

**ABC de pesada
METTLER TOLEDO.**

El trabajo correcto
con balanzas analíticas y
microbalanzas electrónicas.



El trabajo correcto con balanzas analíticas y microbalanzas electrónicas

Introducción	3
Emplazamiento de la balanza	4
Manejo de la balanza	6
Efectos físicos	8
Términos técnicos	16

Introducción

Pesar es uno de los trabajos más frecuentes en el laboratorio. Las modernas microbalanzas, semimicrobalanzas y balanzas analíticas (precisión de indicación 0,1 µg hasta 0,1 mg) han sido perfeccionadas actualmente hasta el punto que no suele ser necesaria una sala de balanzas.

El progreso tecnológico en electrónica ha permitido simplificar considerablemente el manejo, reducir fuertemente los tiempos de pesada y hacer las balanzas tan adaptables que hoy pueden ser integradas directamente en un proceso de producción.

Ciertamente este progreso entraña el peligro de que se dé poca importancia a los efectos perturbadores del entorno. Se trata generalmente de efectos físicos que las microbalanzas, semimicrobalanzas y balanzas analíticas pueden medir, pero no suprimir, pues son variaciones de peso reales (por ejemplo, evaporación lenta, absorciones de humedad), o fuerzas que actúan sobre la carga y el platillo (por ejemplo, magnetismo, electricidad estática) que la balanza registra igualmente como variaciones de peso.

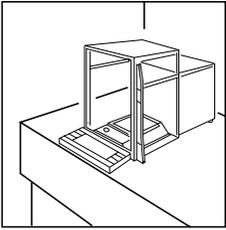
Con la presente información queremos referirnos a los puntos más importantes a tener en cuenta cuando se trabaja con balanzas micro, semimicro y analíticas y se exigen resultados de pesada de alta calidad.

Después de unas breves referencias al emplazamiento y manejo adecuados de las balanzas se discuten en particular los efectos perturbadores del entorno sobre la determinación del peso. La mayor parte de estos efectos se reconoce por una lenta variación de la indicación del peso (deriva).

Puesto que la interpretación correcta de las características técnicas tiene también suma importancia para valorar un resultado de pesada, al final se explican los términos técnicos más corrientes.

Emplazamiento de la balanza

La exactitud o fiabilidad de los resultados de pesada guarda una estrecha relación con el emplazamiento de la balanza. A continuación se señalan los puntos a tener en cuenta.

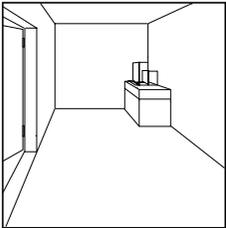


Mesa de pesar

- Debe transmitir cuantas menos vibraciones mejor.
- No debe ceder cuando se trabaja sobre ella (p. ej. mesa de laboratorio estable, cuerpo de laboratorio, mesa de piedra).
- Debe estar protegida contra la electricidad estática (no tener plástico ni vidrio).
- Sólo debe descansar sobre el suelo o sólo ir sujeta a la pared, pero no las dos cosas a la vez (para evitar la transmisión simultánea de vibraciones de pared y suelo).
- Debe quedar reservada como puesto de trabajo para la balanza.

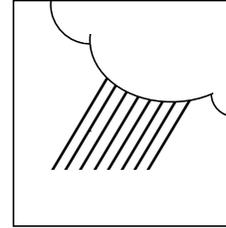
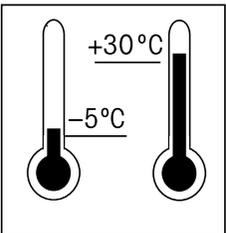
Habitación de trabajo

- Debe tener muy pocas vibraciones.
- Sólo debe tener un acceso (corrientes de aire).
- Debe tener las menos ventanas posibles (peligro de radiación solar directa).
- Se deben dejar las esquinas de la habitación libres para la mesa de pesar, pues constituyen los lugares más rígidos de un edificio con las menores vibraciones.



Temperatura

- La temperatura ambiente debe mantenerse lo más constante posible para evitar la deriva térmica (típica 1–2 ppm/°C).
- No se debe pesar cerca de radiadores.
- Las balanzas METTLER TOLEDO con proFACT (professional fully automatic calibration technology) pueden compensar ampliamente la deriva térmica residual. Por tanto, proFACT debe estar siempre conectada.

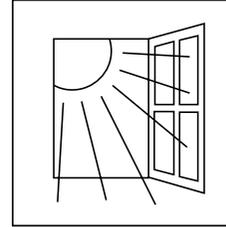


Humedad del aire

- La humedad relativa debe oscilar entre 45 y 60 %. En el caso de microbalanzas se recomienda un control continuo (corregir las variaciones siempre que sea posible).

