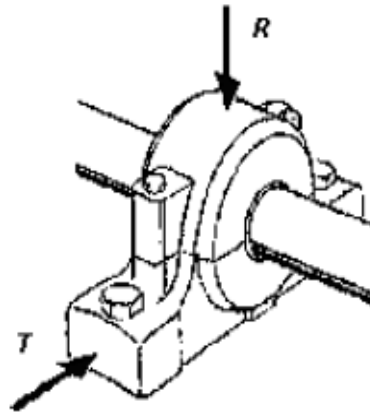


Figura 3. Ejes principales de toma de datos.

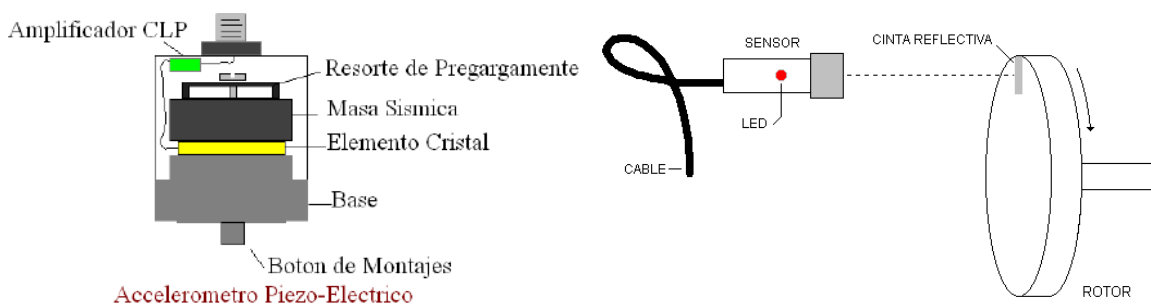


Figura 4. Modelo esquemático del sensor de aceleración (acelerómetros) y del sensor reflectivo.

### 5) Metodología de balanceo en dos planos.

Cuando se comienza con el procedimiento de balanceo, generalmente no se posee una idea de cual es la magnitud (peso) del desequilibrio, ni su posición (fase) en el rotor.

Para poder realizar las lecturas de amplitud y fase, deberemos contar con un transductor de vibraciones y un sensor de posición. Estos tendrán la capacidad de interpretar las oscilaciones generadas por el desbalanceo, indicándonos la



magnitud del desbalanceo en unidades que dependen del tipo de equipo y la posición o fase respecto de una referencia.

El balanceo en dos planos se realiza de igual manera que en un plano; sin embargo, el equilibrado en 2 planos, requiere una atención mayor debido al **efecto cruzado o interferencia entre planos de corrección**. Por causa de este efecto, las lecturas de desbalanceo observadas en los extremos del rotor no representan los desbalances en sus respectivos planos de corrección. Por tal motivo, cada lectura será la resultante del desbalanceo en el plano de corrección más un asociado por el efecto cruzado proveniente del otro lado.

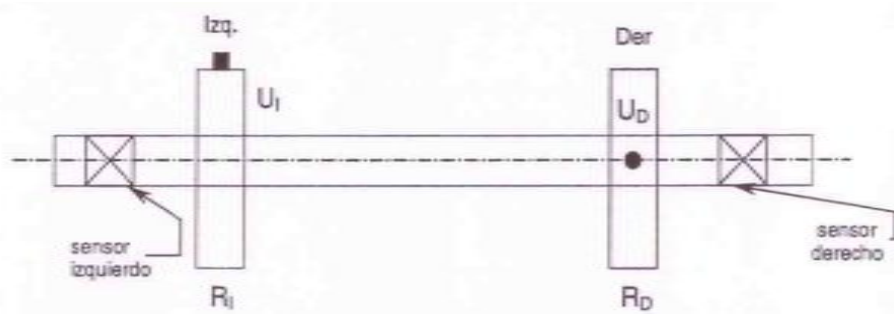


Figura 5. Modelo esquemático para balanceo en dos planos.

Para equilibrar en 2 planos se hace necesario entonces del agregado de 2 pesos de corrección, uno en cada plano de corrección (seleccionados sobre el rotor), lo que implica realizar mediciones sobre los dos cojinetes de apoyo del rotor.

En la Fig. 5 se puede observar que la salida del sensor de la izquierda será  $R_i$ , mientras que en el de la derecha será  $R_d$ . Si  $U_i$  y  $U_d$  representan las fuerzas reales de desbalanceo en los planos izquierdo y derecho, puede escribirse:

$$R_i = U_i + C_{id}$$

$$R_d = U_d + C_{di}$$

El problema se reduce a resolver  $U_i$  y  $U_d$  en términos de peso. De esta manera pueden aplicarse pesos de corrección de la misma magnitud pero en forma opuesta y así poder obtener un verdadero balanceo dinámico.



