SECCION CIENTIFICA

BALANZAS Y PESADAS

(CONTINUACION)

Por el Dr. Domingo Giribaldo

V. Sensibilidad de la balanza. Pesadas por interpolación

La sensibilidad de una balanza de precisión se mide por el desplazamiento que sufre la posición de equilibrio de la aguja bajo la influencia de una sobrecarga determinada. En una balanza perfecta la desviación que produce una sobrecarga **m** viene dada por la expresión:

$$\text{tg. } \alpha = \frac{m\, l}{\mathrm{T}\, d} \qquad (3)$$

en la que α es el ángulo de desviación de la cruz; T, el peso de la cruz; **l**, la longitud de los brazos de la cruz, y **d**, la distancia que media entre el centro de gravedad de la cruz y la arista del cuchillo central. Según esta fórmula, la sensibilidad de una balanza es independiente de la carga que se ponga en sus platillos y de la desviación que sufra la cruz bajo la influencia de la sobrecarga, lo que en rigor no es verdad, como veremos más adelante.

Prácticamente se expresa la sensibilidad por los grados de la escala de la balanza que se desplaza la posición de equilibrio bajo la influencia de la unidad de sobrecarga o sea un miligramo.

Sean: **d**, la posición de equilibrio de la aguja antes de agregar la sobrecarga, y d^1, la que toma déspués de agregar una sobrecarga de **m**, miligramos. De acuerdo con la definición expresada, se tiene para la sensibilidad, **s**:

$$s = \frac{\text{tg } \alpha}{m} = \frac{d^1 - d}{m} \qquad (4)$$

También se puede expresar la sensibilidad de una balanza por los miligramos necesarios para desplazar un grado de la escala la posición de equilibrio de la aguja. Este valor es inverso del precedente; llamándolo **n**, se tiene:

$$n = \frac{1}{s} = \frac{m}{d^1 - d} \qquad (5)$$

La sensibilidad de una balanza no es, empero, constante, sino que varía con la carga y con la desviación de la cruz. En las balanzas de precisión bien construídas y reguladas, la sensibilidad disminuye ligeramente con el aumento de la carga que se pone en sus platillos. Como veremos enseguida, si se conoce la sensibilidad de una balanza a la carga a que se está operando, es posible abreviar la pesada, dándola por concluída antes de haber colocado sobre los platillos en la regla del reiter el peso necesario para llevar de nuevo la posición de equilibrio al cero de la balanza descargada. Esta sensibilidad se la puede determinar en el momento de la pesada, lo que es más preciso, o también se la puede calcular mediante una gráfica previamente preparada, lo que no es tan preciso, pero es más rápido.

Dado que la sensibilidad de una balanza varía gradualmente co nla carga, es posible construir para cada balanza una curva que dé la sensibilidad para las distintas cargas. Para ésto se determina una vez por todas la sensibilidad con distintas cargas, comprendidas entre cero y la máxima que admita la balanza, y con los datos obtenidos se traza una curva, expresando las cargas en abscisas y las correspondientes sensibilidades en ordenadas. Así, por ejemplo, en una balanza de Rueprecht, de alta precisión, con teclado para colocar en el platillo desde fuera de la caja las fracciones del gramo, y con dispositivo para disminuir la sensibilidad, en forma que cada grado de desviación de la escala corresponda, sucesivamente, a un decigramo y a un centigramo, se obtuvieron los resultados siguientes, en la determinación de la variación de la sensibilidad con el aumento de la carga:

Cargas	=	0	50	100	150	200 g.
Sensibilidad	=	3,9	3,7	3,5	3,35	3,2

En las buenas balanzas bien reguladas la sensibilidad varía muy poco con la carga y casi siempre en sentido decreciente con el aumento de la carga. Pero puede suceder que, por defectos de regulación, la sensibilidad varíe grandemente con la carga. Con una balanza aperiódica de Curie, de escala micrométrica, que en el transporte había perdido la regulación originaria de fábrica, se obtuvieron los resultados siguientes:

Cargas	=	0	50	100	150	200 g.
Sensibilidad	=	1,48	1,77	2,21	2,85,	4,30

Como se ve, en esta balanza la sensibilidad crece mucho con el aumento de la carga. Más adelante, al estudiar la teoría de la balanza, hallaremos la explicación de esta anormalidad.