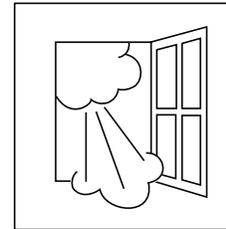
Luz

- Evitar la radiación solar directa (p. ej. pared sin ventanas).
- Los cuerpos de iluminación deben instalarse a distancia suficiente de la mesa de pesar para evitar la radiación térmica perturbadora, sobre todo cuando se utilizan bombillas incandescentes. Los tubos fluorescentes son menos críticos.



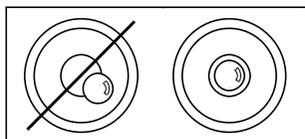
Aire

- No pesar cerca de acondicionadores de aire o aparatos con ventiladores (p. ej. ordenadores).
- Evitar la proximidad de radiadores, que además de calor (deriva térmica) producen con frecuencia fuertes corrientes de aire.
- No pesar al lado de una puerta.



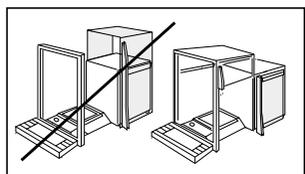
Manejo de la balanza

Las balanzas micro, semimicro y analíticas son instrumentos de medida de máxima precisión. Los puntos siguientes le ayudarán a obtener rápidamente resultados de pesada fiables.



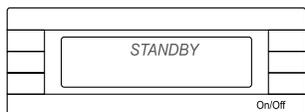
Nivelación

- Ver si la burbuja de aire del nivel se encuentra en el centro y corregir si fuera necesario girando las patas regulables. A continuación calibrar la balanza.



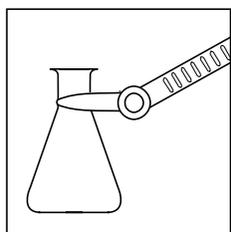
Corta-aires

- En el caso de balanzas METTLER TOLEDO con corta-aires configurable (p. ej. la serie AT) ajustarlo de forma que su abertura sea mínima.
- En el caso de balanzas METTLER TOLEDO con corta-aires convencional (p. ej. AG), abrirlo sólo lo necesario para poder poner la carga cómodamente. (Se evitan así turbulencias de aire y cambios de temperatura.)



Conexión

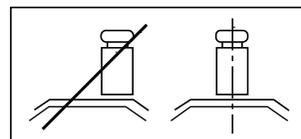
- Dejar la balanza siempre en la red y conectada para que pueda establecerse en su interior un equilibrio térmico.
- Desconectar la balanza únicamente con la tecla de tara; así se encuentra en el Standby Mode y la electrónica está desde ese momento bajo corriente (no necesita tiempo de calentamiento).



Recipiente de pesada

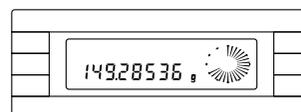
- Utilizar un recipiente lo más pequeño posible.
- Evitar el uso de recipientes de plástico y si la humedad atmosférica es inferior a 30–40%, también los de vidrio, ya que se pueden cargar electrostáticamente (ver página 11, Electricidad estática).
- El recipiente y la carga en él contenida deben estar a la misma temperatura que el entorno. Si hay diferencias de temperatura se producen corrientes de aire y cambios en la película de agua que cubre recipiente y carga (ver página 9, Temperatura).

- No llevar el recipiente a la cámara de pesada con las manos. Estas podrían alterar la temperatura y la humedad del aire de la cámara y del recipiente, con la consiguiente perturbación del proceso de medida.



Platillo

- Colocar la carga en el centro del platillo para evitar errores por carga descentrada.
- En el caso de microbalanzas y semimicrobalanzas, después de una pausa prolongada (>30 min) el platillo debe cargarse primero una vez brevemente (efecto de primera pesada).
- Retirar la carga del platillo una vez terminado el proceso de medida. Con ello se evita que la carga cambie la temperatura y la humedad del aire en la cámara de pesada.



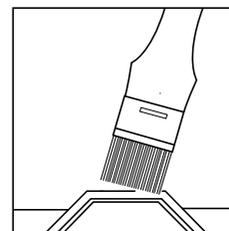
Lectura

- Comprobar que la balanza señala exactamente cero al empezar a pesar y tarar si es preciso. Con ello se evitan errores del cero.
- Ajustar el control de estabilidad automático de acuerdo con las necesidades particulares. Cuando se apaga el símbolo del control de estabilidad (= emisión del resultado de pesada), leer enseguida el resultado.



