



Precision Measurement and Testing  
Equipment and Services

**Balance Technology Inc**

7035 Jomar Drive, Whitmore Lake, MI 48189  
www.balancetechnology.com

Main: (734) 769-2100  
Fax: (734) 769-2542  
Service: (734) 214-2678

## **ENTENDIENDO LAS BASES DEL BALANCEO Y TECNICAS DE MEDICION**

Gary K. Grim, Bruce J. Mitchell

Por que balancear? Todos los componentes rotatorios experimentan mejoras significativas en calidad y rendimiento si son balanceados. Balanceo es el proceso de minimizar vibración, ruido y desgaste a cuerpos rotatorios. Esto se logra al reducir las fuerzas centrifugas alineando el eje de inercia principal con los ejes geométricos de rotación a través de agregar o remover material. Para entender los básicos del balanceo es necesario definir los siguientes términos fundamentales.

### **TERMINOS FUNDAMENTALES**

#### **CENTRO DE GRAVEDAD**

Donde **a** es la aceleración debida a la gravedad, la fuerza resultante es el peso del cuerpo. Por esta razón el término centro de gravedad se puede considerar como el centro de masa. Su alineamiento diferiría solo en cuerpos largos donde la fuerza gravitacional de la tierra no es la misma para todos los componentes del cuerpo. El hecho de que estos puntos sean los mismos para la mayoría de los cuerpos, es la razón del por que los balanceadores estáticos (no – rotacionales), los cuales pueden solo medir el centro de gravedad, pueden ser usados para localizar el centro de masa. Información adicional sobre balanceo estático será revisada en las siguientes páginas.

#### **CENTRO DE MASA**

El centro de masa es el punto en un cuerpo donde si todas las masa estuvieran concentradas en un punto, el cuerpo actuaría igual para cualquier dirección o aceleración lineal. Si un vector de fuerza pasa a través de este punto el cuerpo se moverá en línea recta, sin rotación. La segunda ley de Newton del movimiento describe este movimiento como **F = ma**. Donde la suma de fuerzas **F**, actuando sobre un cuerpo es igual a su masa **m**, por su aceleración

|                            |
|----------------------------|
| $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ |
|----------------------------|

## **EJES GEOMETRICOS**

El eje geométrico se refiere también como eje del eje o eje dirigido de rotación. Este eje de rotación es determinado ya sea por la superficie sustentadora rotatoria, la cual existe en la pieza de trabajo, o por la superficie de montaje. Una adecuada superficie de montaje establece el centro de rotación en el plano del centro de masa (El punto en el cual el centro de masa esta localizado).

## **EJE DE INERCIA PRINCIPAL**

Cuando una parte no tiene forma de disco y tiene longitud a través del eje de rotación, esta gira sobre el espacio libre sobre una línea. Esta línea es llamada “eje principal de inercia”, el centro de masa es un punto sobre esta línea. Requiere energía para distribuir una parte y causa que bambolee o gire sobre otro eje de inercia. Ejemplos de esto seria lanzar correctamente un balón de football o una bala disparada desde un rifle. Cuando el eje de inercia principal coincide con el eje de rotación, la parte girara sin fuerzas de desbalanceo, en este caso la estática como el desbalanceo de acoplamiento son igual a cero.

En suma, un estado de balance es una condición física que existe cuando hay una distribución de masa total uniforme. El balanceo estático existe cuando el centro de masa esta sobre el eje de rotación. Mientras que, el balanceo estático y de acoplamiento existen cuando el eje principal de inercia coincide con el eje de rotación.

