

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MANUAL DE FABRICACION Y CALIBRACION DE MASAS PATRON
DE ACUERDO CON LOS DISTINTOS SISTEMAS Y SU COMPARACION

TESIS

Presentada a la junta directiva de la Facultad de Ingeniería por

Rafael Joj Chiquitó

Al conferírsele el título de

INGENIERO MECANICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 1997

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

MANUAL DE FABRICACION Y CALIBRACION DE MASAS PATRON
DE ACUERDO CON LOS DISTINTOS SISTEMAS Y SU COMPARACION

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 12 de abril de 1,994.

Atentamente,



Rafael Joj Chiquitó

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL 2	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana
VOCAL 5	Br. Wagner Guustavo López Cáceres
SECRETARIO	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Jesús Horacio Guerra
EXAMINADOR	Ing. Raymond Ludwin Tylor Cruz
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, 06 de junio de 1,995

Ing. Jorge Siguere,
Coordinador de la escuela de Ingeniería Mécanica,
Facultad de Ingeniería,
Universidad de San Carlos de Guatemala,
Ciudad Universitaria, zona 12,
Guatemala.

Ing. Siguere.

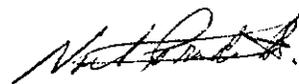
De conformidad con la designación que se me hiciera, he realizado la asesoría del trabajo de tesis titulada MANUAL DE FABRICACION Y CALIBRACION DE MASAS PATRON DE ACUERDO CON LOS DISTINTOS SISTEMAS Y SU COMPARACION, elaborado por el estudiante Rafael Joj Chiquitó, con carnet No. 89-16469, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Mecánico.

Después de revisarlo, lo he encontrado a mi entera satisfacción, por lo que considero que el trabajo de tesis presentado es aceptable, pues, el mismo, aporta conocimientos actualizados y directrices de diseño para la fabricación de masas patrón.

El autor y el asesor de esta tesis se hacen responsables del contenido y conclusiones de la misma.

Por lo anterior, me permito sugerir la aprobación del mismo.

Atentamente,



Ing. Noel Prado
Colegiado No. 2901
Asesor.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



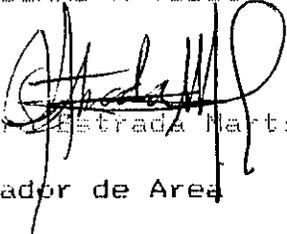
FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del área de Materiales y Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado **Manual de Fabricación y Calibración de Masas Patrón de Acuerdo con los Distintos Sinistemas y su Comparación**, del estudiante Rafael Joj Chiquitó, recomienda su autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. José Arturo Estrada Martínez
Coordinador de Área

Guatemala, enero de 1,997.

/behdei.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área de Materiales y Complementaria, al trabajo de tesis titulado **Manual de Fabricación y Calibración de Masas Patrón de Acuerdo con los Distintos Sistemas y su Comparación**, del estudiante Rafael Joj Chiquitó, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAR A TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR DE ESCUELA

Guatemala, enero de 1, 996.

/behdei





FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado **Manual de Fabricación y Calibración de Masas Patrón de Acuerdo con los Distintos Sistemas y su Comparación**, presentado por el estudiante universitario Rafael Joj Chiquitó, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

Guatemala, febrero de 1, 997.

/behdei.



AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Noel Prado por la asesoría prestada a mi trabajo de tesis, entregándose con toda dedicación y profesionalismo, así como su amistad y confianza.

Al instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial ICAITI, por permitir realizar mi trabajo de tesis en sus instalaciones, utilizar todo el equipo de medición necesario y facilitarme todo el material teórico necesario para culminar dicho trabajo.

A mis amigos por brindarme su atención y ayuda, de una u otra forma, para la realización de este trabajo.

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por iluminar y guiar mi vida

LA VIRGEN MARIA: Por darme su cariño y amor

**CON ESPACIAL CARIÑO
A MIS PADRES:**

Jacinto Joj y
Marianita Chiquitó de Joj
Por el amor eterno, sacrificio
y apoyo que me brindaron
desde el inicio de la carrera

HERMANOS:
Augusto, Alfredo
Byrón, Estelita,
Myra y Victor Hugo.

Por el apoyo que me
brindaron

SOBRINOS:
Edwin Augusto
Miriam y Nisaelito

Con mucho amor

ABUELOS:
Q.E.D.

Con mucho respeto, cariño y
amor

FAMILIARES:

Con mucho cariño

AMIGOS:

Por el apoyo brindado

**A LA FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN
CARLOS DE GUATEMALA**

Con el mayor respeto

INDICE GENERAL

DESCRIPCION	PAGINA.
Glosario de términos técnicos	01
Listado de gráficas y tablas	13
Introducción	14
Capítulo 1	
Clasificación OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) de Masas.	
Recomendaciones OIML. Concernientes a Pesas	15
Requerimientos para Masas Estándar de Trabajo	16
Los requerimientos de Exactitud	16
1.1. Trazabilidad	18
Jerarquía de los normales de masa	20
1.2. Por su exactitud	21
Tolerancias máximas aceptadas en las pesas	21
1.3. Forma general de las pesas	21
1.3.1. Pesas de 1 g ó múltiplos del gramo	21
1.3.1.1. Pesas de las clases E1, E2, y F1 ...	22
1.3.1.2. Pesa de la clase F2	22
1.3.1.3. Pesas de las clases M1, M2, M3	22
1.4. Composición de un juego de pesas	22
Capítulo 2	
Materiales de fabricación y el valor convencional del resultado de pesadas en el aire	
2.1. Materiales de fabricación	25
2.2. Valor convencional del resultado de pesadas en el aire	25
2.2.1. Valores de constantes físicas	35

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

INDICE GENERAL

DESCRIPCION	PAGINA.
2.2.2. Ajustes en las pesas	36
Capítulo 3	
Modo de ejecución y diferentes modelos	
3.1. Modo de ejecución	37
3.1.1. Maquinado y pulido	37
3.1.2. Métodos de fundición y costos	38
3.1.3. Cavidad de ajustes	39
3.2. Diferentes modelos	39
3.2.1. Dimensiones	40
3.2.2. Tolerancias dimensionales	52
3.2.3. Errores máximos tolerados sobre la masa	53
3.2.3.1. Tolerancia de primera verificación .	53
3.2.3.2. Tolerancia de servicio	56
3.2.4. Diagramas	56
Capítulo 4	
Fabricación de un juego de masas de precisión mediana (M1) de 100 g hasta 500 g	
4.1. Comparación de masas	59
4.1.1. Ecuaciones básicas de masa	64
4.1.2. Densidad del aire	65
4.1.2.1. Factores de sensibilidad	65
4.1.2.2. Efectos de la temperatura y correcciones	70
4.1.2.3. Equipo de climatización	71
4.1.2.4. Efectos de la presión barométrica y correcciones	71

INDICE GENERAL

DESCRIPCION	PAGINA
4.1.2.5. Lectura de la presión barométrica en el laboratorio	72
4.2. Métodos de pesar	72
4.2.1. Pesado directo	73
4.2.2. Método de doble pesada o método de gauss	75
4.2.3. Método de pesada por transposición o por el método de borda	80
4.2.4. Método de pesada de mendeleev	83
4.3. Certificación del juego de masas	85
4.3.1. Cálculos estadísticos	87
4.3.2. Desviación estándar	89
Conclusiones	95
Recomendaciones	96
Bibliografía	97
Anexos	98
Apéndice	102

GLOSARIO DE TERMINOS TECNICOS

Aguja indicadora: señal de lectura móvil de una balanza provista de una escala fija.

Ajuste: en metrología, el ajuste consiste en regular un instrumento de medida o una pesa marcada de manera que la indicación se desvíe lo menos posible del valor justo o que la desviación quede dentro de los límites de los errores máximos tolerados:

- 1- para una balanza, regulación fina de sus funciones por personal especializado;
- 2- para una pesa marcada, corrección de su masa, en relación con su valor nominal, por ejemplo: introduciendo material de corrección o sacándolo de la cavidad de ajuste.

Alcance Máximo: (max) capacidad máxima de pesaje, sin tener en cuenta la capacidad aditiva de tara.

Alcance Mínimo: (min) valor de la magnitud a medir que corresponde al límite mínimo de la zona de medida.

Amortiguador: dispositivo que sirve para disipar la energía oscilatoria de las partes móviles de una balanza por medio de sistemas de amortiguación apropiados. El amortiguador tiene por efecto, llevar rápidamente el indicador a la posición de equilibrio.

Angulo del Bisel de la cuchilla: ángulo comprendido en la parte cuneiforme de los planos geométricos que trazan la cuchilla, generalmente, superior a 90°C.

Aplicación de la carga: excitación de una balanza por aplicación de una carga. El cargamento de una balanza se dice característico cuando se aplica a esta última una carga característica: alcance máximo, alcance mínimo, zona de pesaje, alcance de indicación automática, capacidad de tara y carga límite. Se designa por cargamento asimétrico el hecho de aplicar a la balanza una carga de control descentrada.

Astil: estructura de una balanza mecánica.

Autoridades de verificación: autoridades de metrología legal, competentes para decidir la aprobación de modelo de los instrumentos de medida.

Balanza: instrumento de medida que sirve para determinar la masa de un objeto, generalmente, a partir de la fuerza ejercida por este objeto sobre su soporte, en el campo de gravitación de la tierra. La balanza puede utilizarse, igualmente, para medir

otras magnitudes. Se clasifican las balanzas, según distintos criterios:

1. Principio de medida física.
 - 1.1. Comparación directa de masas, por ejemplo: balanza de astil.
 - 1.2. Comparación de fuerzas, por ejemplo: balanza electromecánica, dinamómetro de resorte.
 - 1.3. Otros principios de medida, por ejemplo: determinación de la masa por radiometría.
2. Clase de precisión.

Balanza de precisión especial (I), balanza de precisión fina (II), balanza de precisión media (III), balanza de precisión ordinaria (IIII).
3. Tipo de funcionamiento.
 - 3.1. Balanza automática, por ejemplo: instrumento de pesaje totalizador continuo.
 - 3.2. Balanza no automática, por ejemplo: microbalanza.
4. Indicación.
 - 4.1. Balanza sin dispositivo indicador (sin escala numérica en unidades de masa), por ejemplo: balanza de astil.
 - 4.2. Balanza con dispositivo indicador, por ejemplo: balanza comercial de venta directa al público.
5. Equilibrio.
 - 5.1. Balanza de equilibrio no automático, por ejemplo: balanza de astil.
 - 5.2. Balanza de equilibrio semi-automático, por ejemplo: balanza de pesas incorporadas con zona de indicación automática.
 - 5.3. Balanza de equilibrio automático, por ejemplo: balanza electromecánica.

Balanza analítica: este término se aplica a las balanzas de alta resolución, versión aprobada por las clases de precisión (I) y (II) susceptibles de ser utilizadas para análisis químicos, por su capacidad y su precisión de lectura. Su alcance máximo puede lograr 50 Kg. El escalón, generalmente, vale menos que 10^{-5} de alcance máximo.

Balanza de astil: en esta balanza, el receptor de carga está apoyado en una cuchilla sobre la que está libremente suspendido. Se llama "Balanza de astil simple" cuando lleva un solo platillo y "Balanza de varias Palancas" en caso contrario. Entre las balanzas de astil simple, distinguen las balanzas de dos cuchillas y las balanzas de tres cuchillas. La balanza de astil existe en dos versiones: balanzas de brazos iguales (razón 1:1) y balanzas de brazos desiguales (razón diferente).

Balanza de calibración: balanza de elevada precisión utilizada en los departamentos de pesas y medidas, en particular para verificar pesas marcadas.

Balanza de clasificación: balanza que sirve para comprobar si la masa de un cuerpo se sitúa en el interior, por encima o por debajo de determinados límites.

Balanza de comparación: balanza más/menos.

Balanza de dos cuchillas: balanza de astil simple, con una cuchilla principal y una segunda cuchilla que soporta el objeto a pesar y las pesas marcadas. la extremidad opuesta del astil lleva el contrapeso. Balanza de sustitución, estructura de una balanza mecánica.

Balanza de farmacia: balanza particularmente adecuada para las aplicaciones en farmacia por su alcance máximo, su precisión y su comodidad de empleo. Balanza de precisión

Balanza de laboratorio: otra denominación de la balanza de precisión o analítica.

Balanza de quilates: (quilatero) balanza que indica los resultados del pesaje de las piedras preciosas en quilates métricos.

Balanza de resorte: dinamómetro de resorte.

Balanza electromecánica: en líneas generales, se distinguen tres tipos de balanzas electromecánicas:

- 1.- Balanza con transformación electromecánica directa de las magnitudes de medida y evaluación electrónica. Se trata especialmente de balanzas con bandas extensométricas y células de pesaje. (compensación electromagnética) de fuerza;
- 2.- balanzas con palancas de carga, transformación electromecánica de las magnitudes de medida y evaluación electrónica. Se trata, principalmente, de balanzas provistas, por ejemplo: de las células de pesaje siguientes: células de carga, células de cuerdas vibrantes, célula de giróstato, célula de resortes;
- 3.- balanzas con dispositivo medidor de carga mecánica, transformación electromecánica de las magnitudes de medida y evaluación electrónica. Se trata especialmente de balanzas de inclinación y de dinamómetros de resorte dotados en una escala acodada, de un potenciómetro o de cualquier otro dispositivo similar.

Balanza electrónica: compensación electromagnética de fuerzas.

Balanza hidrostática: balanza que sirve para determinar la masa volúmica de los líquidos a partir de la medida del empuje de un cuerpo. Determinación de la masa volúmica.

Balanza más/menos: balanza de comparación de equilibrio automático o semiautomático, cuya escala indica la diferencia en más o menos entre la masa del cuerpo a pesar y una masa predeterminada.

Balanza mecánica: en esta balanza, la compensación de carga tiene lugar por vía mecánica. La magnitud de medida está representada por dispositivos mecánicos, ópticos u otros dispositivos no eléctricos (por ejemplo balanza de pesa cursora, dinamómetro de resorte).

BIML: siglas del Bureau international de métrologie légale OIML.

Brazo de palanca: distancia entre la línea de acción de la fuerza aplicada a la palanca y el eje de rotación de la palanca.

Calibrar: fijar, materialmente, la posición de las señales (eventualmente sólo de algunas señales) de un instrumento de medida en función de los valores correspondientes de la magnitud a medir.

Cavidad de ajuste: cavidad que puede cerrarse en las pesas marcadas y que contiene granalla de plomo, etc. que sirve para ajustar las pesas a su valor nominal. Las pesas marcadas de las clases de precisión E1 y E2 no pueden llevar cavidad de ajuste.

Centro de gravedad: este término designa el punto de aplicación de la resultante de las fuerzas que ejerce la gravedad sobre las distintas partes de un cuerpo. Es también el punto donde se imagina concentrada la masa de un cuerpo o de un sistema.

Certificado de verificación: documento establecido por las autoridades de verificación y que certifica haber efectuado la verificación de un instrumento de medida.

En dicho certificado pueden registrarse las prescripciones e instrucciones que fijan las condiciones de verificación. Pueden indicarse también en él los resultados obtenidos y la duración de validez del documento.