Calibración

- Calibrar la balanza periódicamente, sobre todo la primera vez que se pone en funcionamiento, cuando se cambia de emplazamiento, después de nivelarla y después de grandes cambios de temperatura, humedad o presión atmosférica. En el caso de balanzas METTLER TOLEDO con proFACT, que se calibran solas de forma automática, no es necesaria esta operación.



Limpieza

- Tener limpios cámara de pesada y platillo.
- Para pesar, utilizar únicamente recipientes limpios.

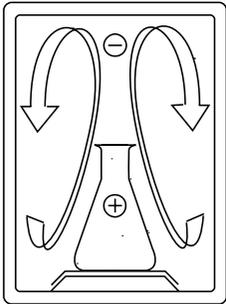
Efectos físicos

Si la lectura del peso es inestable, el resultado aumenta o disminuye lentamente, o simplemente aparecen valores erróneos, muchas veces se debe a efectos físicos desfavorables.

Los motivos más frecuentes son:

- Manipulación incorrecta de la carga.
- Emplazamiento incorrecto de la balanza.
- Absorción o desprendimiento de humedad de la carga.
- Cargas o recipientes con electricidad estática.
- Cargas o recipientes magnéticos.

En el capítulo siguiente le mostraremos estos efectos y explicaremos las causas y posibles remedios.

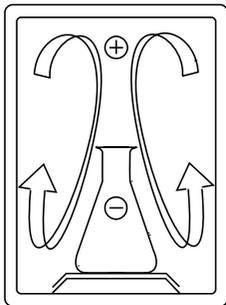


Temperatura

Efecto: La indicación del peso varía de forma continua en un sentido.

Motivo: Existe una diferencia de temperatura entre carga y entorno que produce corrientes de aire a lo largo del recipiente. El aire que barre el recipiente, más caliente, genera una fuerza dirigida hacia arriba que falsea el resultado: por ello el peso es menor (empuje dinámico). El efecto no desaparece hasta que se ha establecido un equilibrio de temperatura. El efecto contrario aparece cuando la carga es más fría que el entorno.

El cambio experimentado por la película acuosa que cubre todo cuerpo se superpone al empuje dinámico. La película acuosa cambia con la temperatura. La regla es: un objeto frío aparece más pesado y un objeto caliente más ligero. Este efecto es muy importante en las pesadas diferenciales con microbalanzas (control de la temperatura)

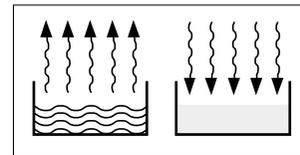


Ejemplo: Con el experimento siguiente puede Vd. ensayar el empuje dinámico: Pesar un matraz Erlenmeyer o recipiente similar, anotar el peso, sostener el recipiente durante 1 minuto en la mano, repetir la

pesada: el recipiente aparece más ligero. (El sudor de la mano influye poco sobre este efecto. Si no fuera así, la muestra pesaría más).

Remedio:

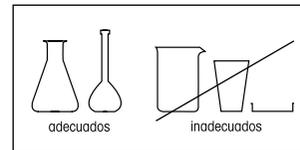
- No pesar ninguna muestra nada más sacarla del desecador o del frigorífico.
- Aclimatar la carga (carga = temperatura de laboratorio/cámara de pesada).
- Agarrar la muestra con pinzas.
- No tocar la cámara de pesada con las manos para no calentarla.
- Elegir recipientes con poca superficie.



Absorción de humedad/evaporación

Efecto: El peso de una carga aumenta o disminuye de forma continua.

Motivo: Vd. mide la pérdida de peso de sustancias volátiles o la evaporación de agua. El aumento de peso debe achacarse a una carga higroscópica (absorción de humedad del aire). Con alcohol y gel de sílice puede Vd. reproducir este efecto.

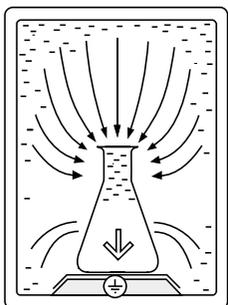


Remedio:

- Utilizar recipientes limpios y secos y no tener el plato de carga con suciedad o gotas de agua.
- Utilizar recipientes de cuello estrecho.
- Poner tapa.
- Utilizar el soporte triangular METTLER TOLEDO (210435) en lugar de apoyos de corcho o cartón (ambos pueden absorber o desprender mucha humedad).

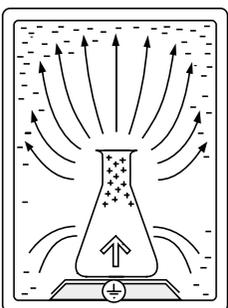
Electricidad estática

Efecto: Un recipiente presenta diferentes pesos en cada pesada. La lectura del peso es inestable. El resultado se reproduce mal.