## **TIPOS DE DESBALANCE**

La localización del centro de masa y el eje principal de inercia es determinada por el efecto de contrapeso de cada elemento de la parte. Sin embargo, cualquier condición de desbalance puede ser corregida aplicando o removiendo peso en un radio y ángulo particulares, de hecho la cantidad de desbalance, **U**, puede ser definida correctamente como un peso **w**, en un radio **r**.

|          |
|----------|
| $U = wr$ |
|----------|

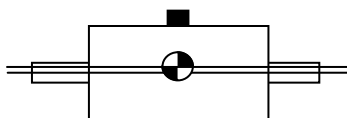
El desbalance estático puede también ser determinado si tu conoces el peso de la parte y el desplazamiento del centro de masa del eje geométrico, en este caso  $U$ , es igual a el peso  $w$  de la pieza de trabajo multiplicado por el desplazamiento  $e$ .

$$U = we$$

### **DESBALANCE ESTÁTICO**

Es una condición que existe cuando el centro de masa no esta sobre el eje de rotación, puede ser también explicada como la condición cuando el eje principal de inercia es paralelo al eje de rotación. El desbalance estático por si mismo es típicamente medido y corregido sobre partes en forma de disco muy estrechas como un “frisbee”. Para corregir el desbalance estático se requiere solo una corrección. La cantidad de desbalance es el producto del peso por el radio. Este tipo de desbalance es un vector, y por eso, debe ser corregido con un peso conocido en un ángulo particular. Fuerza de desbalance es otro nombre para el desbalance estático.

Como se discutió anteriormente, una pieza de trabajo esta en balance cuando el centro de masa esta sobre el eje de rotación. Cuando estas condiciones existen, la parte puede girar sobre este eje sin crear fuerza inercial sobre el centro de su masa. Partes intentadas para aplicaciones estáticas, tales como un punteros de velocímetro o movimientos de medición analógicos, se benefician al estar en balanceo estático ya que la fuerza de gravedad no creara un momento mas grande en un ángulo que en otro el cual causa que sea su movimiento no lineal. El siguiente dibujo representa un ejemplo de desbalance estático.



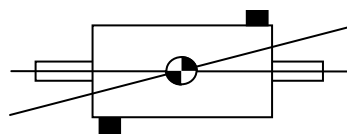
C.G Eje principal de Inercia  
Eje del eje

## **DESBALANCE DE ACOPLAMIENTO**

Es una condición específica que existe cuando el eje principal de inercia no es paralelo con el eje de rotación. Para corregir el desbalance por acoplamiento, 2 pesos iguales deben ser agregados a la pieza de trabajo en ángulo de separación de 180 grados en 2 planos de corrección, la distancia entre estos 2 planos es llamada “brazo de acoplamiento”. El desbalance de acoplamiento es un vector que describe la corrección. Es común para los balanceadores desplegar el vector de desbalance izquierdo de una corrección de acoplamiento para ser aplicado en ambos planos izquierdo y derecho.

El desbalance de acoplamiento es expresado como  $U = wrd$  donde  $U$  es la cantidad de desbalance,  $w$  es el producto del peso por su radio  $r$  por su distancia  $d$ , del brazo de acoplamiento. El desbalance de acoplamiento es definido como la masa por su longitud al cuadrado, unidades comunes para el desbalance de acoplamiento serían  $g\text{-mm}^2$  o  $\text{onza-pul}^2$ . El ángulo es el ángulo de corrección en el plano izquierdo (Por favor note que en mecánica, el ángulo es perpendicular al plano del radio del vector y el vector del brazo de acoplamiento, este es un ángulo de 90 grados en relación a la localización del peso). El desbalance de acoplamiento puede ser corregido en cualquiera de los 2 planos, pero primero la cantidad tiene que ser dividida por la distancia entre los planos selectos. Mientras que el desbalance estático puede ser medido con un balanceador no rotacional, un desbalance de acoplamiento puede solo ser medido al girar la pieza de trabajo.

Una combinación de fuerza completamente específica todo el desbalance que existe en la parte. Especificar el desbalance de esta manera requiere de 3 correcciones de peso individuales. El siguiente dibujo representa un ejemplo de desbalance de acoplamiento.