Clase de precisión: clasificación de un grupo de tipos particulares de instrumentos de medida que deben presentar, obligatoriamente, ciertas características metrológicas definidas dentro de los límites de error dados. La clase de precisión se indica por un número o símbolo convencional llamado "índice de clase".

Clases de precisión de las pesas marcadas: conjunto de pesas clasificadas de acuerdo con los límites de tolerancia expuestos en reglamentaciones nacionales o en recomendaciones internacionales.

Clasificación: operación que consiste en clasificar y separar objetos de la misma naturaleza, por ejemplo, en clase de pesos. No tiene que confundirse con clasificación según la masa.

Clasificación según la masa: operación que consiste en determinar la pertenencia de objetos de la misma naturaleza a grupos clasificados en base a su masa, sin separarlos unos de otros (lo opuesto a clasificación).

Comparación de masas: determinación de la diferencia entre la masa desconocida de un objeto y la masa conocida de un patrón.

Compensación de carga: establecimiento del equilibrio entre la fuerza, debido al peso de la carga y la fuerza contraria de compensación ejercida por el dispositivo medidor de carga.

Cuchilla: en una balanza, parte del palier que se apoya sobre el plano de la cuchilla, estructura de una balanza mecánica.

Desviación: curso que sigue el índice de equilibrio como respuesta a una excitación de la balanza.

Desviación típica: cantidad que sirve para apreciar la variabilidad, la reproducibilidad y la fidelidad de una balanza. La desviación típica se define como sigue:

$$S = + \sqrt{(1/(n-1)) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

donde:

n = número de los resultados individuales x_i

\bar{x} = media aritmética de los resultados individuales x_i . Para determinar la desviación típica con suficiente certidumbre, el número n de las repeticiones de la medida no debe ser demasiado pequeño (si es posible n = 10).

Elongación: punto de cambio.

Empuje del aire: fuerza ascendente que se opone a la fuerza debida, al peso de un cuerpo en el aire. El empuje del aire F_A se calcula como sigue:

$$F_A = m_L \cdot g = \rho_L \cdot V_K \cdot g$$

donde:

m_L = masa del aire desplazado por el cuerpo

g = aceleración de la gravedad en el lugar de medida

ρ_L = masa volúmica del aire

V_k = volumen del cuerpo.

Equilibrio: cuando una balanza está en equilibrio, un cuerpo o un sistema móvil que pueda girar alrededor de un eje ha alcanzado la posición de reposo y la suma de los pares de rotación respecto de ese eje es nula. Se distingue entre:

Equilibrio estable: el centro de gravedad se encuentra por debajo del punto de apoyo.

Equilibrio inestable: el centro de gravedad se encuentra por encima del punto de apoyo.

Equilibrio indiferente: el centro de gravedad coincide con el punto de apoyo.

Error de una balanza: diferencia entre el valor indicado por la balanza y el valor justo, es decir, la carga aplicada. En las balanzas desprovistas de dispositivo de indicación: error de palanca.

Errores máximos tolerados en servicio: valores extremo del error tolerado (en más y en menos) por los reglamentos por un instrumento de medida, cuando está en servicio. Para las balanzas, los errores máximos tolerados en servicio valen el doble de los errores máximos tolerados en verificación.

Errores máximos tolerados en verificación: los valores extremos del error tolerado (en más y en menos) por los reglamentos en las distintas verificaciones de un instrumento de medida.

Errores máximos tolerados en verificación para las balanzas de precisión. e = escalón de verificación; Máx. = alcance máximo; Min. = alcance mínimo.

Escala: serie de trazos de escalón, de puntos o de cifras sobre un dial.

Escala auxiliar: escala complementaria.

Filo de cuchilla: es el plano descrito por las líneas de las cuchillas de carga paralelas de un astil de balanza.

Fuerza: magnitud física, producto de la masa de un cuerpo por su aceleración. El producto de la aceleración de la gravedad " g " por la masa " m " de un cuerpo da la fuerza del peso de este cuerpo.

$$F = m * g$$

en general: $F = m * a$

donde:

F = fuerza

a = aceleración

La unidad derivada SI de fuerza es el Newton.

Gramo: el gramo, representado por el símbolo g, es la milésima parte del kilogramo.

Gravitación: se designa por gravitación el fenómeno de atracción recíproca de las masas. La fuerza de atracción es función de la masa de los cuerpos y de la distancia que los separa.

La ley de gravitación se expresa como sigue:

$$F = K \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

donde:

F = fuerza de atracción

K = constante de gravitación ($K = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$)

m_1 = masa del cuerpo 1

m_2 = masa del cuerpo 2

r = distancia entre los centros de gravedad de los dos cuerpos

Incertidumbre de medida: la incertidumbre de medida de un resultado recubre siempre los errores aleatorios (expresados por la desviación típica o por el intervalo de confianza) de todas las variables individuales que sirven para el cálculo del resultado de medida, así como los errores sistemáticos no determinados porque no son medibles y solamente pueden ser estimados. Se suponen siempre corregidos los errores sistemáticos determinados. En principio, el resultado de una serie de pesadas "y" que comprenden u pesadas debería ser:

$$y = \bar{X} \pm u$$

donde:

\bar{X} = es la medida corregida de los errores sistemáticos determinados (por ejemplo empuje del aire) y "u" la incertidumbre de medida. La incertidumbre de medida de un resultado de medida específico se puede caracterizar por el intervalo de confianza de la media, determinado a partir de "n" valores individuales.

Se tiene entonces:

$$u = \frac{t}{\sqrt{n}} s + |f|$$

donde:

- |f| = valor estimado de los errores sistemáticos no determinables o no determinados.
t = valor que tiene en cuenta la distribución de los valores individuales y el número de pesadas y que puede obtenerse de las tablas, para el nivel de confianza estadístico elegido.
s = desviación típica.

Instrumento de medida: término utilizado en el control de productos preenvasados para designar los instrumentos de medida, apropiados, para dicho control. En lo que se refiere al control según la masa, este término se aplica a las balanzas con escalón de verificación fijo o a las balanzas de control, automáticas, cuya zona de indecisión no debe pasar valores definidos.

Juego de pesas: serie de pesas marcadas de valores escalonados.

Kilogramo: el kilogramo (símbolo: Kg.) es la unidad básica de masa. Unidad de masa.

Marcado: conjunto de operaciones que tienen como finalidad la aplicación sobre un instrumento de medida, de marcas que atestigüen que este instrumento responde a las prescripciones sobre la verificación. Algunas de estas marcas puede proteger determinados elementos del instrumento que tienen influencia sobre sus propiedades metrológicas, contra modificaciones o alteraciones efectuadas tras su verificación.

Margen de temperatura: zona en la cual puede utilizarse una balanza determinada, ejemplo: zona mínima para la balanza de precisión fina con los límites de temperatura entre +15°C y +30°C.

Masa: la magnitud física masa "m" es la propiedad de la materia de un cuerpo que se expresa tanto por la inercia respecto de toda alteración de su estado de movimiento, como por la atracción ejercida sobre otros cuerpos. La masa es independiente del lugar. Para determinar la masa de un cuerpo se la compara con cuerpos de masa conocida, por ejemplo: por pesaje.

La materialización de la unidad de masa, de sus múltiplos y submúltiplos, constituye las pesas marcadas. La unidad de masa es el kilogramo "kg".

Masa volúmica: la masa volúmica de un cuerpo (símbolo p) es la masa de la unidad de volumen de este cuerpo: por consiguiente, $p = m/v$

Masa volúmica del aire: la masa volúmica del aire es indispensable para la determinación de la magnitud de la corrección del empuje del aire. Se calcula a partir de la presión atmosférica p , de la temperatura del aire t y de la humedad relativa del aire ϕ o puede obtenerse de las tablas y diagramas apropiados. He aquí fórmulas conocidas que sirven para el cálculo de la masa volúmica del aire:

$$\begin{aligned} 1- p_L &= [0.464554p - \phi(0.00252t - 0.020582)]/(273.15 + t) \\ 2- p_L &= [0.46446p - 0.175p\phi]/(273.15 + t) \end{aligned}$$

donde:

p_L = masa volúmica del aire en kg/m³
 p_D = Presión del vapor de agua en torrs = $\phi \cdot p_s/100$ %
 p_s = presión de saturación del vapor de agua en torrs a la temperatura t en °C
 p = Presión atmosférica en torrs
 ϕ = humedad relativa del aire en %

Material: este término ha sucedido a la versión inglesa "hardware" para designar, por un lado, todas las componentes de un montaje electrónico (placa, transistores, circuitos integrados, diodos, etc.) y, por otro, aparatos completos.

Método de pesaje de borda: pesaje efectuado según el principio de sustitución sobre una balanza de tres cuchillas. La masa desconocida del objeto a pesar de que se compensa en el otro platillo por una carga de masa, aproximadamente, igual. A continuación el objeto a pesar se sustituye por pesas marcadas de masa conocida.

Método de pesaje de gauss: la masa desconocida se coloca sobre el platillo izquierdo, después sobre el platillo derecho. Este procedimiento permite eliminar la influencia del error de palanca. Este método se utiliza para el control de balanzas de brazos iguales y para el de pesas marcadas (por ejemplo: control de pesas patrón de precisión elevada).

Metrología: campo de los conocimientos relativos a las medidas, a los sistemas y a las unidades de medida.

Microgramo: el microgramo (símbolo "µg" es la millonésima parte del kilogramo. $1\mu\text{g} = 10^{-9}$ kg.

Miligramo: el miligramo (símbolo "mg") es la millonésima parte del kilogramo. $1\text{mg} = 10^{-3}$ kg.

OIML: siglas de la Organisation internationale de métrologie légale. Esta organización se encarga de estudiar, con un fin de unificación los problemas de carácter legislativo y reglamentario de metrología legal cuya solución es de interés internacional. A

estos efectos publica recomendaciones internacionales sobre los instrumentos de medida (Recomendaciones de la OIML). tiene su sede en París (BIML).

Patrón de masa: representación material de una unidad de masa, que sirve para determinar la masa de otros cuerpos. Pesas marcadas.

Pesa marcada: materialización de unidades de masa, así como de sus múltiplos y submúltiplos, de forma definida y cuya masa o valor convencional de pesada está escalonado en 1.10^n , 2.10^n y 5.10^n . Se utilizan para determinar la masa de otros cuerpos clases de precisión de las pesas marcadas.

Pesa patrón: pesa marcada de gran precisión, utilizada especialmente por los servicios de metrología para el control y ajuste de otras pesas marcadas o balanzas. Clases de precisión de pesas marcadas.

Peso: término que debe evitarse ya que al tener diversas acepciones, puede prestarse a equívoco. Significa:

- valor de pesaje
- masa
- fuerza obtenida como el producto de la masa de un cuerpo por la aceleración de la gravedad.

En la práctica se admite todavía el término "peso" para designar el resultado de un pesaje.

Posición de equilibrio: las partes móviles de la balanza alcanzan esta posición cuando se logra el equilibrio entre todas las fuerzas que actúan sobre el objeto o sustancia que va a pesarse. En las balanzas que tienen zona de indicación automática. Cualquier posición de equilibrio es posible dentro de esta zona.

Precisión: este término permite únicamente apreciar, cualitativamente, las propiedades metrológicas de una balanza. Errores máximos tolerados, desviación típica, incertidumbre de medida.

Prototipo: antigua denominación de los patrones, internacionales o nacionales, de longitud y de masa en el sistema métrico decimal de unidades de medida.

El término "Prototipo" en este sentido, tiene únicamente un valor histórico y no debería utilizarse en los documentos oficiales relativos a los patrones contemporáneos. Patrón internacional del kilogramo.

Recomendaciones de la OIML: recomendaciones internacionales publicadas por la OIML respecto de las cualidades metrológicas y

técnicas de los instrumentos de medida y su verificación. Previo acuerdo con la OIML los estados miembros de la misma están normalmente obligados a tener en cuenta, en lo posible, estas recomendaciones cuando vayan a establecer disposiciones de alcance nacional. Hasta ahora se han publicado unas setenta recomendaciones internacionales.

Sobre instrumentos de pesaje: recomendaciones No. 3, 28, 33, 50, 51, 60, 61 y la 74 pendiente publicación.
Sobre pesas marcadas: No. 1, 2, 20, 25, 47, 52.

Sensibilidad: es la relación entre la variación de la respuesta de un instrumento de medida y la variación de la carga que la origina.

La sensibilidad viene dada por la expresión:

$$S = \frac{L}{m}$$

donde:

L = incremento de la respuesta

m = incremento de la carga

En las balanzas de indicación numérica, esta expresión se escribe:

$$B = \frac{Z}{m}$$

donde:

Z = No. de escalones numéricos correspondientes al incremento de la carga m.

Sobrecarga: una carga que excede la capacidad de la balanza.

Tolerancia de pesos: término que designa las diferencias en, más o menos, admitidas para un valor ponderal especificado.

Tonelada: unidad de masa igual a 1,000,kg. (símbolo: t). 1t = 10³ kg.

Unidad de masa: la magnitud física llamada masa es una magnitud fundamental del sistema internacional de unidades (SI). La unidad básica de masa: el kilogramo.

Unidades: una unidad es una magnitud numérica tomada como término de comparación en la medida de las magnitudes físicas de la misma especie. El sistema internacional de unidades (SI) comprende siete unidades básicas, a saber:

UNIDAD BASICA SI

Magnitud:	Nombre:	Símbolo:
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
intensidad eléctrica	amperé	A
Temperatura termodinámica	kelvin	k
Cantidad de materia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

Valor Convencional del resultado del pesaje en el aire: este valor se define como sigue, por la recomendación internacional No. 33 de la OIML:

El valor convencional del resultado del pesaje en el aire de un cuerpo es igual a la masa de un patrón de masa volúmica convencionalmente elegida a una temperatura, que equilibra este cuerpo a esta temperatura de referencia en un aire de masa volúmica convencionalmente elegida.

Los valores convencionalmente elegidos de las constantes físicas que intervienen en la definición precedente son:

temperatura de referencia: 20°C

masa volúmica a 20°C del patrón de masa: 8,000 kg/m³

masa volúmica del aire: 1.2 kg/m³

masa de una pesa marcada de referencia de masa volúmica 8,000 kg/m³ que equilibra, a la temperatura de 20°C en un aire de masa volúmica 1.2 kg/m³, la pesa marcada a controlar y que sirve en algunos países como valor nominal para las pesas marcadas de precisión elevada.

En las balanzas aprobadas que incluyen pesas marcadas incorporadas, el dispositivo indicador indica el valor convencional de las pesas incorporadas.

Verificación: conjunto de operaciones llevadas a cabo por un organismo del servicio nacional de metrología legal (o bien por otro organismo legalmente autorizado) que tiene como finalidad constatar y firmar que el instrumento de medida satisface plenamente las exigencias de los reglamentos sobre la verificación.