Motivo: Su recipiente se ha cargado de electricidad estática. Los materiales de alto grado de aislamiento eléctrico, como son la mayor parte de los recipientes de pesar (vidrio, plásticos), pueden experimentar este efecto, cuyo origen principal es la fricción durante la manipulación o el transporte de materiales (sobre todo de polvos y granulados). Si el aire es seco (humedad relativa del aire inferior al 40% = mala conductividad superficial), esta electricidad estática ya no se puede disipar o sólo lo hace muy lentamente a lo largo de horas.

Los errores de pesada se deben a las fuerzas electrostáticas que actúan entre la carga y el entorno. La regla es: si la electricidad de la carga y el entorno es del mismo signo (+,+ ó -,-) ambos se repelen, pero si es diferente (+,- ó -,+) se atraen. Estas fuerzas electrostáticas pueden ser medidas por las balanzas micro, semimicro y analíticas y dan lugar a los errores de pesada señalados. Cuando frota Vd. un recipiente de plástico con un paño de lana o de seda, presenta justamente este efecto.



Remedio: La electricidad estática de la carga ha de ser desviada o apantallada. Para tal fin se tienen las posibilidades siguientes:

– Aumentar la humedad del aire por medio de un aparato evaporador o un ajuste adecuado del acondicionador de aire.

Esto ha de hacerse sobre todo en invierno, dentro de habitaciones con calefacción (humedad relativa del aire ideal 45–60%).

– Apantallar las fuerzas electrostáticas (colocar el recipiente dentro de otro recipiente metálico).

– Utilizar otros recipientes de pesada:

Plástico	Vidrio	Metal
malo	bueno	muy bueno

- Utilizar una de las pistolas «antiestáticas» disponibles en el mercado. Estas pistolas no tienen la misma eficacia con todos los materiales.
- Poner la balanza a tierra (y por tanto el platillo). En las balanzas METTLER TOLEDO esta puesta a tierra es automática a través del enchufe de alimentación de tres polos.

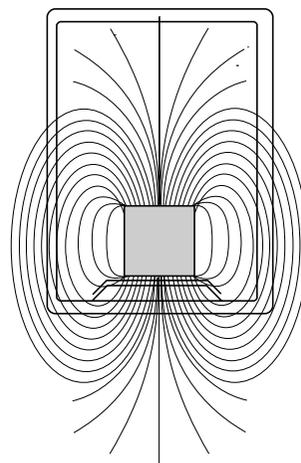
Magnetismo

Efecto: Un objeto presenta un peso diferente según su posición sobre el platillo. El resultado se reproduce mal.

Motivo: Vd. pesa un material magnético. Los objetos magnéticos y el hierro se atraen mutuamente. Las fuerzas adicionales producidas son interpretadas así erróneamente como carga.

Remedio:

- Siempre que sea posible hay que desmagnetizar la carga ferromagnética (hierro, acero, níquel, etc.).
- Puesto que la fuerza se hace menor a medida que aumenta la distancia, se puede separar la carga del platillo por medio de una base no magnética (por ejemplo, vaso, soporte de aluminio).
- El mismo efecto puede obtenerse con un dispositivo para pesar bajo la balanza (incorporado en serie en la mayor parte de las balanzas METTLER TOLEDO micro, semimicro y analíticas).
- En la medida de lo posible, METTLER TOLEDO utiliza siempre materiales no magnéticos para reducir este efecto al mínimo.
- Apantallar las fuerzas magnéticas (poner la carga en un recipiente de hierro o mumental).

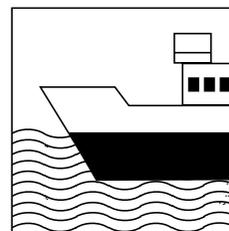


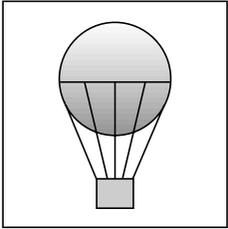
Empuje estático

Efecto: Una carga no tiene el mismo peso en el aire que en el vacío.

Motivo: «Un cuerpo pierde un peso igual al peso del medio por él desplazado» (Ley de Arquímedes).

Con esta ley se puede explicar por qué un barco flota, un globo vuela o una carga puede mostrar un peso diferente según la presión atmosférica.