Principal Eje de Inercia

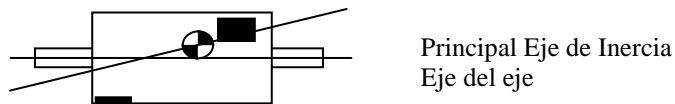
Eje del eje

## **DESBALANCE EN 2 PLANOS**

Es también definido como el desbalance dinámico. Es una suma vectorial de fuerza y desbalance de acoplamiento. Para corregir 2 planos de desbalance se requieren 2 pesos de corrección no relacionados en 2 diferentes planos en 2 ángulos no relacionados. La especificación de desbalance es solamente completa si el lugar del eje axial del plano de corrección es conocido. El desbalance dinámico o desbalance en 2 planos especifica todo el desbalance el cual existe en una pieza de trabajo. Este tipo de desbalance puede solo ser medido en un balanceador giratorio el cual detecta al fuerza centrífuga debida al componente de acoplo de desbalance.

## **DESBALANCEO DINÁMICO**

Es el termino el cual especifica un balanceador que gira y mide fuerza centrífuga. Es necesario usar este tipo de balanceador cuando se mide el acoplo o 2 planos de desbalance. Típicamente este puede ser usado para proveer sensibilidad más grande a la medición estática o fuerza al desbalance. El siguiente dibujo representa un ejemplo de desbalance dinámico.



## **UNIDADES DE DESBALANCE**

El desbalance puede ser definido como el peso de la masa ha ser agregada o removida en un radio de corrección. Las unidades de peso pueden ser cualquier unidad conveniente de medición la cual toma en cuenta el peso del quipo disponible y el tamaño de toda la unidad de medición. Gramos (g), onzas (oz) y kilogramos (kg) son las unidades más comunes. Ocasionalmente los Newton (N) son utilizados, pero para uso práctico deben ser convertidos a unidades de peso disponibles, las unidades de longitud usualmente corresponden a las unidades de longitud de los dibujos de los estandartes de los manufacturadotes. Las más comunes son pulgadas (in), milímetros (mm), centímetros (cm) y metros (m). Las más comunes combinaciones usadas para especificar desbalance son onza-pulgada (oz-in), gramos-pulgada (gm-in), gramo-milímetro (gm-mm), gramo-centímetro (gm-cm) y kilogramo-metro (kg-m).



Precision Measurement and Testing  
Equipment and Services

**Balance Technology Inc**

7035 Jomar Drive, Whitmore Lake, MI 48189  
www.balancetechnology.com

Main: (734) 769-2100  
Fax: (734) 769-2542  
Service: (734) 214-2678

## MOVIMIENTO DE PARTES DESBALANCEADAS

Cual es el efecto de desbalance sobre una parte rotatoria? En un extremo, si esta montada sobre una superficie rígida, una fuerza dañina debe existir su plano de soporte o superficie de montaje para obligar la parte. Si el montaje es flexible, la parte y el montaje exhibirán vibración significativa. En una aplicación normal es una combinación de ambas. Considerar un desbalance sobre un disco delgado montado sobre una suspensión de resorte simple. El resorte responderá diferente dependiendo de la velocidad a la cual el disco rueda. A velocidades muy bajas (menos de la mitad de la frecuencia resonante) el desbalance del disco genera muy poca fuerza centrífuga, causando una menor detección del resorte y un movimiento pequeño de la masa.

Con cuerpos rígidos el desbalance se mantiene igual aunque un incremento de velocidad cause un incremento en fuerza y movimiento. La fuerza incrementa exponencialmente en el cuadrado del cambio en velocidad. 2 veces la velocidad es igual a 4 veces la fuerza y 4 veces el movimiento. En otras palabras, la fuerza es proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación. Una ecuación para estimar la fuerza es:

$$F = 1.77 U (\text{rpm} / 1000)^2$$

### FUERZA CENTRIFUGA

Causada por 0.001 oz-in de desbalance  
a varias velocidades.

La fuerza centrífuga del desbalance es hacia fuera del centro de la parte, en donde se localiza el peso. En un balanceador de suspensión dura la fuerza dobla un resorte rígido causando que el punto alto de vibración ocurra en donde se localiza el peso.

A velocidades 2 veces o mas grandes que la frecuencia de la masa del resorte, la fuerza de desbalance es mucho mas grande que la fuerza del resorte. El movimiento de la parte de desbalance esta limitado por su propia inercia. La parte rota sobre el centro presente de la masa a cualquier velocidad en este rango. El pico de la dislocación es igual al centro de masa excéntrica,  $e$ , y es por eso  $X_p = e$ , la formula para el pico de dislocación  $X_p$  es el desbalance dividido por el peso de la parte.

