

OBJETO.

El objeto del presente PROCESO DE CALIBRACIÓN es definir la pauta utilizada en el software CALIBRO para la calibración de juegos de masas, que se deriva de los procesos de calibración SCI M-001, de forma que permitan obtener resultados trazables y homogéneos.

CAMPO DE APLICACIÓN.

El presente PROCESO DE CALIBRACION es de aplicación a los JUEGOS DE MASAS con valores nominales que van desde 1 mg a 50 Kg. y cuyas clases de precisión sean:

F1, F2, M1, F, M2 y 0 (designación **OIML**)

También es aplicable a juegos de masas correspondientes a otras designaciones nacionales o internacionales con características metroológicas similares a las anteriores. Por ejemplo:

S1, P, Q y T (designación **ANSI**)

PROCESO DE CALIBRACIÓN

GENERALIDADES.

Calibrar un juego de masas consiste en realizar un conjunto de operaciones metroológicas, que tienen como fin asegurar que cada una de las masas que componen el juego se halla dentro de los límites de una determinada **clase de precisión**.

En la figura 1 (hoja nº 2) se ofrece una tabla de clasificación de juegos de masas, según la recomendación de la OIML, nº RI-20, así como de la norma ANSI.

En esta tabla figuran los límites de la "máxima desviación permitida" (**mdp**) en cada masa patrón con respecto de su valor nominal. Las clases E1 y E2 - que corresponden a patrones de control - caen fuera del alcance de este proceso de calibración.

La masa que se obtiene en este proceso de calibración de cada pieza midiendo no es la "masa verdadera" (o masa real, medida en el vacío), sino su **masa convencional**.

Se llama **masa convencional, masa aparente, o valor convencional pesado**, al valor de masa que se determina en el mesurado bajo las "condiciones convencionales". Estas condiciones son:

- a) Referencia a masas patrón de masa volumétrica de 8000 kg. m⁻³, a una temperatura de 20 °C.
- b) Efectuada la comparación en el seno del aire cuya masa volumétrica sea de 1,2 kg.m⁻³.

Como en la práctica metroológica no se dan estas condiciones, el **valor pesado** que se obtiene no es exactamente la "masa convencional". Esta se determina incorporando al "valor pesado" las correcciones pertinentes:

En la **operación de calibrado** de un juego de masas han de considerarse dos casos:

- En los juegos cuyas piezas carecen de cavidad de ajuste, consiste en comprobar y certificar su clase de precisión.
- En los demás juegos de piezas con "cavidad de ajuste", se requiere, además, si fuese necesario, el **ajuste** de sus piezas para que satisfagan los requisitos de su clase de precisión.

El calibrado de las masas se compone de los siguientes pasos:

- a) Obtención del **valor pesado**: Se logra mediante alguno de los procedimientos o métodos de pesado.
- b) Introducción, si procede, de las debidas **correcciones** y determinación de la **masa convencional**.
- c) Estimación de la incertidumbre.