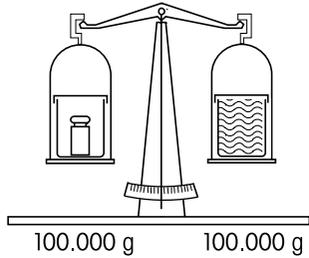




El medio que rodea nuestras cargas es el aire. La densidad del aire es de unos $1,2 \text{ kg/m}^3$ (depende de la temperatura y de la presión atmosférica). Por tanto, el empuje de la carga (cuerpo) es $1,2 \text{ kg/m}^3$.

Ejemplo: Si ponemos una pesa de calibración de 100 g en un vaso sobre una balanza de cruz y a continuación echamos agua a un vaso igual puesto en el otro platillo hasta que la balanza alcance el equilibrio, ambas cargas, pesadas en el aire, pesen 100,000 g.

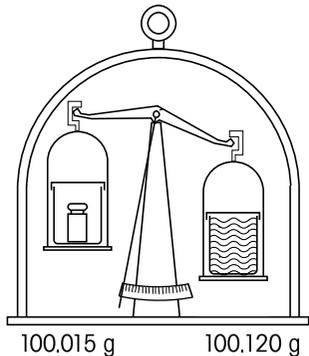
Si a continuación encerramos la balanza en una campana de cristal y hacemos el vacío, la balanza se inclina del lado del agua, que por su volumen desplaza más aire y, por tanto, experimenta un mayor empuje. En el vacío no existe el empuje.



	Pesa de calibración	Agua
Peso en el aire	100,000 g	100,000 g
Densidad	8000 kg/m ³	1000 kg/m ³
Volumen	12,5 cm ³	100 cm ³
Empuje	12,5 cm ³ x 1,2 mg/cm ³ = 15 mg	100 cm ³ x 1,2 mg/cm ³ = 120 mg
Peso en vacío	100,015 g	100,120 g

Remedio:

- Puesto que la balanza se calibra con pesas de densidad $8,0 \text{ g/cm}^3$, cuando se pesan cargas con densidad distinta se origina un error por empuje del aire. En pesadas de gran exactitud de medida (sobre todo con microbalanzas) corregir convenientemente el peso visualizado.
- Si se hacen pesadas en días diferentes (pesadas diferenciales, pesadas comparativas), controlar presión atmosférica, humedad del aire y temperatura y calcular la densidad exacta del aire.



Procedimiento para determinar la masa:

1. Calcular la densidad del aire

$$a \approx \frac{0,348444 \times p - (0,00252 \times t - 0,020582) \times h}{273,15 + t}$$

- a = densidad del aire en kg/m³
- p = presión atmosférica en hPa (mbar)
- h = humedad relative del aire en %
- t = temperatura en °C

2. Corregir el empuje del aire

$$m \approx R \frac{1 - \frac{a}{8000 \text{ kg/m}^3}}{1 - \frac{a}{p}}$$

m = masa
 R = indicación de la balanza
 p = densidad de la carga en kg/m³

Ejemplo:

- Indicación de la balanza 200,0000 g
- Presión atmosférica 1018 hPa
- Humedad relative del aire 70%
- Temperatura 20 °C
- Densidad de la carga 2600 kg/m³

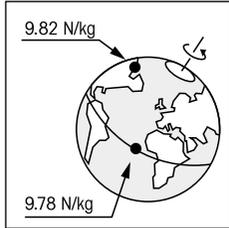
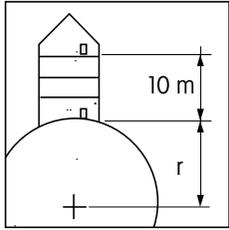
$$a \approx \frac{0,348444 \times 1018 - (0,00252 \times 20 - 0,020582) \times 70}{273,15 + 20} \text{ kg/m}^3$$

$$a \approx 1,2029 \text{ kg/m}^3$$

$$m \approx 200,0000 \text{ g} \frac{1 - \frac{1,2029}{8000}}{1 - \frac{1,2029}{2600}} \approx 200,0625 \text{ g}$$

Observación:

- En el laboratorio se trabaja normalmente sin corrección (error sistemático). Si se pesan cantidades pequeñas el error es despreciable.



Gravitación

Efecto: La indicación del peso varía cuando la pesada se hace a una altura 10 m mayor (por ejemplo, subiendo del primer piso al cuarto piso de un edificio).

Motivo: Para determinar el peso de un cuerpo la balanza mide la fuerza gravitatoria, es decir, la fuerza de atracción entre la Tierra y la carga. Esta fuerza depende principalmente de la latitud del lugar de instalación y de su altura sobre el mar (distancia al centro de la Tierra). La regla es:

1. Cuanto más alejado esté un peso del centro de la Tierra, menor es la fuerza gravitatoria que actúa sobre él. Esta disminuye con el cuadrado de la distancia.
2. Cuanto más cerca esté un lugar del Ecuador, mayor es la aceleración centrífuga producida por la rotación terrestre, la cual se opone a la fuerza de atracción (fuerza gravitatoria). Por tanto la fuerza gravitatoria que actúa sobre una masa es máxima en los Polos y mínima en el Ecuador.