(Nota: Las unidades de peso de desbalance deben ser las mismas que las unidades del peso de la parte). En un balanceador esto se definiría como suspensión suave.

$$X_p = U / \text{peso de la parte}$$

A velocidades remanentes cerca de la frecuencia de resonancia, la amplitud de movimiento puede ser mucho más grande que las velocidades altas aun si la fuerza de desbalance es menor. La resonancia existe cuando la fuerza resistente de la inercia de la parte es igual y opuesta a la fuerza resistente del resorte, la única fuerza resistente es debida al humedecimiento mecánico. Cuando el humedecimiento mecánico es bajo, la amplitud de vibración podría ser 50 veces más grande en resonancia. En el pasado algunas compañías de balanceo corren sus balanceadores a esta velocidad para ganar sensibilidad. De cualquier forma, con la gran mejora de la electrónica de hoy en día, este rango de velocidad es considerado impredecible y típicamente evitado.

Una parte diferente a este disco delgado, el cual tiene longitud a lo largo del eje de rotación, tiene una respuesta similar cuando es soportada su rotación en un sistema de suspensión en cada lado. Con velocidades por debajo de la resonancia (en una suspensión dura), la fuerza generada por la fuerza centrífuga se divide entre los 2 puntos de la suspensión apenas mientras que una carga estática simple se divide entre 2 puntos del fulcro. Con velocidades sobre la resonancia (en una suspensión suave) la parte gira, no solo sobre el centro de masa, pero también sobre el eje principal de inercia. El pico de dislocación en cualquier punto a lo largo de la parte es igual a la distancia entre el eje de inercia principal y el eje geométrico. Deberá ser anotado que podría haber varias velocidades de resonancia, la resonancia de la masa total sobre un sistema de resorte causara que la parte se traslade. A una velocidad diferente, la inercia rotacional de la parte y el sistema de resorte causaran que rote sobre su eje vertical. Esta es otra razón para evitar este rango de velocidad.



Precision Measurement and Testing  
Equipment and Services

---

**Balance Technology Inc**

7035 Jomar Drive, Whitmore Lake, MI 48189  
[www.balancetechnology.com](http://www.balancetechnology.com)

Main: (734) 769-2100  
Fax: (734) 769-2542  
Service: (734) 214-2678

Los balanceadores estáticos no rotan la pieza para medir desequilibrio. En lugar de ello, su operación se basa en la gravedad que genera una fuerza hacia abajo en el centro de gravedad. Un ejemplo de y una mas vieja forma de balanceador estático es un sistema de formas de nivelación. Aunque extremadamente es consumidor de tiempo, este viejo método sigue siendo eficaz en la reducción al mínimo de desequilibrio estático. La fuerza hacia abajo en el centro de gravedad hará la pieza rotar hasta que el centro de gravedad este directamente debajo de la superficie donde se corre, el cual identifica la localización del punto pesado. Típicamente con el balanceo de formas de nivelación la cantidad de desbalance no es conocida y la parte es corregida por ensayo y error hasta que la parte no gira más. Sin embargo, es posible medir la cantidad de desbalance sobre un balanceador de formas de nivelación. Esto es logrado al rotar el punto pesado 90 grados, y entonces medir el momento del torque. Históricamente, esto fue comúnmente logrado al usar una escala de gancho para determinar la fuerza en un radio conocido.

Los balanceadores estáticos modernos miden partes con el eje rotatorio de las piezas en orientación vertical, directamente sobre el punto de pivote. Este tipo de medidor puede rápidamente detectar cantidad de desbalance y ángulo. La gravedad que actúa en un centro compensado de la masa crea un momento en la pieza que inclina el medidor.

Los balanceadores pueden ser divididos en 2 tipos dependiendo de cómo reaccionen a este momento de desbalance: aquellos con pivote libre donde la cantidad de inclinación es medida como una directa indicación de la cantidad de desbalance, y aquellos que restringen la cantidad de inclinación y miden el momento del desbalance.