CLASIFICACIÓN DE JUEGOS DE PESAS												
VALOR NOMINAL	CLASES (SEGÚN LA OILM)								CLASES (SEGÚN LA N/ANSI)			
	Máxima desviación permitida (mdp) en ± mg								mdp , en ± mg			
	E1	E2	F1	F2	M1	F	M2	0	S-1	P	Q	T
5000 kg	2500	7500	25000	75000	250000		800000	2500000				
2000 kg	1000	3000	10000	30000	100000		320000	1000000				
1000 kg	500	1500	5000	15000	50000		160000	500000		20000	50000	150000
500 kg	250	750	2500	7500	25000		80000	250000		10000	25000	75000
200 kg	100	300	1000	3000	10000		32000	100000		4000	10000	30000
100 kg	50	150	500	1500	5000		16000	50000		2000	5000	15000
50 kg	25	75	250	750	2500	5000	8000	25000		1000	2500	7500
25 kg										500	1200	4500
20 kg	10	30	100	300	1000	2000	3200	10000	200	400	1000	3800
10 kg	5	15	50	150	500	1000	1600	5000	100	200	500	2200
5 kg	2,5	7,5	25	75	250	500	800	2500	50	100	250	1400
3 kg									30	60	150	1000
2 kg	1,0	3,0	10	30	100	200	400	1000	20	40	100	750
1 kg	0,50	1,5	5	15	50	100	200	500	10	20	50	470
500 g	0,25	0,75	2,5	7,5	25	50	100	250	5	10	30	300
300 g									3	6	20	210
200 g	0,10	0,30	1,0	3,0	10	20	50	100	2	4	15	100
100 g	0,05	0,15	0,5	1,5	5	10	30	100	1	2	9	100
50 g	0,030	0,10	0,30	1,0	3,0	7	30		1	1,2	5,6	62
30 g									0,9	0,9	4	44
20 g	0,025	0,080	0,25	0,8	2,5	3	20		0,35	0,7	3	33
10 g	0,020	0,060	0,20	0,6	2,0	2	20		0,25	0,5	2	21
5 g	0,015	0,050	0,15	0,5	1,5	2	10		0,18	0,36	1,3	13
3 g									0,15	0,3	0,95	9,4
2 g	0,012	0,040	0,12	0,4	1,2	2	5		0,13	0,26	0,75	7
1 g	0,010	0,030	0,10	0,3	1,0	1	5		0,1	0,2	0,5	4,5
500 mg	0,008	0,025	0,08	0,25	0,8	1			0,08	0,16	0,38	3
300 mg									0,07	0,14	0,3	2,2
200 mg	0,006	0,020	0,06	0,2	0,6				0,06	0,12	0,26	1,8
100 mg	0,005	0,015	0,05	0,15	0,5				0,05	0,1	0,2	1,2
50 mg	0,004	0,012	0,04	0,12	0,4				0,042	0,085	0,16	0,88
30 mg									0,038	0,075	0,14	0,68
20 mg	0,003	0,010	0,03	0,10	0,3				0,035	0,07	0,12	0,56
10 mg	0,002	0,008	0,025	0,08	0,25				0,030	0,06	0,1	0,4
5 mg	0,002	0,006	0,020	0,06	0,20				0,028	0,055	0,08	
3 mg									0,026	0,052	0,07	
2 mg	0,002	0,006	0,020	0,06	0,20				0,025	0,05	0,06	
1 mg	0,002	0,006	0,020	0,06	0,20				0,025	0,05	0,05	

Fig. 1
Tabla de valores de masas

ELEMENTOS NECESARIOS.

Los elementos básicos necesarios para efectuar la determinación del valor de la **masa convencional** de cada mesurando son:

- a) Masas patrón de control.
 - b) Instrumentos de medición.
- a) **Masas patrón de control**, que son piezas de las que se conoce su masa "masa aparente" dentro de una incertidumbre.

Es imprescindible que estos juegos de masas se hallen certificados con trazabilidad garantizada.

Por motivos de una mayor fiabilidad metrológica, las masas patrón que se empleen como referencia en la calibración deben ser preferentemente macizas, es decir, sin cavidad de ajuste.

Asimismo, la masa volumínica de cada pieza patrón debe ser tal que una desviación de la masa volumínica del aire de $\pm 10\%$ del valor de $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ causaría como máximo una desviación en la determinación de la masa de $\frac{1}{4}$ **mdp**. Por este motivo, los materiales usados en las masas patrón suelen ser de masas volumínicas próximas a la standard; ello hace que, normalmente, no suela ser necesario introducir correcciones por empuje del aire.

Es requisito necesario que la incertidumbre, **up** de la masa empleada como patrón sea igual o menor que $\frac{1}{3}$ de la "máxima desviación permitida", **mdp**, del mesurando:

$$up \leq \frac{1}{3} \cdot mdp$$

Las masa patrón han de manejarse con sumo cuidado: las de tamaño pequeño se asirán mediante pinzas con extremos de cubierta blanda o de plástico; las medianas, empleando guante de algodón; las mayores, con ayuda de horquillas de madera. Han de permanecer dentro del laboratorio de calibración a temperatura controlada.