Así, pues, la variación del peso se debe a una reducción de la fuerza gravitatoria y, puesto que disminuye con el cuadrado de la distancia, el factor de la variación se puede calcular en la forma siguiente.

Ejemplo: Si una pesa de 200 g señala en el primer piso 200,00000 g exactos, en el cuarto piso (10 m más alto) se obtiene la siguiente variación de peso:

$$200,00000 \text{ g} \frac{(r_{\text{Tierra}})^2}{(r_{\text{Tierra}} + 10 \text{ m})^2} \approx 200,00000 \text{ g} \frac{(6\,370\,000 \text{ m})^2}{(6\,370\,010 \text{ m})^2} \approx 199,99937 \text{ g}$$

Remedio:

- Calibrar la balanza cada vez que se cambia de sitio.
- Utilizar balanzas con proFACT (professional fully automatic calibration technology) incorporada, por ejemplo, balanzas analíticas METTLER TOLEDO de la serie AT.

Términos técnicos

Balanza analítica

Balanzas METTLER TOLEDO con una precisión de indicación de 1 d (1 dígito) = 0,1 mg = 0,0001 g

FACT

Fully Automatic Calibration Technology (calibración a motor totalmente automática). La más moderna técnica de calibración de METTLER TOLEDO. La calibración es controlada continuamente por un micro-procesador y activada automáticamente si hay desviaciones de la sensibilidad.

Linealidad

La linealidad predice hasta qué punto la balanza puede seguir la relación lineal entre la carga puesta y el valor mostrado. Para ello se representa una recta como curva característica de pesada entre carga cero y carga máxima.

Por otro lado, la no linealidad define la anchura de la banda dentro de la cual puede presentarse una desviación más o menos medida de la curva característica ideal.

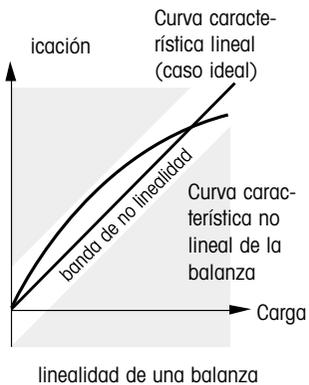
La desviación de la forma lineal de la curva característica se eleva, por ejemplo en la METTLER TOLEDO AT261, a $\pm 0,15$ mg como máximo a lo largo de todo el campo de pesada de 200 g.

Microbalanza

Balanzas METTLER TOLEDO con una precisión de indicación de 1 d (1 dígito) = 1 μ g = 0,000001 g.

Precisión de indicación

Precisión de indicación de una balanza es la mínima diferencia entre dos medidas que se puede leer en el indicador. En un indicador digital esa diferencia es el escalón numérico mínimo, llamado también valor de paso.



Las precisiones de indicación (o valores de paso) son, por ejemplo, en balanzas analíticas escalón numérico 0,1 mg
en semimicrobalanzas escalón numérico 0,01 mg.
Vd. puede cambiar la precisión de indicación de una AT: Por ejemplo, en la zona analítica de 0,1 mg a 0,2 mg, 0,5 mg ó 1 mg.

Repetibilidad

La repetibilidad es una medida de la capacidad de una balanza para proporcionar los mismos resultados en pesadas repetidas con igual carga y en condiciones de medición constantes.

Sobre todo en el caso de balanzas de alta resolución (zona semimicro) el valor de la repetibilidad no es sólo una característica dada por la balanza. La repetibilidad depende también de las condiciones ambientales (corrientes de aire, fluctuaciones de temperatura, vibraciones) y a veces de la práctica de la persona que pese.

El ejemplo siguiente muestra una serie de medidas típica ejecutada en una semimicrobalanza con una precisión de indicación de 0,01 mg.

$x_1 = 27,51467$ g
 $x_2 = 27,51466$ g
 $x_3 = 27,51468$ g
 $x_4 = 27,51466$ g
 $x_5 = 27,51465$ g
 $x_6 = 27,51467$ g
 $x_7 = 27,51467$ g
 $x_8 = 27,51466$ g
 $x_9 = 27,51468$ g
 $x_{10} = 27,51467$ g

Ahora queremos determinar la media y la repetibilidad de esta serie de medidas.