LISTADO DE GRAFICAS, TABLAS Y FIGURAS:

	PAGINA
Figura (1) Esquema de jerarquía de patrones de masa	17
Tabla (1) Límites máximos y mínimos para densidad del material	26
Figura (2) aumento en "g" a Altitud constante	28
Figura (3) disminución en "g" a Latitud constante	28
Figura (4) Alturas correspondientes sobre el nivel del mar	31
Tabla (2) de Valores máximos de rugosidad de superficie	37
Tabla (3) de Dimensiones para masas cilíndricas en milímetros (mm)	41
Figura (5) Cavidad de ajuste para masas cilíndricas	42
Tabla (4) Dimensiones de cavidad de ajuste para masas cilíndricas	45
Tabla (5) de Cotas para masas paralelepípedicas (en milímetros) Modelo 1	46
Tablas (6) de Cotas para masas paralelepípedicas (en milímetros) Modelo 2	47
Figura (8) Pesas paralelepípedicas (Modelo 1)	48
Figura (9) Pesas paralelepípedicas (Modelo 2)	49
Figura (10) Cavidad de ajuste para masas paralelepípedicas	50
Figura (11) Botón de cierre	51
Tabla (8) Errores para masas cilíndricas según OIML	54
Tabla (9) Errores para masas paralelepípedicas según OIML	55
Diagrama (1) Máximo error permisible para la verificación de instrumentos	56
Diagrama (2) Error permisible de la pesada	57
Diagrama (3) de Valores definidos de tolerancias al valor medido relativo a una meta estipulada	58
Figura (12) Astil de una balanza simple sobre cuyos extremos actúan dos fuerzas de igual magnitud (P y Q) ..	66
Figura (13) Nueva posición de equilibrio al agregar una sobre carga al platillo izquierdo	68
Hoja de Protocolo	74
Figura (16) del Método de transposición o método de gauss	79
Figura (17) del Método de transposición o método de borda	82
Figura (18) del Método de Mendeleev	85
Tabla (10) de Incertidumbres en la desviación estándar ..	91
Tabla (11) de Incertidumbre Tipo A	91
Tabla (12) de Niveles de confianza	93

INTRODUCCION

El presente trabajo sobre fabricación de MASAS PATRONES tiene por objeto orientar y definir los pasos necesarios para iniciar el equipamiento de laboratorios de medición y calibración de balanzas y masas. Además, se han tomado las recomendaciones internacionales de metrología como base para las especificaciones de los patrones de masas y con este trabajo como guía, todos los pasos y procedimientos detallados, se espera que la aplicación práctica se facilite al máximo.

Se pretende iniciar una fase de facilidad a las empresas para el manejo del proceso de ajuste de calidad y medición de sus productos, calibración, verificación, su fabricación, los rangos de aplicación, las diferentes normas de Recomendaciones Internacionales, las tolerancias y especificaciones según los diferentes tipos de sus patrones de masa, además la utilización de los distintos métodos de pesaje, incluidos en la misma.

Para la realización de este trabajo se planteó como hipótesis central, que "para que las empresas guatemaltecas logren colocar sus productos en mercados nacionales y extranjeras es necesario la implementación del mejoramiento de calidad, sobre todo, en cuanto al pesaje de sus productos, siendo, además, necesario, aliarse al Sistema Internacional en sus controles de calidad con el fin de estandarizarse en la medición del pesaje con los países extranjeros".

Pues bien, la principal fuente de datos relativos a la calidad de cualquier entidad son las mediciones, sean éstas recuentos de unidades o valoraciones a través de juicios más o menos objetivos. Pero, si la confianza la traen los datos, éstos deben ser datos confiables; es decir, deben venir respaldados, a su vez, por otros datos que aseguren su confiabilidad o si lo prefieren su calidad. Y es ahí donde las técnicas metrológicas asociadas al aseguramiento de la calidad hacen su soporte.

Los cambios que enfrenta actualmente Guatemala, al mejoramiento en calidad de la producción, requiere, básicamente, un control preciso en el ajuste, verificación y calibración de sus equipos e instrumentos patrones de medición, obviamente, esto exige más eficiencia y productividad; con ello, a los ingenieros se abren nuevas oportunidades de trabajo y asesoramiento a las empresas para lograr la competitividad en el mercado nacional e internacional, promoviendo el mejoramiento de diseño y calibración del producto, como de los instrumentos patrones.

Lo anterior justifica la razón del autor y asesor para realizar de manera ordenada y resumida el trabajo, con el fin de servir de guía a personas que estén interesadas en el tema.

CAPITULO 1.

CLASIFICACION OIML (ORGANIZACION INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL) DE MASAS

RECOMENDACIONES OIML CONCERNIENTES A PESAS

Las más importantes recomendaciones de la OIML concernientes a pesas son: R-1, R-2, R-20, R-52 y R-111. Las primeras dos:

R-1 = Pesas cilíndrica clase M2 de 1 g a 10 kg.

R-2 = Pesas rectangulares clase M2 de 5 kg a 50 kg.

Estas son pesas bien conocidas que, sin embargo, no son usadas en el comercio ordinario y en supermercados, desde que son caras y sus tolerancias son más pequeñas que las que se requieren para tal propósito. Deberían ser consideradas como una buena prueba de control de peso para laboratorios y usos industriales.

Ordinariamente, las pesas usadas en supermercados, abarroterías y mercados son, frecuentemente, un tipo de pura consideración nacional elaboradas artesanalmente, manufacturadas localmente y raramente exportadas a otros países.

A petición de países en vías de desarrollo OIML ha elaborado más tarde que la R-1 y la R-2 la recomendación R-52 concerniente a los pesos ordinarios de la forma hexagonal que cubre el rango de 100 g a 50 kg. La extensión de esta recomendación hacia varios países sigue siendo una probabilidad, baja y las formas tradicionales de peso y tolerancias generalmente, continúa siendo usada para tales propósitos. Además, es también necesario suministrar normas para pesas de latón ordinarias en el rango de 1 g a 50 g las cuales no están incluidas en la R-52.

Lo más esencial para los trabajos internacionales y tratados internacionales son, sin embargo, los errores máximos de permisibilidad más que la forma de las pesas. La recomendación OIML R-20 es en este aspecto la más importante. Esta recomendación cubre solamente la precisión de pesas de clases E1, E2, F1, F2, y M1. La recomendación Internacional RI-111 OIML publicada en 1,994 cubre todas las pesas (excepto pesas de prueba de alto peso) e incluye los pesos usados para la comercialización ordinaria. Pesas ordinarias hasta 1 g. corresponderán a la clase M3 en la nueva recomendación combinada, (ver tabla No. 5). Como se puede observar, siempre existe una relación de 1 a 3 entre cada clase.

Permitase simplemente mencionar que la clase E1 es poco realista en lo que concierne a las tolerancias de ajuste y existe la posibilidad de ser desechada considerando que los pesos con ajuste E2 y un certificado de calibración detallado incluyendo las correcciones de densidad, llenarán los requisitos para estos pesos normales primarios.

REQUERIMIENTOS PARA MASAS ESTANDAR DE TRABAJO

Para comparar los errores individuales en los instrumentos de pesaje contra los límites de errores máximos permisibles, es esencial que el equipo usado en la verificación tenga errores que sean mucho menores que los límites aceptados para los instrumentos que se están probando. Dentro de la OIML se considera, generalmente, que el límite de error del equipo de comparación (patrón) debe ser, por lo menos, tres veces menor que el límite prescrito para el instrumento que va a ser probado. Es de hacer notar que estos límites son absolutos y no desviación estándar. En la práctica, esto significa que la influencia de errores efectivos en una verificación de masas de trabajo verificadas, es tres veces más baja en el promedio.

Las tolerancias de ajuste de las diferentes clases de masas utilizadas como patrones de referencia o para verificación, se dan en la recomendación internacional OIML R-20. En la figura 1 se muestra un esquema típico de la jerarquía de los patrones de masa.

LOS REQUERIMIENTOS DE EXACTITUD

Para las pruebas de pesas o patrones de trabajo, utilizadas en verificaciones, éstas pueden ser definidas considerando el campo usual de aplicación de los instrumentos de pesaje:

	Rango típico	Pesas de prueba
Masas pesadas tipo industrial incluyendo puentes de pesaje (básculas)(O.I.M.L. clases III o IIII).	100 kg a 50 t	O.I.M.L. R-47
Instrumentos de pesaje usados para comercio en general (O.I.M.L. clase III)	100 g a 50 kg	Clase M1

Esquema de jerarquía de patrones de masa

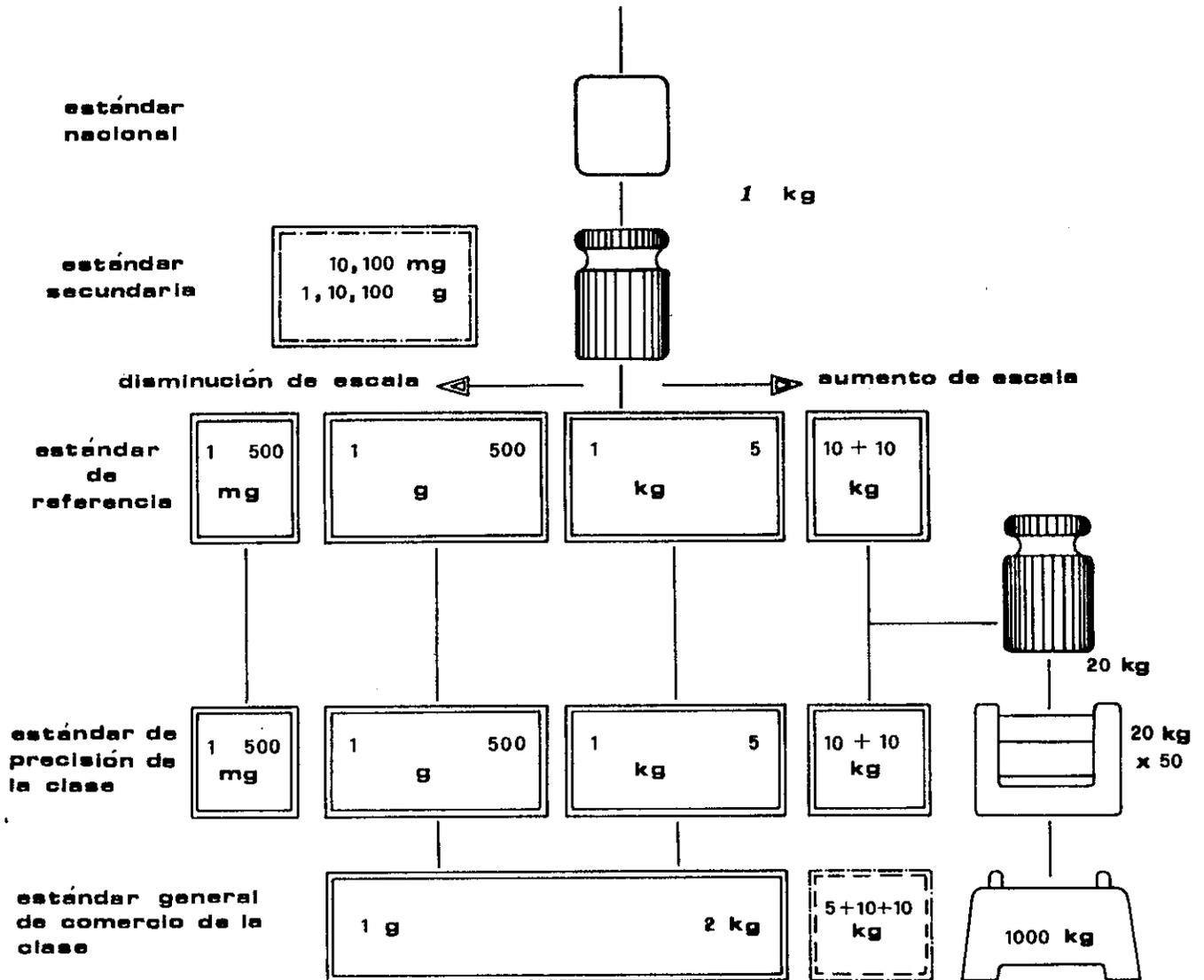


fig.1

	Rango típico	Pesas de prueba
Instrumentos de pesajes usados para despacho farmacéutico, análisis químico y comercio con metales preciosos (O.I.M.L. clase II)	10 g a 5 kg	Clase F1

Las primeras dos categorías se refieren a instrumentos que pertenecen a la clase OIML III con un valor típico de $n = (\text{max.}/e) = 200$, donde "n" es igual al número de divisiones o intervalos de la escala, "e" = máximo error permisible y alcanzando, excepcionalmente, $n = 5,000$ (donde el máximo error permisible = $1.5e$). La incertidumbre relativa de los patrones de trabajo utilizados para verificación debería ser, normalmente, cuando menos, tres veces menor, por ejemplo:

$$1/3 \times 1.5 \times 1/5000 = 10^{-4}$$

se puede hallar que las pesas correspondientes a la clase M1 de OIML satisfacen este requerimiento en lo que concierne a los errores máximos de servicio.

Los instrumentos de pesaje usados para despacho farmacéutico y análisis químico, pertenecientes de la clase II OIML con valores típicos de $n = 20,000$ pero alcanzando algunas veces $n = 50,000$ para balanzas analíticas de laboratorios modernos. La incertidumbre relativa de los patrones de trabajo utilizados para verificación en la plena capacidad de la escala debe ser, consecuentemente, del orden de 10^{-5} , que corresponde a los errores máximos en servicio de masas clase F1 en el rango de 100 g a 20 kg.

1.1 TRAZABILIDAD

El concepto de trazabilidad se refiere no sólo al campo de masas, sino a todas las mediciones en el campo de metrología. Se entiende por trazabilidad en los patrones de medición, la documentación y constancia de las verificaciones realizadas que permitan determinar contra qué patrón inmediato de más alta exactitud se comparó y, a su vez, ese patrón de más alta exactitud contra el cual fue comparado, siguiendo, así, hasta llegar a los patrones nacionales e internacionales.

En otras palabras lo que se genera a través de la trazabilidad es un árbol genealógico el cual garantiza que, incluso, las calibraciones de más baja exactitud están emparentadas con patrones confiables a los cuales se puede recurrir.

En el caso de otras magnitudes diferentes a las de masa, como por ejemplo la temperatura o la longitud, los patrones han sido definidos con base en características de elementos, reproducibles bajo condiciones específicas. Así, el punto triple del agua como referencia de temperatura puede ser reproducido con relativa facilidad para alcanzar gran exactitud en las mediciones. En el caso de la masa, por el contrario, los intentos de reproducir medidas exactas, independientemente de cualquier primer normal, no han tenido éxito. Aún no ha sido posible definir la masa a partir de una constante natural, aunque existen propuestas para contar la cantidad de masa en un mol de materia y los laboratorios europeos como norteamericanos se disputan el liderazgo para establecer la nueva definición que permita reproductividad e independencia.

En 1,790, en un esfuerzo por terminar con la enorme diversidad de medidas de masa, la academia francesa de ciencias elaboró una unidad de masa: un litro de agua destilada a 4 grados centígrados (4 °C) debía servir como "medida absoluta" y referencia. Sobre esta base, pero para usos más prácticos, en 1,799 fue hecho un cilindro de platino de 1 kilogramo (lo que pesa un litro de agua). Debido a la mayor necesidad en cuanto a exactitud, en 1,878 fueron fundidos cilindros de aleación de platino-iridio, para ser utilizados como patrones nacionales en diferentes países. Posteriormente, se hizo una segunda fundición, ya que en 1,889 la unidad de masa fue definida en la primera conferencia general de pesas y medidas, como la masa del prototipo internacional del kilogramo, que es resguardado en el Buro Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) en Sévres, París.