- b) Instrumentos de medición.

Básicamente son las balanzas de laboratorio. Estas pueden ser de varios tipos: de brazos iguales, monoplato, o comparador.

El laboratorio de calibración de masas debe disponer de un conjunto de estos instrumentos de manera que con él se pueda cubrir la calibración de los mesurandos en los campos que abarca desde 1 mg hasta 50 kg. Con el fin de eliminar discontinuidades de calibración, o "lagunas metrológicas" indeseables, se requiere que el alcance máximo del campo de medida de una balanza solape ampliamente la pesada mínima de la balanza que cubra el intervalo del rango siguiente.

Las balanzas han de estar debidamente calibradas; esto es, han de tener certificados, al menos, los parámetros metrológicos esenciales: sensibilidad; valor de escalón (en balanzas monoplato); y la variabilidad.

Para la calibración de un mesurando ha de utilizarse la balanza cuyo campo de medida y características metrológicas sean las adecuadas. Su variabilidad α ha de ser menor o igual a $1/4$ de la desviación máxima permitida (**dmp**) correspondiente a la clase de precisión del mesurando.

El manejo de estos instrumentos de laboratorio metrológico ha de efectuarse siguiendo rigurosamente las indicaciones que figuran en el correspondiente manual de fabricante. De modo especial han de tenerse en cuenta las normas relativas al nivelado, colocación de piezas en los platillos, manejos del dispositivo de bloqueo, ajuste de cero, tarado, amortiguación, etc.

Las balanzas electrónicas monoplato deben estar energizadas eléctricamente por lo menos desde una hora antes de comenzar una operación de pesado.

Estos instrumentos han de hallarse debidamente nivelados, sobre montajes antivibratorios adecuados de campos electrónicos fuertes. Asimismo, la sala debe contar con climatización controlada, de modo que durante el proceso de medición de masas no se den variaciones desviaciones de temperatura superiores a $1K/h$.

MÉTODOS DE PESADO.

Se llaman así a los diversos procedimientos que se emplean para la comparación de masas mediante balanzas. Con ellos se obtiene el **valor pesado** del mesurando.

Método directo. (En balanzas de brazos iguales).

Se procede así:

- Soltar suavemente el bloqueo de la balanza.
- Determinar el **punto de reposo** (o "posición de equilibrio") sin carga alguna: **PR1**.

Para ello se deja oscilar libremente la cruz, de forma que el arco recorrido por el índice del fiel se halle dentro de la escala graduada.

Se prescindirá de las cuatro o cinco primeras semioscilaciones. A continuación, se anotará el **punto de inversión, a**, en donde se produce la máxima amplitud de una semioscilación; después, la indicación **b** en la siguiente semioscilación; finalmente, el punto **c** en la tercera. Estas indicaciones se leerán visualmente, o por medios ópticos, siguiendo las instrucciones del manual. Han de considerarse el signo de las divisiones ("+" a la derecha del "0"; y "-" a la izquierda del punto "0").

El valor del **PR** será:

$$PR = 1/4 (a+2b+c) \quad (1)$$

La formula del PR, en este caso, es:

$$PR = 1/6.(a+c+e) + 1/4.(b+d) \quad (2)$$

- Colocar el mesurando, **m**, en la parte central del platillo de la izquierda (l). Cargar con masas patrón, **p**, el platillo de la derecha (d), hasta un valor próximo al equilibrado.
- Soltar el bloqueo y dejar que el fiel se mueva. Colocar, si es preciso, mas pesas para conseguir que el fiel oscile dentro de los límites del limbo graduado.
- Calcular el "punto de reposo" con esta carga (**PR2**).

El esquema de estas operaciones se da en la figura 2.