Media:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

x_i : resultado i de la serie de medidas
 N : número de medidas (pesadas), normalmente 10
La media es $\bar{x} = 27,514667$ g

Desviación típica:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Como medida de la repetibilidad se utiliza la desviación típica s . Por consiguiente, la repetibilidad de la serie de medidas es $s = 0,0095$ mg.

La incertidumbre del resultado medido constituye aproximadamente el doble al triple de la repetibilidad:
 $u \approx 2s \dots 3s$

es decir, el resultado verdadero x se encuentra dentro del intervalo

$$x - u < x < x + u$$

En nuestra serie de medidas $u \approx 2 \times s \approx 2 \times 0,01$ mg = 0,02 mg, por lo que el resultado de pesada se puede expresar con:

$$x \pm u = 27,51467 \text{ g} \pm 0,02 \text{ mg}$$

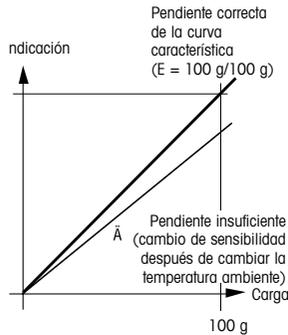
Por tanto, con la balanza utilizada en la serie de medidas anterior, el valor mínimo que cabe esperar para esta carga es 27,51465 g y el máximo 27,51469 g, lo que coincide bien con la serie de medidas.

Semimicrobalanza

Balanza analítica METTLER TOLEDO con una precisión de indicación de 1 d (1 dígito) = 0,01 mg = 0,00001 g.

Deriva de sensibilidad

Coefficiente de temperatura de la sensibilidad: La variación de temperatura de la sensibilidad es la desviación reversible del valor medido bajo la influencia de una variación de temperatura del entorno. Se expresa mediante el coeficiente de temperatura de la sensibilidad (TC), el cual indica la desviación en tanto por ciento de la indicación del peso (o de la pesada inicial) por grado Celsius. El coeficiente de temperatura de la sensibilidad es en la AT 0,0001%/°C.



cto de la variación de temperatura sobre el resultado. La variación de temperatura de una balanza hace que cambie la pendiente correcta de la curva característica bajo el efecto de la temperatura ambiente, es decir, se aumenta o, como muestra gráfica, disminuya.

Esto quiere decir que al variar la temperatura 1 grado Celsius la sensibilidad varía 0,0001%, o una millonésima.

El coeficiente de temperatura puede calcularse en la forma siguiente:

$$TC = \frac{\Delta E}{\Delta T} = \frac{\left(\frac{\Delta R}{m}\right)}{\Delta T} = \left(\frac{\Delta R}{m \times \Delta T}\right)$$

siendo ΔE la variación de la sensibilidad y ΔT la variación de la temperatura. La variación de la sensibilidad es igual a la variación del resultado ΔR dividido por la carga pesada m , o después del tarado, mediante la pesada inicial.

Con estos datos se puede calcular la desviación de interés del resultado medido a una variación de temperatura dada si transformamos la ecuación anterior. Para el valor del indicador obtenemos así:

$$\Delta R = (TC \times \Delta T) m$$

Si Vd. pesa sobre la AT una carga (pesada inicial) de 100 g y la temperatura ambiente del laboratorio ha cambiado 5 °C desde la última calibración, puede haber la siguiente variación máxima del resultado ΔR (con el coeficiente de temperatura de la AT de 0,0001%/°C):

$$\Delta R = (TC \times \Delta T) m = (0,0001\%/^{\circ}\text{C} \times 5 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times 100 \text{ g} = 0,5 \text{ mg}$$

Por el contrario, si la carga es sólo 100 mg, es decir, 1000 veces menor, la desviación máxima también disminuiría proporcionalmente y sería sólo 0,5 µg.

Ultramicrobalanza

Balanzas METTLER TOLEDO con una precisión de indicación de 1 d (1 dígito) = 0,1 µg = 0,0000001 g.

Bibliografía

Diccionario METTLER TOLEDO de términos de pesada
La nueva balanza analítica AT de METTLER TOLEDO
Instrucciones de manejo METTLER TOLEDO

Mettler-Toledo GmbH

CH-8606 Greifensee, Switzerland
Phone (01) 944 22 11, Fax (01) 944 30 60
Internet: <http://www.mt.com>