El prototipo internacional del kilogramo es un cilindro de 39 mm. de altura y 39 mm. de diámetro, de una aleación (Pt - Ir) de 90 % platino y 10% iridio, cuya densidad es de unos 21.5 g/cm³.

Tampoco en 1,960 con la creación del sistema internacional de unidades (SI), se logró fundamentar una definición sobre una constante natural y se recurrió a continuar utilizando el primer normal de 1,889.

Una de las unidades independientes definidas del sistema internacional es la unidad de masa atómica, consistente en la décimo segunda parte de la masa en un átomo del carbono 12.

Magnitud:	Nombre:	Símbolo:	Relación:
masa	unidad de masa atómica	u	$1u = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$

La definición y su representación de la unidad de medida están, pues, unidas a un determinado cuerpo. Eso significa que la unidad de medida no se podrá reproducir nunca más exacta que con la comparación contra el prototipo internacional. De aquí se explica la jerarquía construida de los normales de masa, que se da con la mayor exactitud posible a través de la referencia de la unidad de masa.

En 1,883 a partir de 3 prototipos de Platino Iridio (designados como KI hasta KIII) se escogió el prototipo internacional del kilogramo, de otros 40 prototipos (designados del 1 al 40) seis se escogieron como normales de trabajo y reserva para el BIPM y el resto se repartió entre los países miembros pertenecientes a la convención del metro en esa época, como prototipos nacionales. Desde 1,929 hasta 1,974 se fabricaron otros 23 prototipos y se repartieron como prototipos nacionales designados del 41 al 63.

JERARQUIA DE LOS NORMALES DE MASA

En la cima de la cadena jerárquica para referencia (como punto de partida) de la unidad de masa se encuentra el prototipo internacional del kilogramo en BIPM. Los prototipos nacionales se comparan por medio de una balanza prototipo contra el normal principal BIPM, que, a su vez, se compara con los prototipos internacionales. El prototipo internacional sólo ha sido utilizado para referencia en los años 1,889, 1,939, 1,946 y, por último, en 1,988, de manera que esté protegido de posibles daños. La transmisión de la unidad de masa a través de los institutos nacionales de medición, se logra por medio de patrones primarios que son de acero (densidad $8,000 \text{ kg/m}^3$). La referencia de estos patrones primarios al prototipo nacional constituye un gran problema desde el punto de vista de la técnica de medición, debido a que la necesaria transformación de la densidad $21,500 \text{ kg/m}^3$ (Pt -Ir) a la de $8,000 \text{ kg/m}^3$ (acero o, respectivamente, latón) posee una incertidumbre por la corrección del empuje del aire mayor que la incertidumbre de pesada y de las otras variables que influyen.

Los prototipos, patrones primarios y de referencia son normales de alta precisión y su manipulación significa un riesgo de cambio de masa (desgaste, suciedad) y posible daño. Por esta razón los intervalos de tiempo escogidos para su comparación deben ser, por un lado, lo más distanciado posible y, por otro

lado, suficientemente pequeños para conocer, a tiempo, variaciones en la masa.

1.2. POR SU EXACTITUD

Las pesas se clasifican, según su grado de precisión, en las siguientes clases:

- a. Clase E1, pesas de precisión muy alta.
- b. Clase E2, pesas de precisión alta.
- c. Clase F1, pesas de precisión muy fina.
- d. Clase F2, pesas de precisión muy fina.
- e. Clase M1, pesas de precisión media o de trabajo.
- f. Clase M2, pesas de precisión media o de trabajo.
- g. Clase M3, pesas de precisión ordinaria.

Tolerancias Máximas Aceptadas en las Pesas:

- a. Clase E1, 5.0×10^{-7} del valor nominal de la masa.
- b. Clase E2, 1.5×10^{-6} del valor nominal de la masa.
- c. Clase F1, 5.0×10^{-6} del valor nominal de la masa.
- d. Clase F2, 1.5×10^{-5} del valor nominal de la masa.
- e. Clase M1, 5.0×10^{-5} del valor nominal de la masa.
- f. Clase M2, 1.5×10^{-4} del valor nominal de la masa.
- g. Clase M3, 5.0×10^{-4} del valor nominal de la masa.

1.3. FORMA GENERAL DE LAS PESAS

La pesa de 1 gramo puede tener la forma de los múltiplos o de los submúltiplos del gramo.

1.3.1. PESAS DE 1 g O MÚLTIPLOS DEL GRAMO

Las pesas de un gramo pueden tener la forma de las pesas de la clase de precisión media.

1.3.1.1. PESAS DE LAS CLASES E1, E2 Y F1

- a. Las pesas de las clases de precisión E1, E2 y F1 deberán ser macizas de forma cilíndrica de una sola pieza y podrán o no llevar botón de sujeción.
- b. Las pesas de clase E1 y E2 no deberán tener cavidad de ajuste.
- c. La pesa de clase F1 puede o no tener cavidad de ajuste; en caso que la tuviera, deberá ajustarse con el mismo material del cual está hecha.

1.3.1.2. PESA DE LA CLASE F2

- a. La pesa de la clase de precisión F2, podrá tener forma cilíndrica o forma de paralelepípedo y cavidad de ajuste localizada en el botón de sujeción o en la base. Sin embargo, las pesas de 20 kg y 50 kg podrán tener una forma conveniente a su sistema de manipulación.

1.3.1.3. PESAS DE LAS CLASES M1, M2 Y M3

- a. Las pesas de las clases de precisión M1, M2 y M3, podrán tener forma de paralelepípedo y cavidad de ajuste localizada en el botón de sujeción o en la base. Las pesas de clases M2 y M3 de 20 kg y 50 kg podrán tener una forma conveniente a su sistema de manipulación; dependiendo del tipo de facilidades con que se cuente en los centros de calibración, puede adecuarse el tipo de agarradores, argollas o ganchos para utilizar con grúa viajera, con una carretilla que lleve un sujetador frontal o elaboradas para subir a una carreta o halador.

Las pesas clase M2 (o precisión media) de 10 kg a 100 g inclusive, deben tener cavidad de ajuste. Para pesas de 50 a 20 g, la cavidad es opcional. Las pesas de 10, 5, 2, 1 g deben ser sólidas, sin ninguna cavidad de ajuste.

1.4. COMPOSICION DE UN JUEGO DE PESAS

JUEGO DE PESAS

Es el conjunto de pesas, generalmente, presentado en un estuche, compuesto de forma que permita efectuar todas las pesadas de las cargas comprendidas entre la masa de la pesa de menor valor nominal y la suma de las masas de todas las pesas del conjunto, con una secuencia en la cual la masa de la pesa de menor valor nominal constituye el intervalo menor de variación

para todas las combinaciones que forman una progresión aritmética.

COMPOSICION DEL JUEGO DE PESAS

La composición de un juego de pesas deberá ser tal que la secuencia que siguen las pesas de dicho juego cumpla con una de las siguientes:

$$(1; 1; 2; 5) \times 10^n \text{ kg}$$

$$(1; 1; 1; 2; 5) \times 10^n \text{ kg}$$

$$(1; 2; 2; 5) \times 10^n \text{ kg}$$

$$(1; 1; 2; 2; 5) \times 10^n \text{ kg}$$

donde:

"n" puede ser cero o un número entero positivo o negativo. El objeto de estas distribuciones es verificar las pesas individuales entre ellas, a partir de una sola pesa patrón de mayor exactitud.

Generalmente, la composición del juego de pesas también está diseñada para la facilidad de la calibración de balanzas, tomando en cuenta el rango más apropiado entre cada pesa, para trazar una gráfica adecuada de calibración. Esto se logra haciendo que en cada década, ejemplo: 100 g a 1 kg; 10 g a 100 g, etc., se den ciertos valores a través de un mínimo de cuatro normales. Siendo la masa "m" de los normales, se da la siguiente relación para la conexión de pesada contra una masa conocida m1 kg:

$$m1 \text{ kg} - (m_{100} + m_{200} + m^{\cdot}200 + m_{500}) = E1. \quad (1)$$

con:

m_{100} = como masa normal de 100 g

m_{200} = como masa normal de 200 g (número 1)

$m^{\cdot}200$ = como masa normal de 200 g (número 2)

m_{500} = como masa normal de 500 g

y la diferencia de la masa E1 como resultado de la primera pesada a través de la suma de determinaciones sucesivas como :

$$m_{500} - (m_{100} + m_{200} + m'_{200}) = E2 \quad (2)$$

$$m_{200} - m'_{200} = E3 \quad (3)$$

y a través de la ayuda de un segundo juego de masas se pueden hacer varias o muchas determinaciones trabajando con normales de masa desconocida. De esta manera se logra determinar cada "década" y, finalmente, cada pieza normal "en sí misma".

Los institutos nacionales de metrología en Europa tienen, a partir de la referencia del prototipo y de determinaciones relativas, varios juegos de masas normales con valores nominales de 1 mg hasta 5000 kg. La conexión a normales no-métricos se puede realizar de igual manera donde lo inmediato es determinar un normal de salida. Así, se pueden hacer pesadas de cuerpos de masas requeridas en el rango de 1 μ g hasta 100 t.

CAPITULO 2.

MATERIALES DE FABRICACION Y EL VALOR CONVENCIONAL DEL RESULTADO DE PESADAS EN EL AIRE

2.1. MATERIALES DE FABRICACION

Las pesas deben ser de metal o aleación metálica. Este metal o aleación debe ser de tal calidad que en las condiciones normales de uso, la variación de la masa de las pesas sea despreciable respecto a los errores máximos permisibles de su clase de precisión.

La densidad del material de las pesas debe ser tal que, una desviación del 10% de la densidad establecida del aire especificado (1.2 Kg/m^3) produzca como máximo un error de $\frac{1}{4}$ del error máximo permisible. Ver tabla No. 1.

El metal o aleación de las pesas de las clases E1, E2 y F1 deben ser prácticamente no magnético.

El metal o aleación que constituye las pesas de 5 a 50 kg de forma paralelepípedica de la clase M1, debe poseer una corrosibilidad y una fragilidad que no excedan a las de fundición de hierro gris.

Las pesas de clase M1 forma cilíndrica con valores nominales de masa de 10 kg y menores, deben ser de latón o de un material de calidad, como mínimo, equivalente al latón.

En caso de que si se utiliza un acero para la fabricación de una masa patrón o de trabajo debe verificarse que el material no contenga grandes cantidades de silicio, ya que este contenido en el material hace que sea magnético, la cual para la fabricación de masas patrón de alta precisión no lo admite la norma.

2.2. VALOR CONVENCIONAL DEL RESULTADO DE PESADAS EN EL AIRE

LA INFLUENCIA DE LA GRAVEDAD "g"

Como la densidad del aire varía sólo ligeramente con la altitud (12% a 1000 m) y con las condiciones a la intemperie (máximo + 5 %), se puede generalizar diciendo que el "resultado de pesar en aire" es el mismo alrededor de la tierra, excepto para calibraciones de naturaleza científica (cuando los requerimientos precisos sean mejores que el 0.01 %), provisto que el principio de medición compensa para diferencias en la aceleración debido a la gravedad.

LIMITES MAXIMOS Y MINIMOS PARA DENSIDAD DEL MATERIAL

Tabla No. 1

Valor Nominal	Densidad mínima, Densidad máxima(10^3 kg.m^{-3})					
	clase E ₁	clase E ₂	clase F ₁	clase F ₂	clase M ₁	clase M ₂
100 g	7.934 - 8.067	7.81 - 8.21	7.39 - 5.73	6.4 - 10.7	≥4.4	≥2.3
50 g	7.92 - 8.08	7.74 - 8.28	7.27 - 8.89	6.0 - 12.0	≥4.0	
20 g	7.84 - 8.17	7.50 - 8.57	6.6 - 10.1	4.8 - 24.0	≥2.6	
10 g	7.74 - 8.28	7.27 - 8.89	6.0 - 12.0	≥4.0	≥2.0	
5 g	7.62 - 8.42	6.9 - 9.6	5.3 - 16.0	≥3.0		
2 g	7.27 - 8.89	6.0 - 12.0	≥4.0	≥2.0		
1 g	6.9 - 9.6	5.3 - 16.0	≥3.0			
500 mg	6.3 - 10.9	≥4.4	≥2.2			
200 mg	5.3 - 16.0	≥3.0				
100 mg	≥4.4	≥2.3				
50 mg	≥3.4					
20 mg	≥2.3					

Según OIML RI 111

En otras palabras, cuando piezas de masas (pesas) verificadas son usados como estandares en todos los lugares, por ejemplo por el proveedor al igual que por el receptor de bienes, no se encuentran problemas prácticos.

Lo mismo en el caso de la fuerza, si se transfiere una fuerza estándar de un lugar a otro durante el tiempo en que se miden las fuerzas. Sin embargo, cuando el objetivo es medir una cantidad expresada en unidades de masa por medio del uso de estándares de fuerza se toma en cuenta la diferencia o preferiblemente la relación de la aceleración debido a la gravedad en ambos lugares. En la práctica esta consideración está limitada por los instrumentos tales como balanzas de resortes y celdas de carga. Estas son, actualmente, usadas en la mayoría de dispositivos de pesos y la influencia de la aceleración local debido a la gravedad no puede ser entonces ignorada.

En un gran número de casos, los dispositivos de medición de fuerzas y pesas tienen que ser ajustados en términos de masa a su lugar de uso. Este es en particular el caso para las balanzas de compensación electromagnéticas y, generalmente, para instrumentos que tienen 10,000 o más intervalos en su escala.

Para otros instrumentos tales como escalas de contadores de celdas de carga usadas en negocios al por menor, es muy usual ignorar las diferencias en gravedad en instrumentos que tienen 1000 o menos intervalos en su escala, al menos, cuando las diferencias en latitudes entre el sitio de ajuste (y verificación) y el sitio de uso no excede 1,000 Km. La influencia de la altitud también afecta el valor de "g" pero en menor extensión. La variación de la gravedad "g" con la latitud y altitud están mostradas en las figuras 2 y 3, respectivamente.

Como una conclusión respecto de la influencia de la gravedad, es evidente que para muchos países que importan instrumentos de países con latitudes totalmente diferentes es necesario reajustar en la importación la mayoría de instrumentos, los cuales por su diseño miden una fuerza más que la masa. Este ajuste implica, por supuesto, también una verificación inicial que tendrá que tomar lugar en un sitio donde será utilizada la balanza. Algunos fabricantes utilizan un sistema de ajuste por zonas, aplicable a la supuesta localización del aparato en su uso.