Los balanceadores estáticos los cuales tienen un pivote libre no ofrecen resistencia a la fuerza hacia debajo de la gravedad sobre el centro de gravedad. Es necesario que el centro de gravedad de la pieza de trabajo y el herramental juntos estén a propia distancia por debajo del punto de pivote. La distancia del centro de gravedad que esta por abajo del punto de pivote determina la sensibilidad del balanceador. Esta distancia es a menudo determinada por un contrapeso ajustable conectado a los herramientas por debajo del pivote.



Precision Measurement and Testing  
Equipment and Services

Main: (734) 769-2100  
Fax: (734) 769-2542  
Service: (734) 214-2678

---

**Balance Technology Inc**

7035 Jomar Drive, Whitmore Lake, MI 48189  
[www.balancetechnology.com](http://www.balancetechnology.com)

Sin parte en un sistema nivelado de herramientas, el centro de gravedad esta inicialmente por debajo del punto de pivote. Cuando una parte desbalanceada es puesta sobre el herramental causa que el centro de gravedad se eleve y cambie lejos del centro en la dirección del desbalance. El momento causado por la gravedad sobre un nuevo centro de gravedad causa que el herramental se incline, hasta que el nuevo centro de gravedad este directamente por debajo de el pivote. Mientras se inclina el brazo del momento y, consecuentemente el momento son reducidos a cero. La cantidad de inclinación es determinada al medir la distancia entre el brazo el brazo extendido del herramental y la base de la maquina. La cantidad de inclinación es proporcional a la cantidad de desbalance de la parte.

Medir el desbalance sobre un balanceador estático es a menudo logrado con 2 LVDT orientado a 90 grados uno del otro. Un pivote típico consiste puntos en un zócalo, la bola en un yunque, una flexión de diámetro bajo tensión, cojinetes esféricos hidráulicos y cojinetes esféricos de aire. Cada uno tiene problemas asociados con mantener el pivote libre. El sistema de punto de contacto mecánico debe ser mecánicamente protegido para prevenir puntos planos sobre al bola, o un punto de muesca en el yunque. La flexión del alambre puede ser doblada o rota si no es protegido. Los soportes esféricos deben estar perfectamente limpios para evitar arrastre. 2 preocupaciones adicionales son que la sensibilidad es dependiente sobre el peso de la parte y el pivote debe ser protegido para prevenir daño que pueda afectar el funcionamiento del balanceador.

Hay sin embargo una mejor alternativa que supera estos problemas, es llamada el balanceador de pivote rígido. Con este tipo de balanceador el pivote es un poste el cual actúa como un resorte rígido. El momento debido al desbalance dobla el poste una pequeña cantidad y la inclinación es medida para determinar la cantidad de desbalance. Con un balanceador de pivote rígido la calibración no es afectada por el peso de la parte y el balanceador es exacto, simple y extremadamente rugoso.