Las sucesivas desviaciones que sufre la cruz de una balanza bajo la influencia de sobrecargas iguales agregadas sucesivamente, no es la misma para todas las sobrecargas, sino que van decreciendo con el aumento de la desviación de la cruz o, dicho de otro modo, las desviaciones no son exactamente proporcionales a las sobrecargas que las producen. La expresión (3) dá la sensibilidad de la balanza cuando la cruz está en la posición horizontal. Como veremos más adelante, la sensibilidad de una balanza perfecta viene dada en realidad por la expresión siguiente:

$$s = \frac{1}{\top\, d} \cos^2 \propto \qquad (6)$$

en la que $\propto$ es el ángulo de desviación de la cruz. Como se ve por esta fórmula, la sensibilidad de una balanza es proporcional, en igualdad de las demás condiciones, al cuadrado del coseno del ángulo de desviación de la cruz. Será máxima cuando el ángulo $\propto$ sea igual a cero, es decir, cuando la cruz se halle en la posición horizontal, e irá disminuyendo con el aumento de la desviación, porque en esas condiciones los valores de $\mathrm{Cos}^2 \propto$ tienden hacia cero.

No obstante, para pequeñas desviaciones, tales como las que se producen en las pesadas de precisión, se puede admitir que hay proporcionalidad entre las sobrecargas y las desviaciones que provocan, dado que los valores de Cos. $\propto$ son en estos casos todos muy cercanos de la unidad. Las pesadas por interpolación están basadas en este supuesto.

Para pesar un objeto se comienza por determinar la posición del cero de la balanza descargada, el cual puede coincidir o no, según hemos dicho antes, con el cero de la escala. Luego se coloca el objeto a pesar en el platillo de la izquierda y se van colocando pesas ordenadamente, por sus valores marcados decrecientes, hasta llevar la posición de equilibrio de la aguja otra vez al cero de la balanza descargada. El peso del objeto es igual, si los dos brazos de la cruz son de la misma lonigtud, al de las pesas que se han colocado en el platillo de la derecha.

Se puede abreviar mucho la pesada calculando por interpolación, mediante las desviaciones observadas, las últimas fracciones del gramo.

Sea P el peso total de las pesas que se han colocado en el platillo de la derecha y supongamos que este peso es ligeramente diferente, en menos o en más, del justamente necesario para llevar la balanza al cero. Sean, por otra parte, $\mathbf{d^0}$ la posición del cero de la balanza descargada; **d** la posición de equilibrio con la carga P, y d^1 la posición de equilibrio con la carga P + **m**. Si se admite proporcionalidad entre las sobrecargas y las desviaciones que provocan, se puede calcular mediante una simple proporción el peso que habría que agregar a la carga P para llevar la posición de equilibrio del sitio **d**, correspondiente a la carga P, al d^0, correspondiente a la balanza descargada.

Se tiene, en efecto:

$$\frac{m}{d^1 - d} = \frac{x}{d^0 - d}$$

De donde:

$$x = m \frac{d^0 - d}{d^1 - d} \qquad (7)$$

De modo que el peso exacto del objeto será, si se expresa **m** en miligramos:

$$X = P + m \frac{d^0 - d}{d^1 - d} \text{ mg.} \qquad (8)$$

Si se conoce la sensibilidad de la balanza correspondiente a la carga a que se opera, la que puede obtenerse mediante la gráfica de que hemos hablado, se puede evitar la tercera determinación de la posición de equilibrio. En este caso se tiene para el peso exacto del objeto:

$$X = P + \frac{d^0 - d}{s} \text{ mg.} \qquad (9)$$

o, también:

$$X = P + (d^0 - d)n \text{ mg.} \qquad (10)$$

El signo de las expresiones (8), (9) y (10) indica, siempre que en las pesadas se haya procedido ordenadamente en la anotación de las desviaciones y que sólo se hayan colocado pesas en el platillo de la derecha, si se ha de agregar al peso P o restar del mismo la fracción que arroja la interpolación.