Es completamente cuestionable, sin embargo, si tales sistemas zonales pueden ser recomendados para usos en países de desarrollo. Las condiciones de importación, mantenimiento y

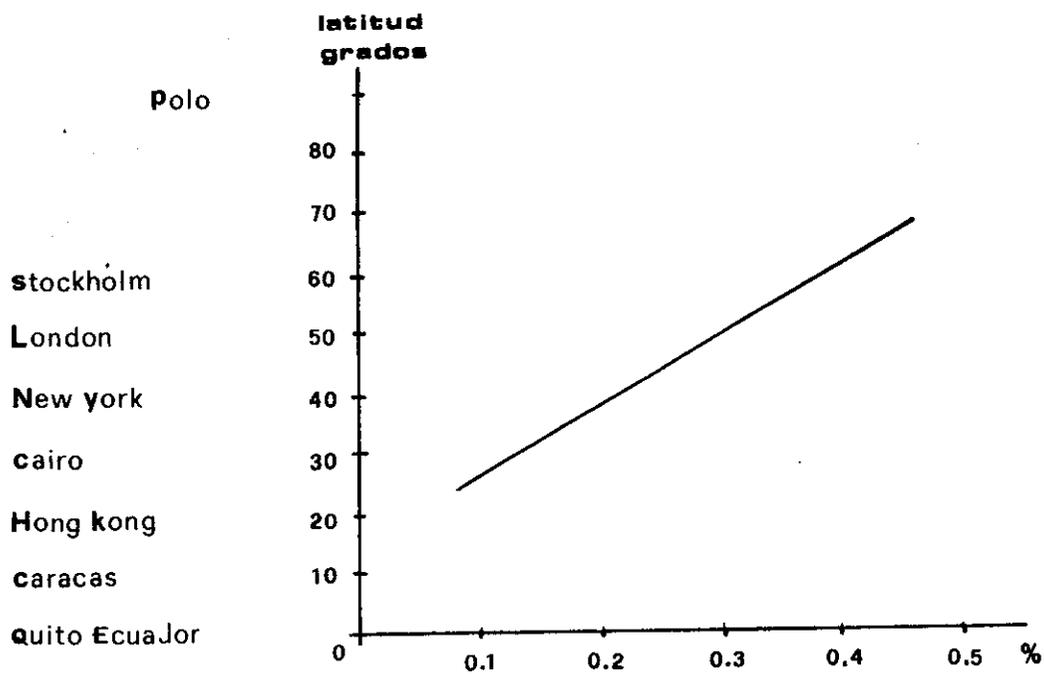


fig. 2 aumento en "g" a altitud constante

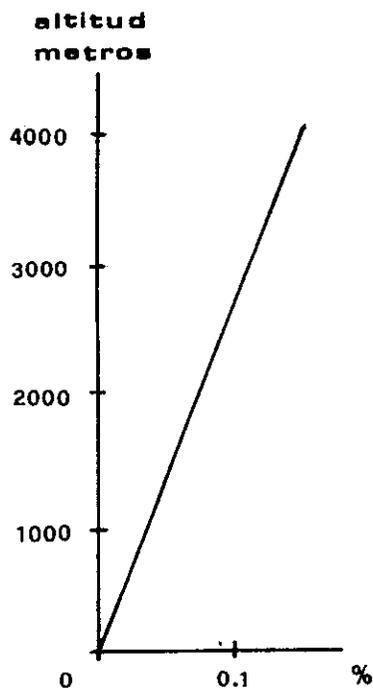


fig. 3 disminución en g a latitud constante

transporte local al sitio de uso, generalmente, hacen necesario un chequeo de instrumentos electrónicos en el sitio de uso.

LA INFLUENCIA DEL EMPUJE

Si el volumen externo de los objetos que se van a medir y las de masas estándares son idénticos, el empuje es el mismo y no se necesita contar los efectos de empuje. Esto no es frecuentemente, sin embargo, el caso.

La aleación del platino y un 10% de iridio usado por el prototipo internacional de kilogramo y ha sido escogido por razones de propiedad de la superficie y estabilidad. Desafortunadamente, el volumen del prototipo es muy pequeño debido a la densidad de la aleación ($21,500 \text{ kg/m}^3$). Actualmente, muchos metrólogos se lamentan de que este prototipo no haya sido hecho de acero inoxidable el cual es el material preferido para patrones secundarios. La diferencia en el empuje para normales sólidos de 1 kg hechos de dos aleaciones es en efecto cerca de 100 mg y requiere una apreciación exacta de la densidad del aire en comparaciones de masa para tales normales.

Los países en desarrollo han sido asesorados para escoger y establecer un estándar nacional, de un kilogramo hecho de acero inoxidable no-magnético, cuya masa puede ser determinada en el BIPM en Sévres donde los prototipos primarios son preservados. En otras palabras, el problema de medir la densidad del aire exactamente, es dejado a los científicos y las instituciones encargadas de enviar un certificado respecto de la masa para los estándares de acero inoxidable.

Ahora, cómo se arreglan en lo que se refiere a las determinaciones de masa en la vida diaria, donde por fortuna, usualmente, se admite menos exactitud que en determinaciones metrológicas de naturaleza científica.

La solución que ha sido adoptada universalmente por iniciativa de OIML es no usar la masa sino el "resultado de pesar en aire". En forma sencilla, usualmente, se le llama a esta cantidad "peso". (2)

(2) Esta terminología es comúnmente usada en comercio y en actas legales. Sin embargo, algunas instituciones como institución Británica de normales considera el peso en la fuerza producida por la acción de la gravedad. En Alemania la palabra "wagewert" (valor de peso) es usada para expresar el "resultado del pesar en aire".

La convención acerca de los resultados de pesadas en aire está incluida en la recomendación OIML R-33. Esta convención define que el resultado de pesar en el aire un objeto es igual a la masa de pesos patrones teniendo un promedio convencional de densidad de 8,000 kg/m³ que balancea este objeto en aire de densidad convencional de 1.2 kg/m³. Los normales de masa del acero o latón no tienen la densidad exacta de 8,000 kg/m³, sin embargo, también pueden ser usados para todos los propósitos prácticos con una recomputación del valor de la masa de

$$m_a = m_n \frac{(1 - 1.2/P_n)}{(1 - 1.2/8000)} \quad (4)$$

Donde la m_n es la verdadera masa del normal (u otro objeto) y P_n es la densidad en kg/m³ del mismo normal (u objeto).

En la práctica todas las balanzas de lectura directa son, actualmente ajustadas con pesos que han sido ajustados de acuerdo a los principios establecidos sin importar cuál sea la verdadera densidad de estas pesas.

En transacciones comerciales, la cantidad del comercio es la indicada por la balanza usada con o ajustada con pesas, para las que el valor convencional de la masa ha sido asignado de acuerdo con las reglas OIML R-33.

La aplicación de la convención concerniente de los resultados de pesadas en el aire provee, teóricamente, una pequeña ventaja para los consumidores de abarrotes. Si un consumidor compra 1 kg de margarina obtiene alrededor de 1 g más que si la margarina fuese vendida de acuerdo con el valor (verdadero) de masa. Cuando se compran metales ordinarios la diferencia entre masa y resultado de peso en aire puede ser completamente ignorado teniendo en cuenta la exactitud de los instrumentos de pesar comúnmente utilizados. Para metales preciosos como el oro, el cual tiene una alta densidad, la diferencia continúa siendo menos que 0.01%. La influencia del empuje es demostrada en la figura 4. Sin embargo, aquí es necesario dar una advertencia: si un valor de masa es computado de las medidas de volumen y densidad, este valor es obtenido en términos de masa verdadera, sin tomar en cuenta el empuje. Para comparar tal valor con el resultado que una lectura directa de la balanza daría, es necesario corregir el primer valor usando la fórmula indicada arriba. Aplicaciones típicas de tal necesidad correctiva es por instancia la computación de productos

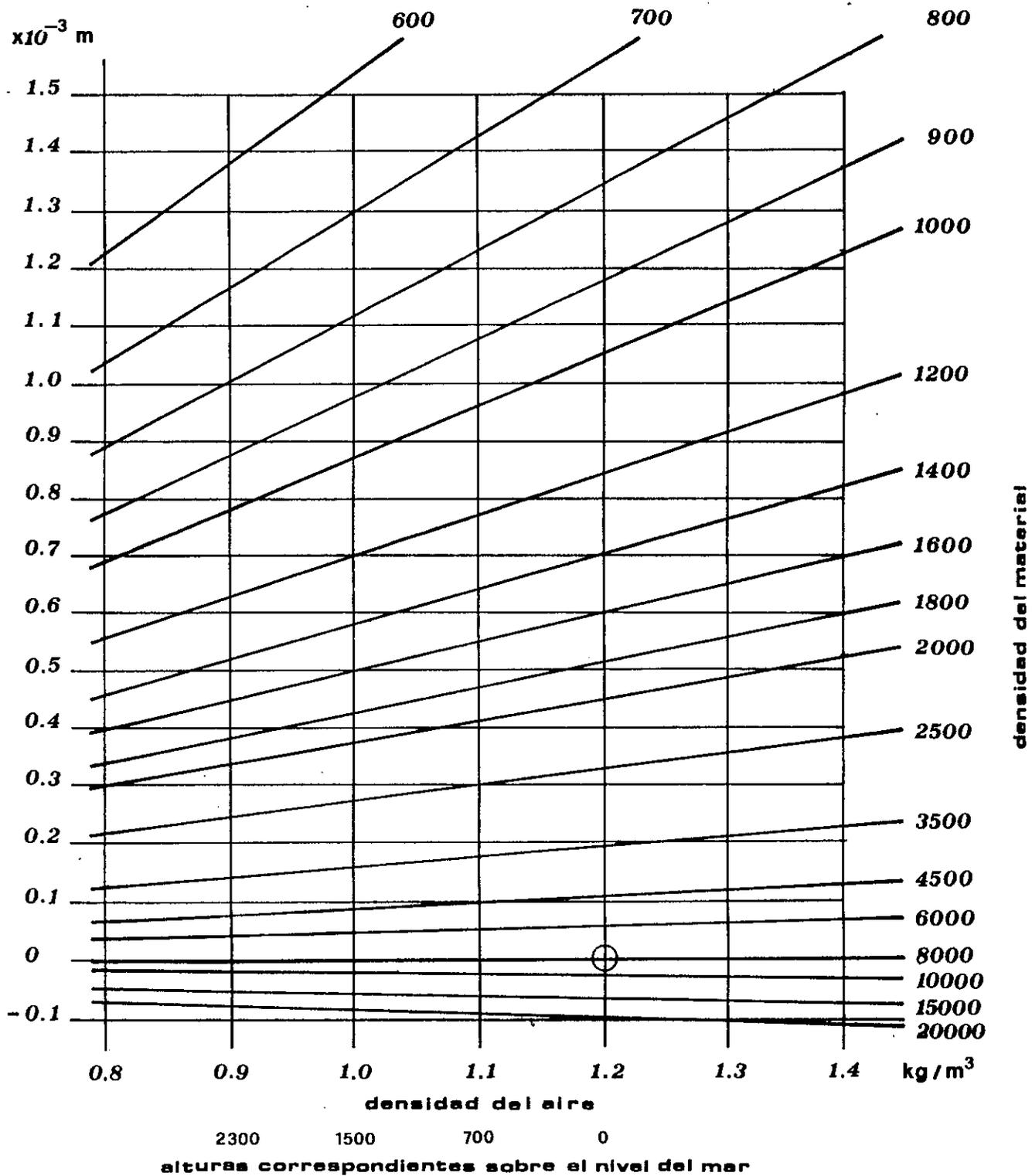


fig. 4

petroleros. Para el futuro se ha decidido de hecho por ISO TC-28 (1*) que el volumen transferido debe tomarse como si hubiera sido pesado en una balanza usando pesas de densidad convencional de 8,000 kg/m³. Esto es de suma importancia en el comercio de aceite crudo desde que la diferencia entre el resultado convencional de peso y la masa es, entonces, ligeramente mayor del 0.1 %.

Otra aplicación importante donde es necesario aplicar la corrección del empuje del aire es en la determinación del volumen de patrones de envases para pruebas o probadores por el método gravimétrico en cuyo caso los valores de densidad de agua como una función de temperatura, son tomados de tablas de valores listados de masa verdadera por volumen en kg/m³.

La medida precisa de la densidad de líquidos usando el picnómetro es un campo similar donde las correcciones de empuje pueden, algunas veces, tener que ser aplicadas. En los análisis rutinarios de química uno, generalmente, no aplica las correcciones de la densidad del aire. Cuando se pesan contenedores cerrados de líquidos uno no se debe sorprender de encontrar pequeñas variaciones en los resultados de las mediciones de un día a otro: éstas pueden deberse a variaciones en la presión barométrica y, consecuentemente, en la densidad del aire aunque los efectos son muy pequeños, del orden de unos pocos miligramos por cien gramos de líquido.

Durante la pesada en el aire, en todo cuerpo, incluyendo las medidas de masa, incluye el empuje aerostático, cuyo valor con forma a la ley de Arquímedes es igual al peso del volumen que desplaza el cuerpo. El vector de esta fuerza está dirigido en sentido contrario al peso del cuerpo (que está en dirección al centro de la tierra), es decir, que intenta levantar a este; por tal motivo, frecuentemente, se denomina a esta fuerza, FUERZA DE SUSTENTACION.

La ecuación de equilibrio del cuerpo y la medida de masa en el aire, tomando en cuenta la influencia del empuje aerostático, adoptan la siguiente forma:

$$(M_A - (M_A / D_A)) \cdot D = (M_B - (M_B / D_B)) \cdot D \quad (5)$$

donde:

M_A y M_B = masa del cuerpo y de la medida de la masa respectivamente.

(1*) Organización Internacional de Estandares, comité de trabajo TC-28

D_A y D_B = densidad del cuerpo y la medida de la masa, respectivamente.

D = densidad del aire (para la ecuación dada)

Transformando:

$$M_A(1 - (D/D_A)) = M_B(1 - (D/D_B)) \quad (6)$$

donde:

$$M_A = M_B \frac{(1 - (D/D_B))}{(1 - (D/D_A))} \quad (7)$$

De esta última ecuación se puede deducir, que si $D_A = D_B$, esta se reducirá a:

$$M_A = M_B$$

Sin embargo, en la práctica, no sólo los cuerpos que se pesan sino, además, las medidas de masa, están construidas de diferentes materiales que poseen diferentes densidades. Esto último trae, como consecuencia, la necesidad de introducir, constantemente, correcciones sobre el empuje aerostático tanto en la pesada de los cuerpos como en la verificación de las medidas de masa. Con vistas a simplificar los problemas antes planteados se procedió a implantar una densidad convencional tanto para el aire como para el material de las medidas de masa.

En la calidad de "densidad convencional para el material de las medidas de masa" se ha adoptado la densidad de cierto material hipotético, de valor igual a 8.0 g/cm^3 ($8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$). Este valor está próximo al valor medio de las densidades de los materiales de los cuales son construidas las medidas de masa.

Para el aire se ha adoptado una densidad convencional igual a 1.2 kg/m^3 o 0.0012 g/cm^3 , de aquí que no sea posible la construcción de medidas de masa con esta densidad. También en la práctica se procede a convertir, mediante cálculo, el valor real de densidad, a un valor de masa (valor convencional) referido a una densidad convencional del material.

Por ejemplo, para una medida de masa de acero:

$$M_a(1 - (1.2/7880)) = M_c(1 - (1.2/8000))$$

donde:

M_a y M_c = masa de la medida de masa de acero y convencional, respectivamente.