OPERACIÓN DE PESADO	POSICIÓN DE LAS MASAS		PUNTOS DE INVERSION			PUNTOS DE REPOSO (div)
	l	D	a	b	c	
1ª	---	---				PR1:
2ª	m	p				PR2:

Fig.2- Hoja de trabajo para el **método directo**

- Multiplicar la sensibilidad de la balanza a dicha carga (**Sc**) por la diferencia entre los puntos de reposo (**PR2-PR1**). Será el valor de la "**corrección**".
- Al valor total de las masas convencionales puestos en el platillo D sumarle algebraicamente la corrección obtenida en el paso anterior. El resultado será el **valor pesado** del mesurando, **VPm**:

$$VPm = Mp + Sc \cdot (PR2 - PR1) \tag{3}$$

www.gesdocal.es

Método Directo (Cuando se desconoce el valor de la sensibilidad de la balanza a la carga del mesurando).

Han de realizarse tres operaciones de pesado, según se indica en la figura 3 (hoja de trabajo para este método):

- Obtener el punto de reposo, **PR1**, con la balanza sin carga, tal como se describe en el punto 3.1.1.
- Obtener el **PR2**, con el mesurando, **m**, colocado en el platillo l y las masas patrón, **p**, en el platillo D.
- Obtener el **PR3**, una vez añadida una masa de sensibilidad (de valor **Ms**, certificado) en el platillo .

OPERACIÓN DE PESADA	POSICIÓN DE LAS MASAS		PUNTOS DE INVERSION			PUNTOS DE REPOSO (div)
	I	D	a	b	c	
1ª	---	---				PR1:
2ª	m	p				PR2:
3ª	m+s	p				PR3:

Fig. 3- Hoja de trabajo para el **método directo**

La sensibilidad, **Sc**, vale:

$$S_c = \frac{M_s}{(PR2 - PR1)} \tag{4}$$

- Determinar el **valor pesado** del mesurando, **VPm**, mediante la expresión:

$$VP_m = M_p + M_s \cdot (PR2 - PR1) / (PR3 - PR2) \tag{5}$$

Método de la transposición de Gauss (o de la doble pesada)

Consiste en pesar un mesurando por el método directo dos veces: una con el mesurando en el platillo I, y la otra con el mesurando en el platillo D.

Las operaciones de pesado quedan esquematizadas en la figura nº 4.

OPERACIÓN DE PESADO	POSICIÓN DE LAS MASAS		PUNTOS DE INVERSION			PUNTOS DE REPOSO (div)
	I	D	a	b	c	
1ª	---	---				PR1:
2ª	m	p				PR2:
3ª	p	m				PR3:

Fig. 4- Hoja de trabajo para el **método Gauss**

La sensibilidad, conocida es **Sc**.

El valor pesado del mesurando se calcula mediante la expresión:

$$VP_m = \sqrt{[M_p + S_c(PR2 - PR1)][M_p - S_c(PR3 - PR1)]} \quad (6)$$

Método de la doble transposición.

Colocar el mesurando en el platillo I.

- Colocar la masa (o masas) patrón en el platillo D.
- Soltar el bloqueo de la balanza. Prescindir de las cuatro o cinco primeras semioscilaciones. Anotar los puntos de inversión de cinco semioscilaciones sucesivas.

Puede emplearse una hoja de trabajo, como la fig. 5.

- Calcular el punto de reposo, **PR1**, de la primera operación de pesada.

OPERACIÓN DE PESADA	POSICIÓN DE LAS MASAS		PUNTOS DE INVERSION					PUNTOS DE REPOSO (div)
	I	D	a	b	c	d	e	
1ª	m	p						PR1:
2ª	p	m						PR2:
3ª	p+s	m						PR3:
4ª	m+s	p						PR4:

Fig.5- Hoja de trabajo para el **método de doble transposición**.