- AT Mettler-Toledo GmbH.**, A-1100 Wien
Tel. (01) 604 19 80, Fax (01) 604 28 80
- AU Mettler-Toledo Ltd.**, Port Melbourne, Victoria 3207
Tel. (03) 9644 57 00, Fax (03) 9645 39 35
- BE N.V. Mettler-Toledo s.a.**, B-1932 Zaventem
Tel. (02) 334 02 11, Fax (02) 334 03 34
- BR Mettler-Toledo Ltda.**, 06455-000 Barueri/São Paulo
Tel. (11) 7295 1692, Fax (11) 421 3459
- CA Mettler-Toledo Inc.**, Ontario, Canada
Tel (800) 638-8537 Fax (905) 681-8036
- CH Mettler-Toledo (Schweiz) AG**, CH-8606 Greifensee
Tel. (01) 944 45 45, Fax (01) 944 45 10
- CN Mettler-Toledo (Shanghai) Ltd.**, Shanghai 200233
Tel. (21) 6485 04 35, Fax (21) 6485 33 51
- CZ Mettler-Toledo, spol. s.r.o.**, CZ-12000 Praha 2
Tel. (02) 25 49 62, Fax (02) 242 475 83
- DE Mettler-Toledo GmbH**, D-35353 Giessen
Tel. (0641) 50 70, Fax (0641) 507 128
- DK Mettler-Toledo A/S**, DK-2600 Glostrup
Tel. (43) 270 800, Fax (43) 270 828
- ES Mettler-Toledo S.A.E.**, E-08908 Barcelona
Tel. (93) 223 76 00, Fax (93) 223 76 01
- FR Mettler-Toledo s.a.**, F-78222 Viroflay
Tel. (01) 309 717 17, Fax (01) 309 716 16
- HK Mettler-Toledo (HK) Ltd.**, Kowloon
Tel. (02) 744 12 21, Fax (02) 744 68 78
- HR Mettler-Toledo, d.o.o.**, HR-10000 Zagreb
Tel. (01) 230 41 47, Fax (01) 41 233 63 17
- HU Mettler-Toledo, KFT**, H-1173 Budapest
Tel. (01) 288 40 40, Fax (01) 288 40 50
- IN Mettler-Toledo India Pvt Ltd**, Mumbai 400 072
Tel. (22) 857 08 08, Fax (22) 857 50 71
- IT Mettler-Toledo S.p.A.**, I-20026 Novate Milanese
Tel. (02) 333 321, Fax (02) 356 29 73
- JP Mettler-Toledo K.K.**, Tokyo 143
Tel. (3) 5762 0606, Fax (3) 5762 0756

- KR Mettler-Toledo (Korea) Ltd.**, Seoul (135-090)
Tel. (02) 518 20 04, Fax (02) 518 08 13
- KZ Mettler-Toledo CA**, 480009 Almaty
Tel. (07) 3272 980 834, Fax (07) 3272 980 835
- MY Mettler-Toledo (M) Sdn. Bhd.**, 40150 Selangor
Tel. (603) 784 55 773, Fax (603) 784 58 773
- MY Mettler-Toledo (S.E.A.)**, 40150 Selangor
Tel. (603) 784 55 373, Fax (603) 784 53 478
- MX Mettler-Toledo S.A. de C.V.**, México C.P. 06430
Tel. (05) 547 57 00, Fax (05) 541 65 13
- NL Mettler-Toledo B.V.**, NL-4004 JK Tiel
Tel. (0344) 638 363, Fax (0344) 638 390
- PL Mettler-Toledo, Sp. z o.o.**, PL-02-929 Warszawa
Tel. (22) 651 92 32 Fax (22) 651 71 72
- RU Mettler-Toledo C.I.S. AG**, 10 1000 Moskau
Tel. (95) 921 92 11, Fax (95) 921 63 53
- SE Mettler-Toledo AB**, S-12008 Stockholm
Tel. (08) 702 50 00, Fax (08) 642 45 62
- SG Mettler-Toledo (S) Pte. Ltd.**, Singapore 139959
Tel. 6890 00 11, Fax 6890 00 12
- SK Mettler-Toledo**, SK-82104 Bratislava
Tel. (02) 434 27 496, Fax (02) 433 37 190
- SI Mettler-Toledo, d.o.o.**, SI-1236 Trzin
Tel. (01) 562 1801, Fax (01) 562 1789
- TH Mettler-Toledo (Thailand) Ltd.**, Bangkok 10310
Tel. (02) 7230300, Fax (02) 7196479
- TW Mettler-Toledo Pac Rim AG**, Taipei
Tel. (2) 2579 59 55, Fax (2) 2579 59 77
- UK Mettler-Toledo Ltd.**, Leicester, LE4 1AW
Tel. (0116) 235 70 70, Fax (0116) 236 63 99
- US Mettler-Toledo, Inc.**, Columbus, OH 43240
Tel. (614) 438 4511, Fax (614) 438 4900

For all other countries:

Mettler-Toledo GmbH
PO Box VI-400, CH-8606 Greifensee
Phone (01) 944 22 11, Fax (01) 944 31 70