7880 = densidad de la medida de masa de acero.

8000 = densidad convencional del material de la medida de masa.

1.2 = densidad convencional del aire.

En resumen, después de las transformaciones correspondientes, se obtiene:

$$M_a = 0.99999772M_c.$$

De esta manera, para obtener la masa convencional de cualquier medida de masa de acero, se debe multiplicar el valor real de la medida de masa por el coeficiente K, el cual para el acero resulta equivalente a 0.99999772.

Por consiguiente en la verificación de las medidas de masa patrones el valor real de masa obtenido se debe multiplicar por el coeficiente K. El resultado obtenido será la masa convencional de la medida de masa patrón en cuestión y, como tal, deberá ser anotada en el registro de verificación. Para el cálculo de la masa de otras medidas de masa, que son verificables con ayuda de medidas de masa patrones, se empleará el valor convencional de estas últimas, sin introducir ningún tipo de corrección, ya que el resultado obtenido estará dado respecto de la densidad convencional del material.

En lo que se refiere a las medidas de masa en gramos y kilogramos, el coeficiente K se calculará respecto de la densidad real de cada medida de masa.

En lo que corresponde a las medidas de masa en miligramos, este coeficiente se podrá calcular sobre la base de los valores promedios de las densidades de los materiales con los cuales son construidas éstas y que son: para la placa, 8,850 kg/m³; para el

platino, 2,150 kg/m³, para el acero, 7,850 kg/m³; para el aluminio, 2,650 kg/m³. Sustituyendo el valor 7,880, que aparece en la fórmula dada en el ejemplo de la medida de masa de acero, por los valores antes señalados se obtendrá la masa convencional para las medidas de masa construidas de los materiales referidos.

Frecuentemente, la corrección sobre la influencia del empuje aerostático sólo se efectúa en pesadas de cuerpos cuya masa requiere ser determinada con una precisión que alcance el orden de 1/1,000,000.

2.2.1. VALORES DE CONSTANTES FISICAS

PRINCIPIOS BASICOS DE MEDIDAS DE PESO

EL CONCEPTO DE MASA Y FUERZA

Puede parecer un recordatorio superfluo acerca de los diferentes conceptos relacionados con operaciones de medida; se tratará de presentar el conocimiento de ciertos principios elementales y su aplicación en la vida práctica con la armazón de actividades de OIML.

Usualmente, se quiere determinar la masa de los objetos sin considerar si ellos son usados para comerciar o para otros propósitos.

Para eso, usualmente, se hace uso de la fuerza externa por la atracción de la tierra sobre los objetos en cuestión.

Se hace uso directo o indirecto de la gravedad "g", siendo la fuerza sobre una masa "m" :

$$F = mg \quad (8)$$

Sin embargo, para mediciones precisas de masa, esta fórmula no es completamente correcta, así como se debe tomar en cuenta el factor de empuje relacionado con los principios de Arquímedes el cual es producido por el hecho de que el objeto está sumergido en el aire que lo rodea. Esta fuerza es proporcional al volumen del objeto multiplicado por la densidad del aire.

Para discutir los efectos del empuje se asume que la determinación de la masa está hecha por una balanza clásica de brazo por comparación de masas o, como usualmente se les llama, pesos patrón. Si los centros de gravedad del objeto y los estándares están a un mismo nivel, el valor de g será el mismo y,

así, de este modo, se cancelará en el balance de la ecuación. Debe ser notado que lo mismo ocurre si se hace la comparación por sustitución en una balanza electrónica de compensación de fuerza. (1).

Por lo tanto, en la práctica, si cualquier balanza (mecánica con o sin resortes o electrónica) es ajustada con la masa estándar en su sitio de uso, el efecto de la aceleración debido a la gravedad puede ser despreciado. Si las balanzas de resorte o balanzas electrónicas conteniendo celdas de carga (o como usualmente les llamamos celdas de peso) son ajustadas y selladas en otros sitios fuera de su lugar de uso, puede ser necesario tomar en cuenta la diferencia para g en las dos localizaciones.

2.2.2. AJUSTES EN LAS PESAS

Las pesas deben ajustarse dentro de los límites de los errores máximos permisibles, a los valores de las masas que le son asignadas, por comparación con pesas patrones en un aire ambiente de densidad de 1.2 kg/m^3 y suponiendo que las pesas que se ajustan y las pesas patrones primarios tengan la misma masa volumétrica de $8,000 \text{ kg/m}^3$.

NOTA. En la práctica se puede, generalmente, sin introducir errores apreciables, sustituir la masa volumétrica real de las pesas por una masa volumétrica convencional, con la condición que el usuario de las pesas sea informado al respecto y que utilice para el cálculo, especialmente para el cálculo de las reducciones al vacío durante las pesadas posteriores, la masa volumétrica convencional de las pesas y no su masa volumétrica real.

(1) Un pequeño valor de " g " tal como es obtenida en el espacio exterior tendrá efectos de sensibilidad en ambas balanzas mecánicas y balanzas electrónicas y otros métodos de determinación de masa basados en inercia pueden ser utilizados.

CAPITULO 3

MODO DE EJECUCION Y DIFERENTES MODELOS

3.1. MODO DE EJECUCION

En este procedimiento de fabricación de las componentes del juego de pesas, es realizado de forma muy estricta y no caprichosa a la del fabricante, debido a que deben, en primer término, considerar las recomendaciones dadas en las normas existentes para fabricación, norma que rige el modo de ejecución así como las condiciones del acabado mediante el maquinado y las condiciones del tipo del material que se debe utilizar, etc.

3.1.1. MAQUINADO Y PULIDO

La superficie completa de las pesas, incluyendo su base y sus aristas, debe estar exenta de toda aspereza. La superficie de las pesas de las clases E1, E2, F1 y F2 a simple vista, no debe mostrar porosidades y debe estar bien pulida.

La superficie de las pesas cilíndricas de la clase M1 de 10 Kg debe ser pulida y no mostrar ninguna porosidad a simple vista. El acabado de la superficie de las pesas paralelepípedicas de la clase M1 de 50, 20, 10 y 5 kg debe ser comparable a la fundición de hierro gris cuidadosamente colado en molde de arena fina.

La superficie de las pesas múltiplos del gramo de las clases E1, E2, F1 y F2 pueden protegerse con un revestimiento metálico.

La superficie de las pesas múltiplos del gramo de la clase M1 puede protegerse con un revestimiento apropiado.

En el caso de duda acerca de la calidad de superficie de una pesa, los valores máximos siguientes de rugosidad de superficie, promedio de altura de picos al valle R_z (ISO) deben ser observados para determinar la calidad de superficie de esa pesa:

Tabla No.2

Valores máximos de rugosidad de superficie

Clase:	E1	E2	F1	F2
R_z (μm):	0.5	1	2	5

MARCA DE CONTROL METROLOGICO

La marca legal de control metrológico se fija sobre la pastilla de plomo que sella el cierre de la cavidad de ajuste o para pesas sin cavidad de ajuste en la base.

Basados en:

- 1- recomendación internacional No. 1;
- 2- recomendación internacional No. 2;
- 3- recomendación internacional No. 20;
- 4- pesas e instrumentos de pesas, Venezuela.

3.1.2. METODOS DE FUNDICION Y COSTOS

3.1.2.1. METODOS DE FUNDICION

Una investigación realizada en las fundidoras (ROSSI, MASELLI) en Guatemala acerca del o los métodos utilizado para la fundición de masas, de trabajo y de patrón de forma paralelepípedo; actualmente, solo utilizan el método de la COLADA EN ARENA, es posible realizar, además, por el método de INYECCION pero que el costo comparado con la anterior es demasiado alto, lo cual, no es posible aplicarlo.

El método de fundición COLADA EN ARENA lleva un tiempo para la fabricación de la masa, aproximadamente, de tres días (como mínimo).

Después de ser fundido, la masa o riel es limpiado y pulido, si la masa presenta mucha porosidad, esta masa o riel es rechazada; en definitiva, la presentación de la masa es lo esencial para dicho método de fundición.

Los metales utilizados para la fabricación de la masa con el método anterior pueden ser:

- 1- hierro fundido,
- 2- bronce fundido,
- 3- aluminio fundido.

3.1.2.2. COSTOS DE FUNDICION

Los costos para la fundición de las masas varían, dependiendo de la fundidora o quien se encargue de fabricarlo. A continuación se presentan algunos precios obtenidos en las fundidoras siguientes al mes de agosto de 1,994.

1- Fundidora ROSSI

Esta fundidora tiene como base para la fabricación de una masa tipo paralelepípedo, un costo de Q 4.00 por libra del metal, (esta fundidora trabaja con hierro fundido, bronce fundido y aluminio fundido).

2- Fundidora MASELLI

Esta fundidora, para la fabricación de una masa tipo paralelepípedo, tiene como costo base de Q 12.00 por libra del metal (esta fundidora sólo trabaja con hierro fundido).

3.1.3. CAVIDAD DE AJUSTES

La cavidad de ajuste es una cavidad cilíndrica, perforada axialmente, abriéndose en la superficie superior del botón de sujeción, con un diámetro ensanchado en el inicio de su abertura.

El ajuste se debe efectuar:

- a. en el caso de medidas de masa sin cavidad, por esmerilado o desbaste;
- b. en el caso de medidas de masa con cavidad, con materiales de alto peso específico (por ejemplo: municiones de plomo).

La cavidad debe estar cerrada ya sea por un tapón de latón roscado o por un disco de latón. El tapón debe tener una ranura para destornillador y el disco, un agujero central que permita levantarlo. El tapón o el disco deben estar sellados por una pastilla de plomo colocada a presión en una ranura circular interna de la cavidad.

3.2. DIFERENTES MODELOS

Los tipos y modelos para masas tapo M1 y M3 o, sea, masas de trabajo para calibración de balanzas clase IIII según OIML, así como a masas de gran capacidad (hasta 500 kg fabricados exclusivamente con hierro colado o bronce) para la calibración

de puentes báscula pueden tener la forma y diseño que convenga al usuario. Sin embargo, entre más se aproximan a los diseños propuestos, más fácil será su calibración y la relación de equivalencia a los patrones internacionales.

3.2.1. DIMENSIONES

Las dimensiones para las pesas M2 (también llamadas de precisión media) en forma cilíndrica de 1 g a 10 g se dan en las tablas 3, 4 y figuras 5, 6, y 7.

Para las pesas también clase M2 de 5 a 50 kg en forma paralelepípeda se presentan en las tablas 4 y 5 de acuerdo a los siguientes modelos:

MODELO 1: en tubos de acero sin soldadura. Ver fig. 8, 9, 10, 11 y tabla 5.

MODELO 2: en hierro fundido proveniente de la fundición con el cuerpo. Los valores nominales autorizados para las pesas paralelepípedas de precisión media o clase M2 son los siguientes: 5, 10, 20, 50 kg. Ver fig. 6, 7, y 8, tabla 6.

Las pesas deben ser de una sola pieza en forma de paralelepípedo rectangular de aristas redondeadas, con empuñadura rígida y deben ser fabricadas de hierro gris fundido.

Las pesas deben tener una cavidad de ajuste según lo siguiente:

MODELO 1: la cavidad de ajuste está constituida por el interior del tubo que forma la empuñadura de sujeción. Esta cavidad debe estar cerrada por un tapón atornillado en latón o, bien, por un disco en latón. El tapón debe llevar una ranura de destornillador, el disco, un agujero de aprehensión central. El tapón o el disco deben ser sellados por una pastilla de plomo repujado en una ranura circular interna o en el roscado del tubo.

MODELO 2: la cavidad de ajuste viene desde la fundición en uno de los montantes de la pesa y desemboca sobre la superficie superior de ese montante. Esta cavidad debe estar cerrada por una placa de acero dulce.

La placa debe estar sellada por una pastilla de plomo repujado en un espacio de corte cónico.

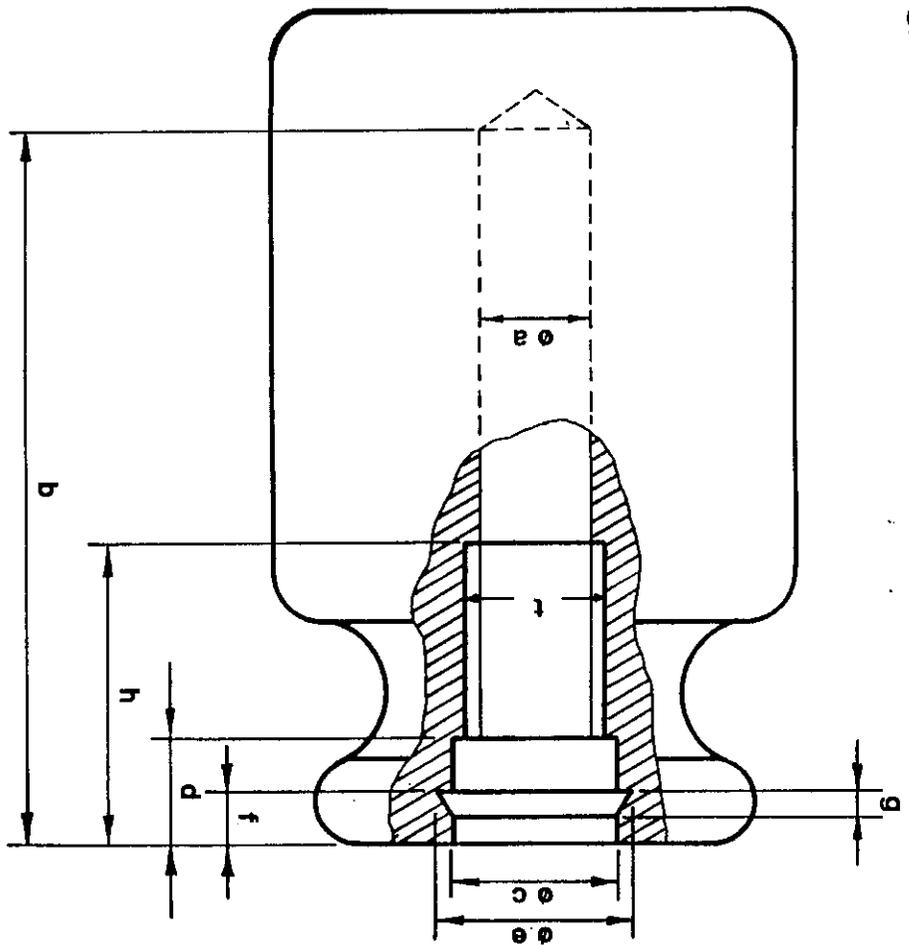
Tabla de dimensiones para masas cilíndricas (en milímetros)

Valor Nominal	Ø	Ø'	Ø"	H	E	R	r	o
1 g	6	5.5	3	dependiendo del material	1	0.9	0.5	1
2 g	6	5.5	3		1	0.9	0.5	1
5 g	8	7	4.5		1.4	1.25	0.5	1
10 g	10	9	6		1.6	1.5	0.5	1
20 g	13	11.5	7.5		2	1.8	0.5	1.5
50 g	18	16	10		3	2.5	1	2
20 g	13	11.5	7.5		2	1.8	0.5	1.5
50 g	18	16	10		3	2.5	1	2
100 g	22	20	13		4	3.5	1	2
200 g	28	25	16		4.5	4	1.5	3.2
500 g	38	34	22		6	5.5	1.5	3.2
1 g	48	43	27		8	7	2	5
2 g	60	54	36		10	9	2	5
5 g	80	72	46		13	12	2	10
10 g	100	90	58	17	15	3	10	

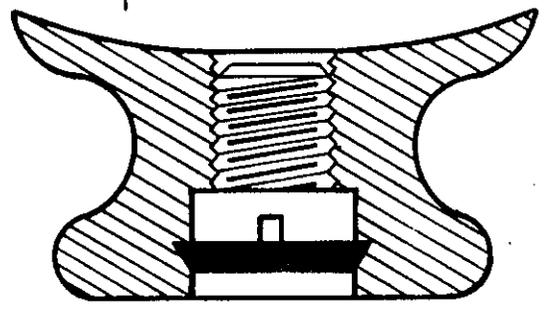
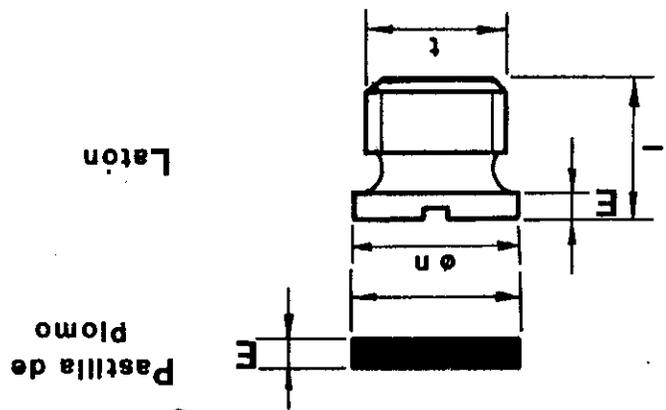
Sin cavidad de ajuste.