- Transponer mesurando y patrón; es decir, cambiarlos entre sí de platillos.
- Dejar oscilar la balanza. Anotar cinco puntos de inversión consecutivos. Calcular **PR2**.
- Añadir una " masa de sensibilidad", de valor certificado, **Ms**, en el platillo I.
- Anotar cinco puntos de inversión sucesivos. Determinar el nuevo punto de reposo, **PR3**.
- Transponer de nuevo las masas **m** y **p**.
- Realizar la operación de pesada n°4, determinando el punto de reposo **PR4**.
- Calcular el valor de la sensibilidad, **Sc**, a esta carga mediante la expresión:

$$S_c = \frac{M_s (PR4 - PR1 + PR3 - PR2)}{2 \cdot (PR3 - PR2)(PR4 - PR1)} \quad (7)$$

- Obtener el **valor pesado** aplicando la siguiente formula:

$$VPm = Mp + 1 / 2Sc(PR1 - PR2) \quad (8)$$

Método de sustitución.

- Colocar el **mesurando, m**, en el platillo I.
- Colocar una tara (generalmente un frasco con granalla) en el platillo D con masa suficiente para que la oscilación del fiel se halle dentro de la escala graduada.
- Determinar el punto de reposo **PR1**.
- Sustituir el **mesurando** por las **masas patrón** hasta obtener un nuevo punto de reposo, **PR2**, que, a ser posible, se halle dentro de ± 5 divisiones del **PR1**.
- Se **retira el patrón**, y se **coloca el mesurando**. Se obtiene un punto de reposo, **PR3**.

OPERACIÓN DE PESADA	POSICIÓN DE LAS MASAS		PUNTOS DE INVERSION					PUNTOS DE REPOSO (div)
	I	D	a	b	c	d	e	
1ª	m	tara						PR1:
2ª	p	tara						PR2:
3ª	m	tara						PR3:

Fig.6- Ficha de trabajo para el **método de SUSTITUCIÓN**.

- El **valor pesado** del **mesurando, VPm**, será:

$$VPm = Mp + 1 / 2 (PR1 - 2 PR2 + PR3) \cdot Sc \quad (9)$$

siendo **Sc** la sensibilidad de la balanza a la carga empleada.

- Para conseguir una mayor precisión, repetir la pesada varias veces y hallar la media aritmética de los valores pesados obtenidos.

Método de BORDA (cuando se desconoce la sensibilidad a la carga del mesurando) .

- Añade al procedimiento anterior una nueva operación de pesada, una vez que en el platillo I se agregue una masa de la sensibilidad, **S**, de valor certificado.
- El método completo se esquematiza en la fig. 7

OPERACIÓN DE PESADA	POSICIÓN DE LAS MASAS		PUNTOS DE INVERSION					PUNTOS DE REPOSO (div)
	I	D	a	b	c	d	e	
1ª	m	tara						PR1:
2ª	p	tara						PR2:
3ª	m	tara						PR3:
4ª	m+s	tara						PR4:

Fig. 7- Ficha de trabajo para el **método BORDA**

- El valor de la sensibilidad, **Sc**, será:

$$Sc = Ms / (PR4 - PR3) \tag{10}$$

- El valor pesado del mesurando, **VPm**, se calcula mediante la expresión:

$$VPm = Mp + 1/2 (PR1 - 2 PR2 + PR3) \cdot Ms / (PR4 - PR3) \tag{11}$$

Método de simple sustitución (En balanzas monoplato).

- Realizar el bloqueo de los diales de la balanza y hacer el ajuste del cero, sin carga alguna.
- Colocar la masa patrón, **p**, en la parte central del platillo.
- Efectuar la lectura de la escala digital, siguiendo las instrucciones del manual del fabricante. Anotar en la hoja de trabajo (fig. 8) esta lectura, **L1**.
- Hacer el bloqueo de la balanza. Retirar la masa patrón.
- Comprobar la nueva indicación de cero. Si fuese mayor que el **mdp** que se señala en la tabla 1, repetir los pasos anteriores.
- Hacer el ajuste de cero, sin carga alguna.