Precision Measurement and Testing  
Equipment and Services

---

**Balance Technology Inc**

7035 Jomar Drive, Whitmore Lake, MI 48189  
www.balancetechnology.com

Main: (734) 769-2100  
Fax: (734) 769-2542  
Service: (734) 214-2678

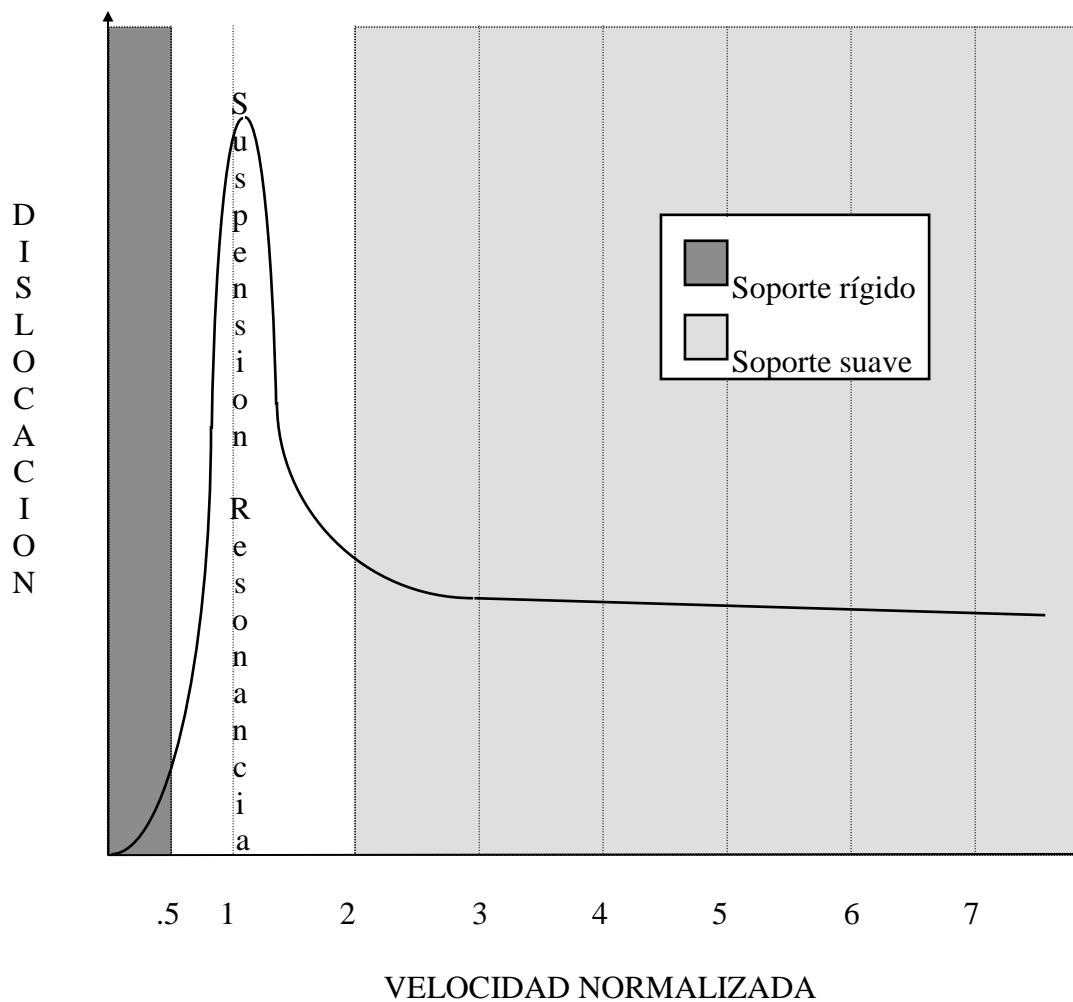
## **BALANCEADORES DINAMICOS**

Los balanceadores estáticos previamente descritos dependen totalmente de la fuerza de gravedad en el centro de gravedad. Como resultado, con un balanceador estático, esto no es posible para medir el desbalance del componente de acoplamiento. Para detectar el desbalance de acoplamiento la parte debe ser girada. Tal balanceador es llamado centrífugo o dinámico. Los balanceadores dinámicos consisten de 2 tipos: suspensión suave y suspensión rígida.

Los balanceadores dinámicos más comunes sujetan la pieza de trabajo con una barra como eje horizontal. Existen, sin embargo, balanceadores suaves y rígidos verticales también.

***Por favor vea el diagrama en la pagina siguiente, la cual tiene un comparativo de un sistema de suspensión suave y rígida.***

## SUSPENSION DURA vs. SUSPENSION SUAVE



**DISLOCACION DE SUSPENSION DE MAQUINA DE BALANCE  
EXCITADA POR UN DESBALNCE CONSTANTE A VARIAS  
VELOCIDADES DE CORRIDO**