Para poder homogeneizar las unidades y poder convertir los vectores  $U_i$ ,  $U_d$ ,  $C_{id}$ ,  $C_{di}$ , en vectores desplazamiento, deberemos multiplicar a estos valores por un factor de conversión:

$$R_i = a \times U_i + k_1 \times U_d$$

$$R_d = b \times U_d + k_2 \times U_i$$

donde:

a: factor de conversión en plano izquierdo en unidades de desplazamiento/peso.

b: factor de conversión en plano derecho en unidades de desplazamiento/peso.

$k_1$ : constante de efecto cruzado del plano derecho al izquierdo en (Cm/peso).

$k_2$ : constante de efecto cruzado del plano izquierdo al derecho en (Cm/peso).

El sistema solo puede resolverse si se generan nuevas ecuaciones que relacionen a los mismos parámetros con otros conocidos. Para ello se coloca un peso de prueba  $W_d$  en el plano derecho en una posición conocida, con lo que tendremos.

$$R_i' = a \times U_i + k_1 \times (U_d + W_d)$$

$$R_d' = b \times (U_d + W_d) + k_2 \times U_i$$

Se procede de la misma manera pero del lado izquierdo, agregando una masa de prueba  $W_i$ .

$$R_i'' = a \times (U_i + W_i) + k_1 \times U_d$$

$$R_d'' = b \times U_d + k_2 \times (U_i + W_i)$$

como los valores de  $R_i$ ,  $R_i'$ ,  $R_i''$ ,  $R_d$ ,  $R_d'$ ,  $R_d''$ , pueden obtenerse a través de las mediciones. Podemos plantear:

$$a = \frac{R_i'' - R_i}{W_i}$$

$$b = \frac{R_d' - R_d}{W_d}$$

$$k_1 = \frac{R_i' - R_i}{W_d}$$



$$k2 = \frac{Rd'' - Rd}{Wi}$$

$$Ui = \frac{k1 \times Rd - b \times R1}{k1 \times k2 - a \times b}$$

$$Ud = \frac{Ri - a \times Ui}{k1}$$

De esta manera hemos determinado los vectores de desbalanceo en ambos planos. Luego, los pesos de corrección deberán colocarse de manera que formen un vector igual y opuesto a  $Ui$  y  $Ud$  en cada plano.

**Ejemplo:** Supongamos conocidas la lecturas correspondientes al proceso de medición y expresémoslas en forma numérica a través de la notación compleja.

$$R = \rho \times e^{j\omega} = \rho \times (\cos(\omega) + j\text{sen}(\omega))$$

$Ri$	$8.6 e^{j63}$	$Ri''$	$6.2 e^{j36}$
$Rd$	$6.5 e^{j206}$	$Rd''$	$10.4 e^{j162}$
$Ri'$	$5.9 e^{j123}$	$Wi$	$10 \text{ gr } e^{j90}$
$Rd'$	$4.5 e^{j228}$	$Wd$	$12 \text{ gr } e^{j180}$

$$a = \frac{5.9 \times e^{j125} - 8.6 \times e^{j63}}{10 \times e^{j90}} = 0.76 \times e^{j111}$$

$$b = \frac{10.4 \times e^{j162} - 6.5 \times e^{j206}}{12 \times e^{j180}} = 0.60 \times e^{-j56}$$

$$k1 = \frac{6.2 \times e^{j36} - 8.6 \times e^{j63}}{12 \times e^{j180}} = 0.34 \times e^{j105,56}$$

$$k2 = \frac{4.5 \times e^{j228} - 6.5 \times e^{j206}}{10 \times e^{j90}} = 0.287 \times e^{j260}$$

$$Ud = 6.41 \text{ gr} \times e^{-j1145}$$

$$Ui = 10.7 \text{ gr} \times e^{-j33.2}$$





los desbalances son producidos tanto por  $U_i$  como  $U_d$ , por tal motivo será necesario corregir este desbalance mediante pesos de corrección  $W_{cd}$  y  $W_{ci}$ , colocados 180 grados de  $U_d$  y  $U_i$ .

$$W_{cd} = 6.41 \text{ gr} \times e^{j65.5}$$

$$W_{ci} = 10.7 \text{ gr} \times e^{j146.8}$$

## 6. Preparación del equipo

Antes de realizar el balanceo es necesario el armado y acondicionamiento del equipo colocando los sensores de vibración y fase requeridos para la ejecución de la tarea. El tipo de balanceo a utilizar se puede elegir, por ejemplo, siguiendo los lineamientos de la Tabla 1.