- colocar la masa patrón, **p**, y la masa de sensibilidad, **s**, juntamente en el platillo.
- Efectuar la lectura correspondiente, **L2**, y anotarla en la hoja de trabajo.
- Hacer el bloqueo de la balanza. Retirar las masas.
- Hacer el ajuste del cero, sin carga alguna.
- Colocar el mesurando, **m**, en la parte central del platillo.
- Efectuar la lectura correspondiente, **L3**.

OPERACIÓN DE PESADO	CARGA	LECTURA
1ª	p	L1:
2ª	p+s	L2:
3ª	m	L3:

Fig. 8 -

Ficha de trabajo por el método de **simple sustitución**.

- El **valor de escalón** (V_{esc}), es:

$$V_{esc} = M_s / (L_2 - L_1) \tag{12}$$

- El **valor pesado** del mesurando, se determina aplicando la expresión:

$$VP_m = M_p + M_s (L_3 - L_1) / (L_2 - L_1) \tag{13}$$

Método de la doble sustitución (En balanzas monoplato).

La forma de actuación es semejante a la de simple sustitución, pero siguiendo las operaciones que se indican esquemáticamente en la fig. 9.

OPERACIÓN DE PESADO	CARGA	LECTURA
1ª	p	L1:
2ª	m	L2:
3ª	m+s	L3:
4ª	p+s	L4:

Fig. 9 - Ficha de trabajo para el método de **doble sustitución** (Balanza monoplato)

- El **valor de escalón** se obtiene mediante la fórmula:

$$V_{esc} = \frac{1}{2} M_s \frac{L_4 - L_1 + L_3 - L_2}{(L_1 - L_4) \cdot (L_2 - L_3)} \quad (14)$$

- El **valor pesado** del mesurando puede determinarse con la siguiente expresión:

$$V_{Pm} = M_p + \frac{1}{4} M_s \frac{(L_1 - L_2 - L_3 + L_4) \cdot (L_1 + L_2 - L_3 - L_4)}{(L_1 - L_4) \cdot (L_2 - L_3)} \quad (15)$$

CORRECCIONES

Los métodos descritos anteriormente ofrecen el **valor pesado** de un mesurando. A partir de éste ha de hacerse el ajuste para obtener el valor de la **masa convencional** (también denominada "masa aparente" o "valor convencional").

La masa convencional correspondiente a cada mesurando es la que debe figurar en el certificado de calibración.

El ajuste citado se consigue introduciendo las oportunas correcciones. Tratándose de juegos de masas de las clases **E1** y **E2** es necesario tener en cuenta algunas, como las debidas a: diferencia de altura entre centros de gravedad, fuerza de atracción de masas cercanas y variaciones de la gravedad. En este procedimiento, tales correcciones no son significativas. Así, pues, la única corrección que ha de considerarse es la debida al empuje ascensional del aire, o la corrección arquimediana.

Si una pieza mesurando y el patrón tuviesen la misma masa volumínica, la **masa convencional** coincidirá con el valor pesado.

Generalmente, las masas voluminicas de los mesurandos no coinciden con los del patrón. En este caso, es necesario introducir la corrección arquimediana, si este valor resultase significativo a efectos metrológicos.

Para calcular el valor de la corrección por el empuje ascensional del aire han de conocerse las masas volumínicas del aire, del patrón y del mesurando.

Masa volumínica del aire, ρ_a .

El valor de ρ_a . interviene en la determinación de la corrección debida al empuje ascensional del aire. Dicho valor depende de la presión atmosférica (P), de la temperatura del aire (t) y de la humedad relativa del aire (HRA).