Tabla No. 3

fig. 5



(variante I)



Cavidad de ajuste



Pesas cilíndricas

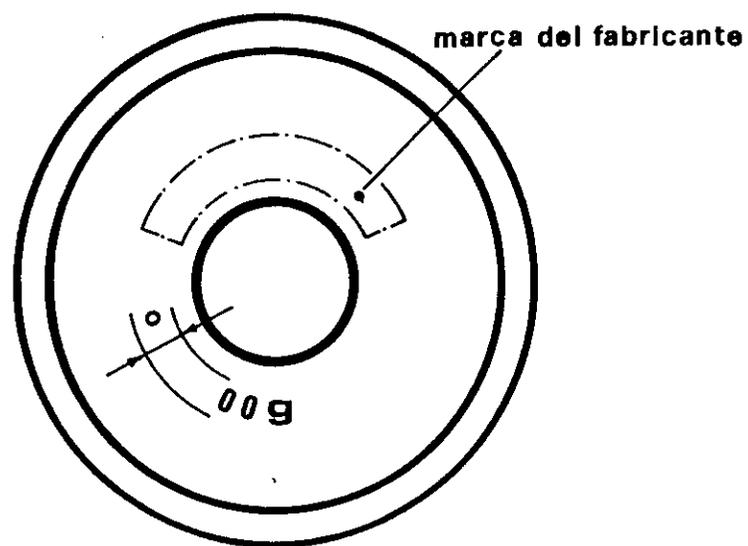
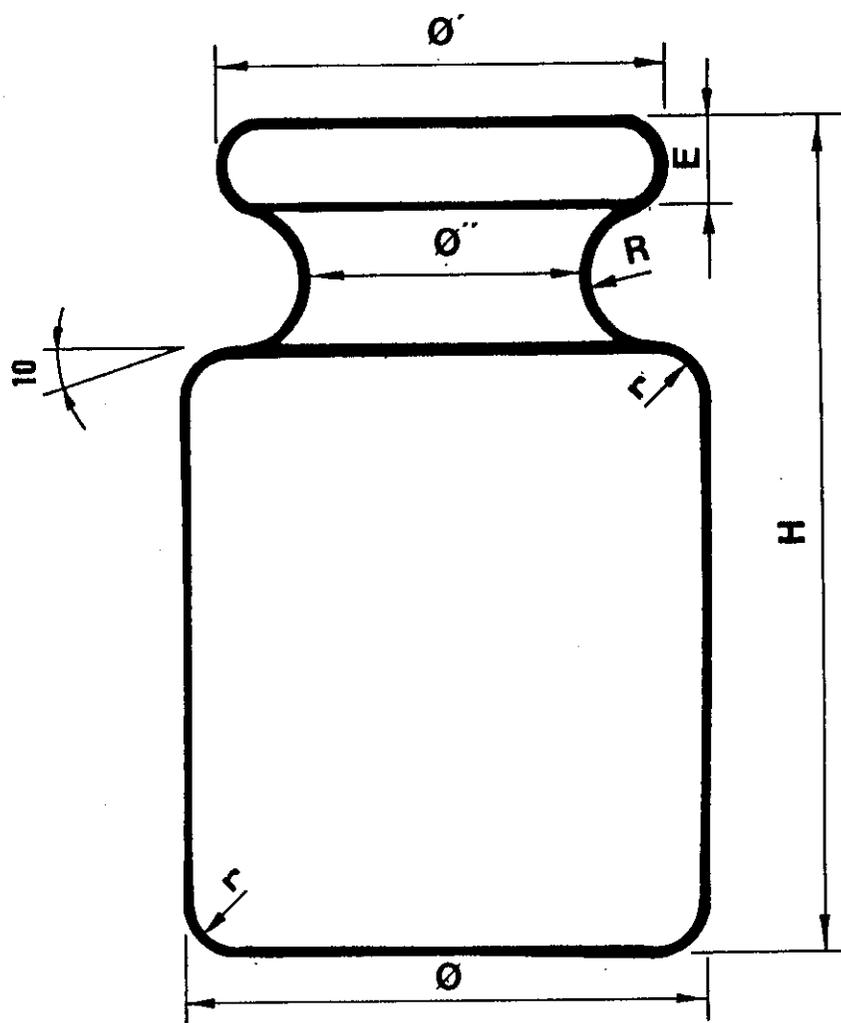
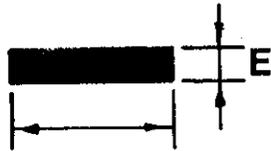
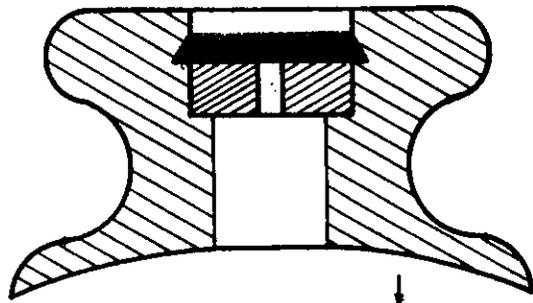
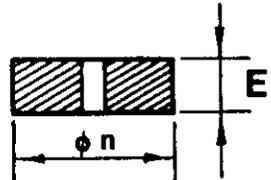


fig. 6

Cavidad de ajuste



Pastilla de Plomo



Latón

(variante 2)

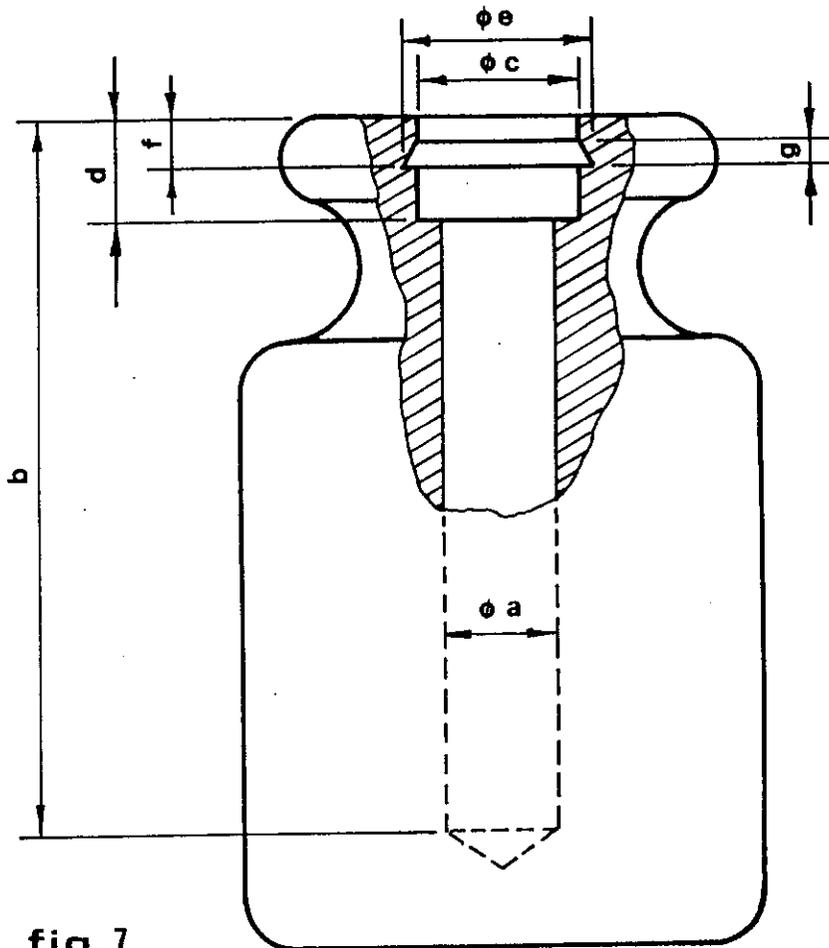


fig. 7

**Dimensiones de cavidades de ajuste
para masas cilíndricas**

Variante 1.														Variante 2.									
a	b	c	d	e	f	g	h	t	l	m	n	o		a	b	c	d	e	f	g	m	n	
de acuerdo al estándar	18	5.5	2.5	6.5	1.5	1	9	M 4x0.5	5	1	5	5	1	3	18	5.5	2.5	6.5	1.5	1	1	5	
	25	7.5	3.5	9	2	1	10	M 6x0.5	5	1.5	7	7	1.5	4.5	25	7.5	3.5	9	2	1	1.5	7	
	30	7.5	3.5	9	2	1	10	M 6x0.5	5	1.5	7	7	1.5	4.5	30	7.5	3.5	9	2	1	1.5	7	
	40	10.5	4.5	12	2.5	1.5	15	M 8x1	8	2	10	10	2	7	40	10.5	4.5	12	2.5	1.5	2	10	
	50	10.5	4.5	12	2.5	1.5	15	M 8x1	8	2	10	10	2	7	50	10.5	4.5	12	2.5	1.5	2	10	
	65	18.5	7	20	4	2.5	20	M 14x1.5	13	3	18	18	3	12	65	18.5	7	20	4	2.5	3	18	
	80	18.5	7	20	4	2.5	20	M 14x1.5	13	3	18	18	3	12	80	18.5	7	20	4	2.5	3	18	
	120	24.5	8	26.5	4	2.5	35	M 20x1.5	18	4	24	24	3	18	120	24.5	8	26.5	4	2.5	4	24	
	160	24.5	8	26.5	4	2.5	35	M 20x1.5	18	4	24	24	3	18	160	24.5	8	26.5	4	2.5	4	24	

Rosca de acuerdo ISO/R 261

La profundidad b de las cavidades de ajuste se dan sólo como una indicación, desde que el volumen de las cavidades debe permitir el ajuste de pesas nuevas, permaneciendo vacíos 2/3 del volumen de la cavidad, después de ser inicialmente ajustadas.

Tabla No. 4

**Tabla de cotas para masas paralelepípedicas
(en milímetros)**

Modelo 1

Valor Nominal	A	A'	B	B'	H	a	b	c	h	d	d'	l	r	o	t	f	e	K	Ø	Ø'	Ø''	g
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	66	12	20	145	5	12	M16x1.5	14	1	2	16.5	18	16	5
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	84	12	20	185	6	16	M16x1.5	14	1	2	16.5	18	16	5
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	109	24	32	220	8	20	M27x1.5	21	2	3	27.5	30	27	8
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	152	24	32	300	10	25	M27x1.5	21	2	3	27.5	30	27	8

Las cotas A y A' así como B y B' pueden ser invertidas.

(Rosca según ISO/R 261)

Tabla No. 5

**Tabla de cotas para masas paralelepípedicas
(en milímetros)**

Modelo 2

Valor Nominal	A	A'	B	B'	H	a	b	c	h	d	r	o	m	n	p
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	66	19	5	12	16	13	55
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	84	25	6	16	35	25	70
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	109	29	8	20	50	30	95
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	152	40	10	25	70	40	148

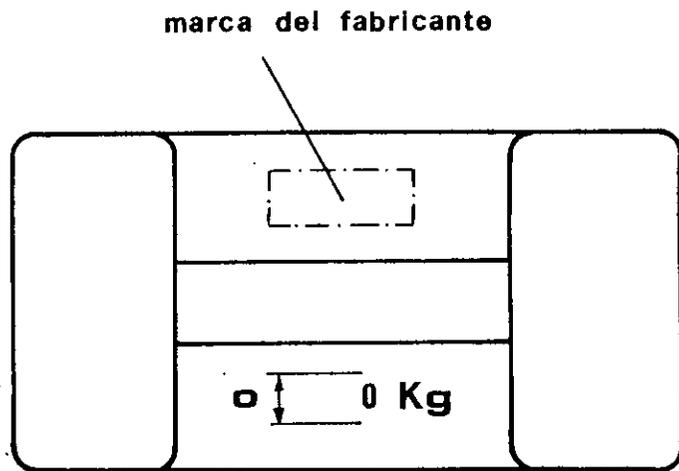
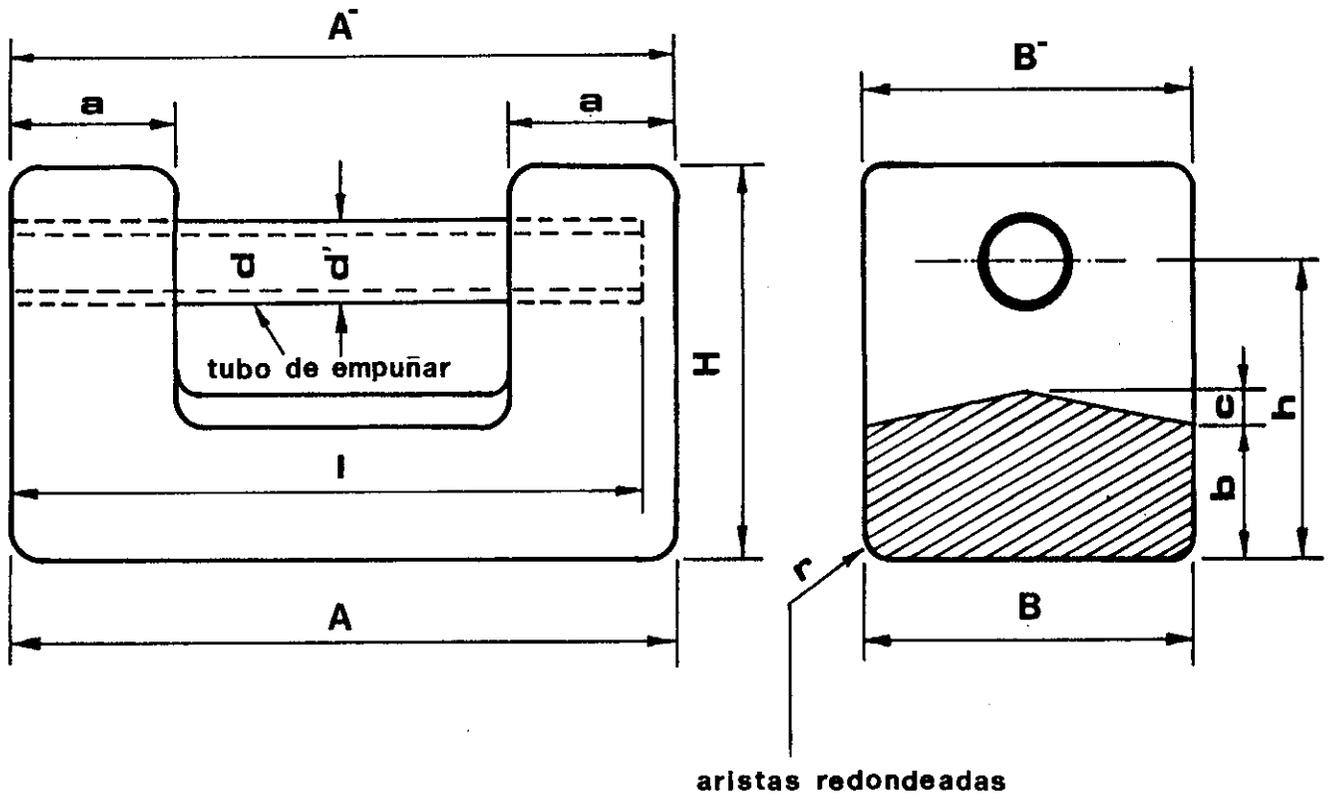
Las cotas A y A' así como B y B' pueden ser invertidas.