Los sensores de vibraciones (Canal 1 y 2) deberán ser colocados en los cojinetes A y B respectivamente de la maquina a balancear, en posición perpendicular al eje de rotación. Para la detección de la fase se colocará una cinta reflectiva sobre cualquier parte rotante descubierta disponible, que esté directamente acoplada con la parte rotante o plano a balancear. El sensor encargado de detectar el paso de la cinta reflectiva se colocara sobre el estator del motor o cualquier punto estático de la máquina.

Una vez colocados tales sensores se procede a hacer rotar la máquina para verificar el buen funcionamiento de los mismos. Las velocidades de rotación pueden ser reales o reducidas. Estas dependen de que si el balanceo se efectúa in situ o sobre una bancada postiza empleada para tal fin.

Para la medición de la amplitud puede elegirse la magnitud Velocidad (**mm/s**) o Desplazamiento (**µm**). Sin embargo, se aconseja elegir Velocidad, que por ser menos sensible a ruidos de baja frecuencia brinda una lectura de amplitud más estable.

Debe esperarse el tiempo suficiente hasta que la medición de amplitud se estabilice, esto puede llevar algunos segundos. No se debe ingresar el valor medido hasta que no esté estable, porque un dato erróneo invalida todo el procedimiento. El valor de los pesos de prueba debe ingresarse en unidades de peso. No se pueden ingresar decimales.

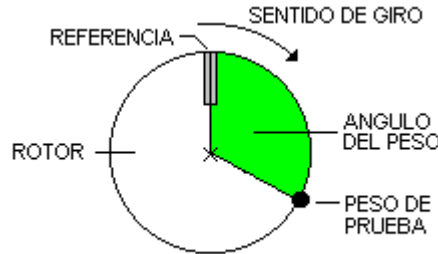


Figura 6. Sistema de referencia.

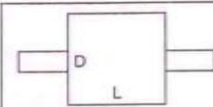
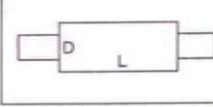
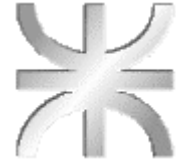
	Relación L/D	Balanceo	
		Un Plano	Dos Planos
	< 0,5	Hasta 1000 RPM	Más de 1000 RPM
	> 0,5	Hasta 150 RPM	Más de 150 RPM

Tabla 1. Recomendaciones mínimas para seleccionar el tipo de balanceo

## 7. Utilización del equipo portátil y Desarrollo de la práctica.

El equipo portátil Vibrator cuenta con la posibilidad de ser utilizado en forma manual o automática para balanceo en 1 y 2 planos. Para realizar balanceos en dos planos, se deberá seleccionar tal función del menú.

1. El equipo desplegará una pantalla en la que iniciará la medición de  $R_i$  y  $R_d$  o desbalance del equipo y el ángulo de fase de estos, una vez que la máquina se encuentre rotando a velocidad reducida o real estable, el valor de desbalance  $R_i$  y  $R_d$  presentado en pantalla deberá ser aceptado por quien esté encargado de operar el equipo, una vez que los valores se encuentren estabilizados.  
Luego de ser aceptado el valor  $R_i$  y  $R_d$ , se debe proceder a detener la máquina.
2. El Equipo de medición saltará de pantalla solicitándoles la masa de prueba  $W_p$  sobre el plano 1 y su posición angular medida a partir de la marca de



referencia (Ver Figura 6). Verificar el buen amarre de la masa de prueba en este punto.

Una vez colocada y cargada la posición de  $W_p$  en el equipo, se procederá a encender la máquina, para así poder registrar la magnitud y fase de  $R'_i$  y  $R'_d$ , procediendo de forma idéntica al punto 1. Una vez adquiridos los datos se deberá detener la maquina y retirar la masa de prueba.

3. Idem al punto 2 colocando la masa de prueba en el plano izquierdo, registrando los datos  $R''_i$  y  $R''_d$ . una vez adquiridos los datos el equipo realiza los cálculos determinando los valores de  $W_{ci}$  y  $W_{cd}$  necesarios para balancear el equipo.
4. Se coloca la masa  $W_{ci}$  y  $W_{cd}$ , en magnitud y fase según informa el equipo. Una vez hecha la corrección se procede a verificar si la corrección efectuada sobre el plano de la maquina corrigió el desbalance detectado antes de efectuar la tara de balanceo.

### **8. Bibliografía:**

1. Liberto Ercoli; Salvador La Malfa, Teoría y práctica para balanceo de rotores industriales
2. Manual Vibrator Modelos MA 2070-C