Puede calcularse aplicando la fórmula:

$$\rho_a = [0,464\ 554.P - HRA (0,005\ 52.t - 0,020\ 582)] / (273,15 + t) \quad (16)$$

(P, en torr; HRA, en %; t, en °C; ρ_a , en Kg.cm⁻³)

También puede obtenerse a partir de la tabla siguiente (fig. 9)

Presión mmHg	TEMPERATURA (°C)															
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
800	1286	1281	1277	1272	1267	1263	1258	1254	1249	1244	1240	1235	1231	1226	1221	1217
790	1270	1265	1261	1256	1252	1247	1242	1238	1233	1229	1224	1220	1215	1211	1206	1202
780	1254	1249	1245	1240	1236	1231	1227	1222	1218	1213	1209	1204	1200	1195	1191	1186
770	1238	1233	1229	1224	1220	1215	1211	1206	1202	1197	1193	1189	1184	1180	1175	1171
760	1222	1217	1213	1208	1204	1199	1195	1191	1186	1182	1177	1173	1169	1164	1160	1156
750	1206	1201	1197	1192	1188	1184	1179	1175	1170	1166	1162	1158	1153	1149	1145	1140
740	1189	1185	1181	1176	1172	1168	1163	1159	1155	1151	1146	1142	1138	1133	1129	1125
730	1173	1169	1165	1160	1156	1152	1148	1143	1139	1135	1131	1126	1122	1118	1114	1110
720	1157	1153	1149	1144	1140	1136	1132	1128	1123	1119	1115	1111	1107	1103	1098	1094
710	1141	1137	1133	1128	1124	1120	1116	1112	1108	1104	1099	1095	1091	1087	1083	1079
700	1125	1121	1117	1113	1108	1104	1100	1096	1092	1088	1084	1080	1076	1072	1068	1064
690	1109	1105	1101	1097	1092	1088	1084	1080	1076	1072	1068	1064	1060	1056	1052	1048
680	1093	1089	1085	1081	1077	1073	1069	1065	1061	1057	1053	1049	1045	1041	1037	1033
670	1077	1073	1069	1065	1061	1057	1053	1049	1045	1041	1037	1033	1029	1025	1022	1018
660	1060	1057	1053	1049	1045	1041	1037	1033	1029	1025	1022	1018	1014	1010	1006	1002

Humedad relativa del aire HRA %

	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
5	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
10	2	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2
15	2	2	2	1	1	0	0	0	-1	-1	-2	-2	-2
20	3	3	2	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-3
25	4	3	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-3	-3	-4
30	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6

Fig. 9 Determinación de la masa volumínica del aire.

La masa volumínica del aire convencional es de $1,2 \text{ Kg.m}^{-3}$

En la determinación de las masas de las clases E1 y E2, especialmente en las piezas de mayor volumen, es indispensable calcular la ρ_a con suficiente exactitud.

La repercusión relativa que en la determinación de una masa origina una desviación de ρ_a de $\pm 0,1 \text{ Kg.m}^{-3}$ es del orden de $3 \cdot 10^{-6}$. Esta desviación es metrologicamente significativa, por ejemplo, en pesas superiores a 50 g de los juegos de clase F1.

Teniendo en cuenta las condiciones ambientales en las que se realiza una medición de masa, el metrologo deberá estimar en qué casos debe tener en cuenta el valor real de ρ_a .

Sin embargo, para efectos de aplicación de este procedimiento, es suficiente, en general, aplicar como valor de ρ_a el convencional, es decir, $1,2 \text{ Kg.m}^{-3}$.

www.gesdocal.es

Masa volumínica de un sólido.

La masa volumínica de una masa patrón, ρ_p , suele figurar en el certificado de calibración.

La masa volumínica de un mesurando, ρ_m , puede obtenerse con precisión suficiente para su empleo dentro de este procedimiento mediante una balanza hidrostática.

Es necesario conocer:

- El valor pesado del mesurando, V_{Pm} , en el seno del aire.
- El valor pesado del mesurando, cuando se encuentra sumergido en un líquido, V_{Pm1} .
- La masa volumínica del líquido.
- La masa volumínica del aire. (El ρ_a convencional es $= 1,2 \text{ Kg.m}^{-3}$).

La expresión que da el valor de la masa volumínica de un mesurando es:

$$\rho_m = V_{Pm} \cdot (\rho_l - \rho_a) / (V_{Pm} - V_{Pm1}) \quad (17)$$

Si el líquido que se emplea es agua destilada a 20°C, la fórmula práctica es:

$$\rho_m = 997 \cdot V_{Pm} / (V_{Pm} - V_{Pm1}) \tag{18}$$

V_{Pm} y V_{Pm1} se expresan en la misma unidad de masa.
 ρ_m vendrá expresado en Kg. m⁻³.