Como se ve, la aplicación de la expresión (8) exige la determinación, bajo la misma carga a que se opera, de la sensibilidad de la balanza en el momento en que se hace la pesada. Pero en los casos ordinarios se pueden utilizar, sin error apreciable, los datos de las curvas de sensibilidad.

Como ya lo hemos dicho, es en las pesadas por interpolación donde mejor se ponen de manifiesto las ventajas que resultan de suponer colocado el cero de la escala en el extremo derecho de la misma.

Damos a continuación un ejemplo numérico de pesada por interpolación. La balanza que se utilizó era una pequeña de Sartorius, de brazos cortos, de 50 gramos de capacidad y de 0.2 milígramos de sensibilidad.

1.º Determinación de la posición de equilibrio de la balanza descargada:

A^1	A^2	A^3	A^4	b^1	b^2	b^3
4,0	3,9	3,8	3,5	7,5	7,0	7,0
5,2	5,5	6,0	6,2	17,5	17,2	17,0

De donde resulta para la posición buscada, aplicando al cálculo la expresión general (1):

$$d^0 = -1{,}7 \quad \text{y} \quad d^0 = 11{,}5$$

2.º Determinación de la posición de equilibrio de la balanza cargada con el objeto a pesar en el platillo de la izquierda y la carga, P, de 22 g. 830, en el de la derecha:

A^1	A^2	A^3	A^4	b^1	b^2	b^3
7,0	6,8	6,5	6,0	7,6	7,0	6,7
6,2	6,3	6,4	6,6	14,3	14,1	14,0

De donde resulta para la posición de equilibrio:

$$d = -0{,}25 \quad \text{y} \quad d = 10.1$$

3.º Determinación de la nueva posición de equilibrio que adquiere la balanza después de agregar una sobrecarga, **m**, de 5 miligramos en el platillo de la derecha:

A^1	A^2	A^3	A^4	b^1	b^2	b^3
2,3	2,0	1,8	1,5	9,4	9,1	8,9
8,4	8,8	9,0	9,2	18,6	18,1	18,3

De donde resulta para la posición de equilibrio:

$$d_1 = -3{,}6 \quad \text{y} \quad d = 13{,}6$$

De los datos que preceden resulta para el peso exacto del objeto, por aplicación de la expresión (8):

a) El cero de la graduación se supone colocado en la parte central de la escala:

$$X = 22 \text{ g. } 830 + 5. \frac{-1{,}7-(-0{,}25)}{-3{,}6-(-0{,}25)} \text{ mg.} = 22 \text{ g. } 8322$$

b) El cero de la graduación se supone colocado en el extremo derecho de la escala:

$$X = 22 \text{ g. } 830 + 5. \frac{11{,}5 - 10{,}1}{13{,}6 - 10{,}1} \text{ mg.} = 22 \text{ g. } 8320$$

La primera determinación arroja para la sensibilidad de la balanza, según la expresión (4):

$$s = \frac{d^1 - d}{m} = \frac{-3{,}6-(-0{,}25)}{5} = 0.67$$

o sea:

$$n = \frac{1}{s} = 1{,}5$$

Y con los datos de la segunda determinación se obtiene para la sensibilidad:

$$s = \frac{13{,}6 - 10{,}1}{5} = 0{,}7 \quad \text{y} \quad n = 1{,}4$$

Los datos de este ejemplo fueron obtenidos en una operación ordinaria, sin mayor preocupación por la exactitud, hecha por un alumno como ejercicio práctico de aplicación. De intento he puesto en él frente a frente los resultados de las dos operaciones. Así se podrán apreciar prácticamente, en primer lugar, las ventajas que resultan de colocar el cero de la escala en el extremo derecho de la misma, con lo que se evita el engorro de los signos, y, en segundo lugar, se podrá ver la discordancia, admisible en los casos ordinarios con balancitas de esta clase, entre los resultados de dos o más operaciones. Cada grado de la escala de estas balancitas no tiene más de un milímetro de ancho, siendo el espesor de la aguja mayor que el tercio de este espacio. En tales condiciones no es razonable esperar resultados con una aproximación mayor que el quinto de grado, aun cuando la lectura de las elongaciones se haga con ayuda de una lente de aumento.

Compañeros:

«Ph» es una revista estudiantil, y os brinda generosamente sus columas para exponer vuestros ideales de perfeccionamiento.