## **BALANCEADORES DINAMICOS DE SUSPENSION SUAVE**

También se refieren como balanceadores de soporte suave. Los balanceadores de suspensión suave operan sobre la frecuencia de resonancia de la suspensión del balanceador. Con este tipo de balanceadores la parte forzada libre en el plano horizontal y rota sobre el eje principal de inercia. La amplitud de la vibración es medida en el punto de soporte para determinar la cantidad de desbalance. Hay problemas en usar la información medida para corregir el balance de una parte. Cada parte individual tiene su propio factor de calibración y su propia interferencia de información de corrección. Dicho de otra manera, si una parte balanceada tiene un peso de desbalance agregado en un plano de corrección, la información necesaria para predecir la nueva línea de eje vertical no es disponible. Un peso causa vibración en ambas suspensiones y la amplitud y el radio de estas 2 vibraciones no es conocida. Cuando la influencia de un peso en un segundo plano es agregada, no es posible separar la información sobre los 2 pesos.

Para determinar la calibración y el factor de interferencia, los pesos de ensayo deben ser agregados individualmente en cada plano, y la reacción medida. Cuando se usa una parte desbalanceada el efecto de desbalance inicial debe ser removido de las mediciones de peso de ensayo. Cuando estos factores han sido determinados, cada canal lee solo el desbalance en el plano de corrección correspondiente. Estos 2 canales entonces tienen lo que es llamado separación de plano. La desventaja principal de los balanceadores de suspensión suaves es el requerimiento de disposición extra de giros para la calibración de diferentes tamaños y pesos de piezas de trabajo.

## **BALANCEADORES DINAMICOS DE SUSPENSION RIGIDA**

Son también definidos como balanceadores de soporte rígidos. Los balanceadores de suspensión rígida operan a velocidades por debajo de la frecuencia de resonancia de las suspensiones. La amplitud de la vibración es pequeña, y la fuerza centrífuga generada por el desbalance es medida en la base del soporte. Con un balanceador de suspensión dura es solamente necesario calibrar la fuerza medida una vez. Esta única calibración es típicamente realizada por el constructor del balanceador en sus propias instalaciones.

Usando la fuerza medida y la velocidad exacta medida, la electrónica del balanceador puede calcular la corrección la cual es requerida en los planos de la base del soporte. Sin embargo, como las correcciones no pueden ser medidas en los planos de soportes, la información de desbalance debe ser traducida a los 2 planos de corrección. Para el cálculo, la localización de los planos de corrección relacionada a los planos de soporte son introducidas por el operador cuando el balanceador es configurado para una parte en particular.

Adicionalmente a las ventajas de ser calibrado intrínsecamente, los balanceadores de suspensión rígida son: fáciles de usar, seguros de usar, y proveen soporte de trabajo rígido. Con los balanceadores de suspensión rígida es posible proveer soportes mantenidos para manejar la carga negativa la cual puede ser generada cuando una parte es corrida fuera de la base de los soportes.

Todos los balanceadores descritos son implementados con electrónicos análogos. Sin embargo, los cálculos básicos requeridos para la separación de planos y traslación de planos requieren circuitos complicados, los cuales alternadamente requieren ajuste y disposición.

Los computadores electrónicos son idealmente satisfactorios para estas aplicaciones. Adicionalmente las computadoras electrónicas pueden memorizar configuraciones de partes para fácil recopilación, y colección de datos de desbalance, y proveen información estadística, y salida de datos a una impresora o disco duro.



Main: (734) 769-2100  
Fax: (734) 769-2542  
Service: (734) 214-2678

---

**Balance Technology Inc**  
7035 Jomar Drive, Whitmore Lake, MI 48189  
[www.balancetechnology.com](http://www.balancetechnology.com)

## **SUMARIO:**

Virtualmente todos los componentes rotatorios experimentan significativas mejoras en calidad si son balanceados. En el mercado global de hoy los consumidores buscan los mejores productos disponibles por su dinero. Ellos demandan desempeño máximo, minimizar tamaño, y bajo costo. Adicionalmente todo debe ser más pequeño, más eficiente, más poderoso, más ligero, de corrida suave y de mayor duración.

Como la demanda continua incrementando, los componentes balanceados mantendrán los ingredientes esenciales, balancear será siempre una de las maneras más rentables de proveer calidad a los productos de los clientes.