DETERMINACIÓN DE LA MASA CONVENCIONAL, (O MASA APARENTE).

Para obtener el valor de la **masa convencional** han de conocerse:

- V_{Pm} : valor pesado mesurando.
- ρ_a : masa volumínica del aire
- ρ_p : masa volumínica del patrón empleado.
- ρ_m : masa volumínica del mesurando.

La fórmula que expresa la **masa convencional** del mesurando es:

$$M_m = V_{Pm} [1 + \rho_a (\rho_p - \rho_m) / \rho_p (\rho_m - \rho_a)] \tag{19}$$

El factor de conversión de valor pesado a masa convencional, supuesto en aire convencional ($\rho_a = 1,2 \text{ Kg.m}^{-3}$) y los patrones ($\rho_p = 8000 \text{ Kg.m}^{-3}$) depende de la masa volumínica del mesurando, según se indica en la tabla siguiente:

Masa volumínica del mesurando ($\rho_p = 8000 \text{ Kg.m}^{-3}$)	Factor de conversión (por empuje del aire)
22 000	0,999 905
20 000	0,999 910
18 000	0,999 917
16 000	0,999 925
14 000	0,999 936
12 000	0,999 950
10 000	0,999 970
8 400	0,999 993
8 000	1,000 000
6 000	1,000 050
4 000	1,000 150
3 000	1,000 250
2 500	1,000 330
2 000	1,000 450
1 500	1,000 650
1 000	1,001 050
500	1,002 255

ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.

En teoría general, han de considerarse tres varianzas básicas, cuya suma constituye la varianza total:

- σ_p^2 : correspondiente al patrón.
- σ_b^2 : asociada a la variabilidad de la balanza.
- σ_m^2 : de las medidas de la masa convencional.

La varianza total, σt^2 , valdrá:

$$\sigma t^2 = \sigma p^2 + \sigma b^2 + \sigma m^2 \quad (20)$$

La aplicación de esta expresión es aconsejable, por ejemplo, en el método directo. Sin embargo, en otros métodos de pesado, más precisos, se opta por prescindir de σm , ya que, implícitamente, se halla absorbido dentro de σb .

En la práctica, pues, es suficiente aplicar la expresión menos conservadora, pero más real:

$$\sigma t^2 = \sigma p^2 + \sigma b^2 \quad (21)$$

Como incertidumbre asociada a la medida obtenida de la masa convencional, se toma:

$$um = k \cdot \sigma t \quad (22)$$

siendo **k** el factor de incertidumbre elegido (normalmente, se adopta el valor $k = 2$).

Nota.- En las medidas de masa de menor precisión (por ejemplo, las piezas de las clases F, M2, 0), y cuando se efectúa una única pesada, se puede adoptar simplemente como incertidumbre - en forma conservadora - la variabilidad de la balanza.

$$Um = \text{Variabilidad balanza} \quad (23)$$

ABREVIATURAS

- D:** Platillo de la derecha.
- I:** Platillo de la izquierda.
- L:** Lectura.
- m:** mesurando.
- mdp:** máxima desviación permitida.
- Mm:** masa convencional del mesurando.
- Mp:** masa convencional del patrón.
- Ms:** masa de sensibilidad.
- P:** patrón.
- PR:** punto de reposo.
- s:** pesa de sensibilidad.
- Sc:** sensibilidad de la balanza, a la carga C.
- Um:** Incertidumbre de la Um.
- Up:** Incertidumbre del patrón.
- Vesc:** valor de escalón.
- VPm:** valor pesado del mesurando.
- p:** masa volumínica.



Procedimiento de calibración de juego de masas de 1 mg a 50 Kg clases F1, F2, M1, F, M2, 0 is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 3.0 España License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/).

Based on a work at gesdocal.es.