Las dimensiones interiores m, n, y p de las cavidades de ajuste son dadas a título indicativo.

El volumen de las cavidades debe permitir el ajuste de pesas nuevas quedando en el ajuste inicial 2/3 de la cavidad vacía.

Tabla No. 6

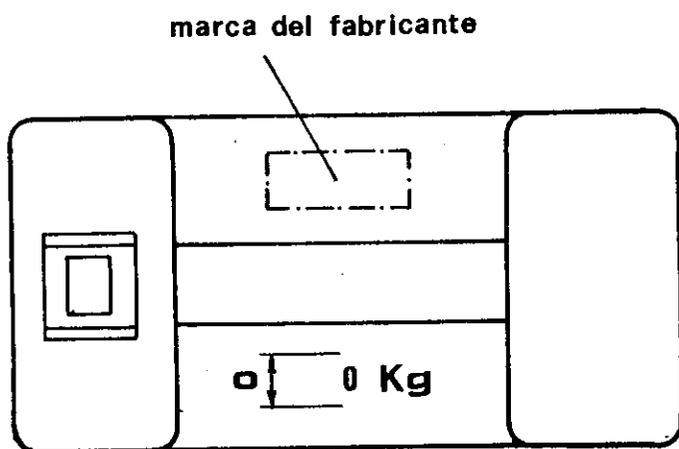
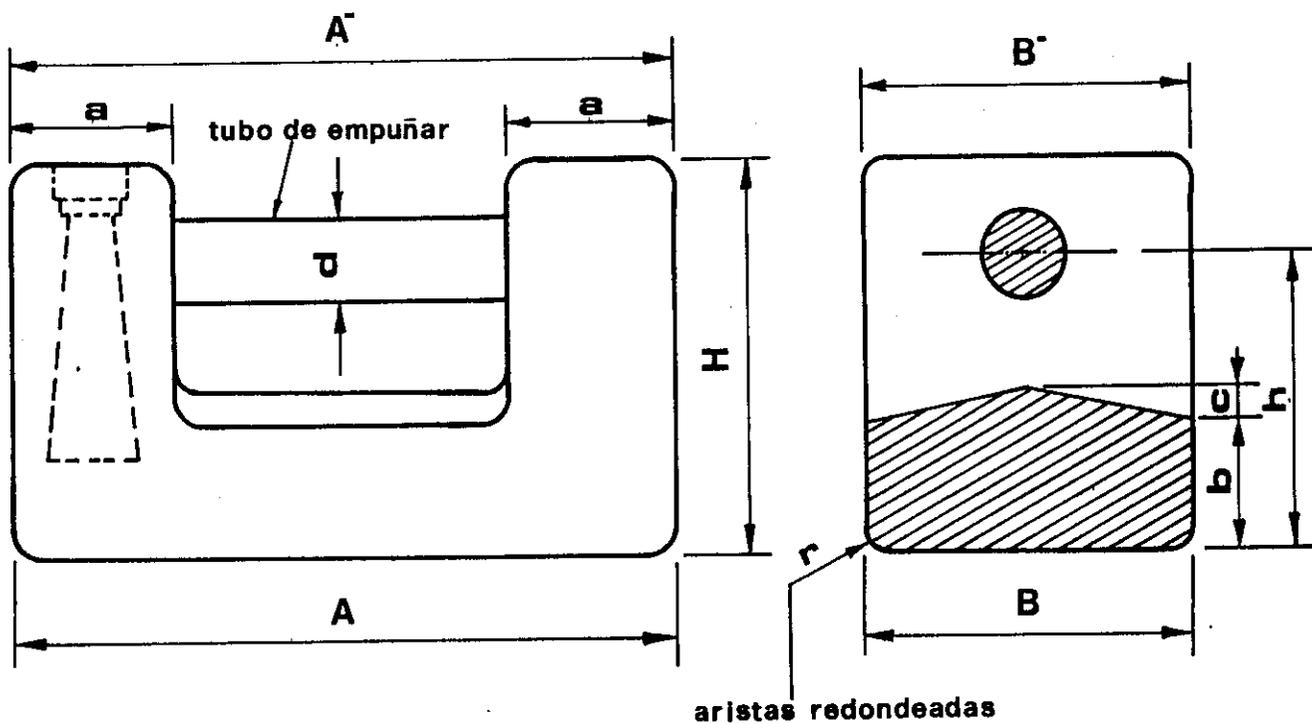
Pesas Paralelepédicas



modelo 1

fig. 8

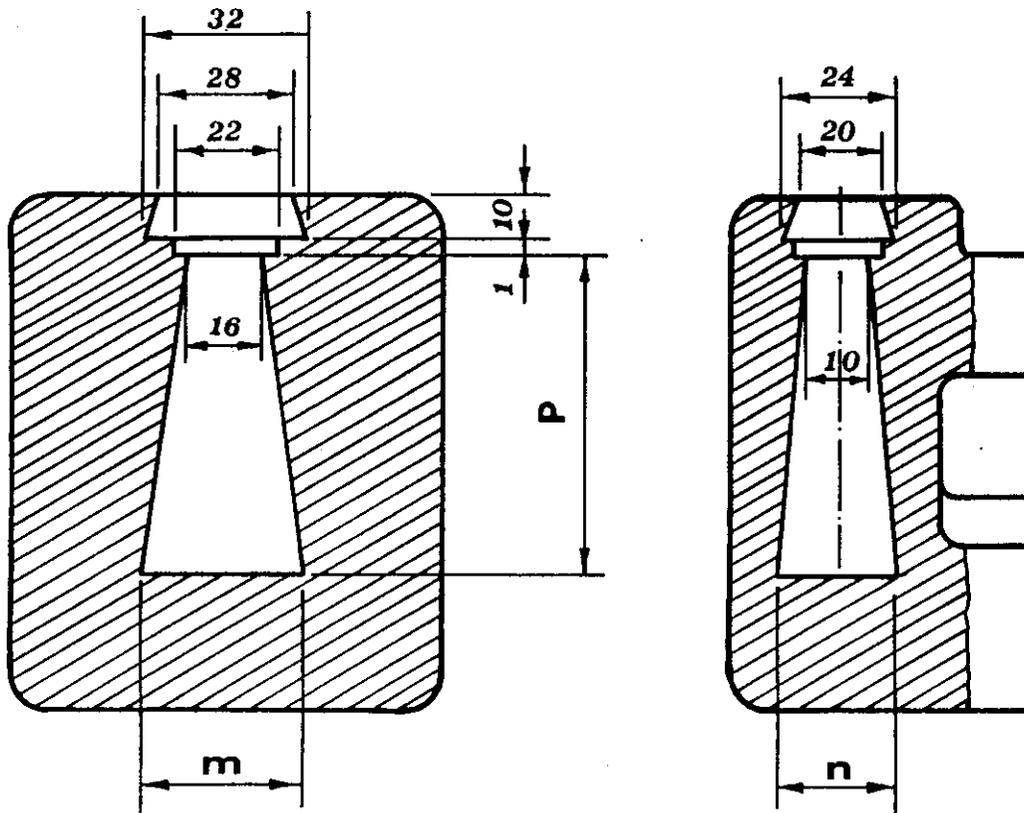
Pesas Paralelepédicas



modelo 2

fig.9

Cavidad de ajuste



pastilla de Plomo

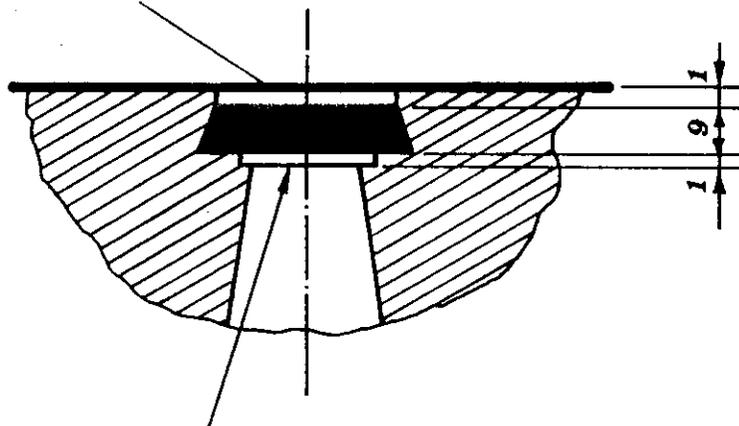
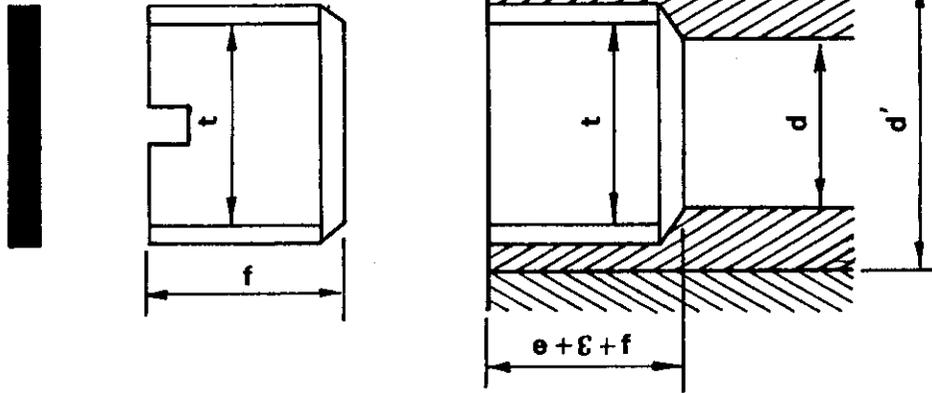


fig. 10

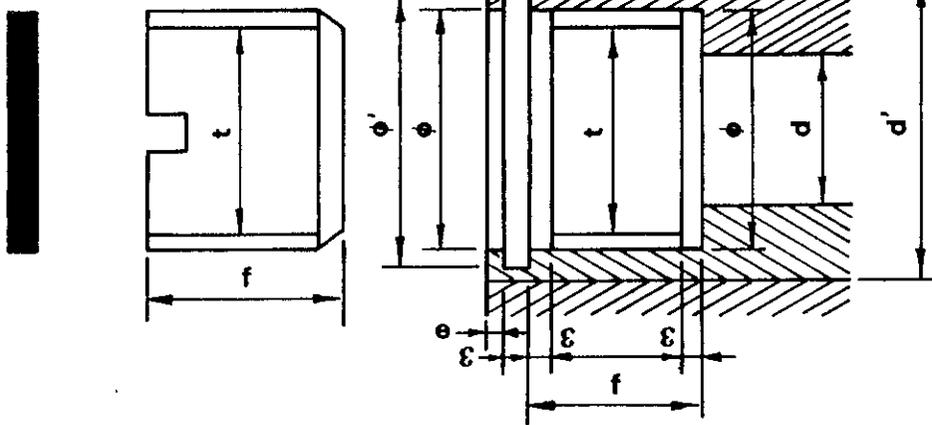
Botón de cierre

Pastilla de Plomo

variante 1



variante 2



variante 3

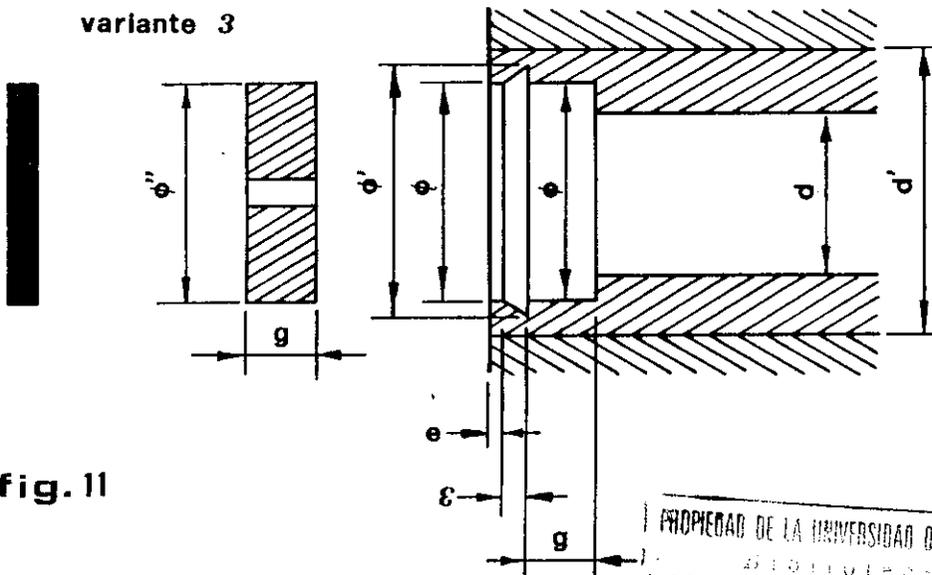


fig. 11

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA C.
Biblioteca Central

Las pesas de las demás clases de precisión pueden tener las dimensiones exteriores de la clase M2. Sin embargo, cuando el valor nominal esté comprendido entre 10 kg y 1 g, pueden tener también la forma de un cuerpo cilíndrico ligeramente troncocónico rematado por un botón de sujeción.

El cuerpo debe tener una altura, aproximadamente, igual al diámetro medio; la altura debe estar comprendida entre los $\frac{3}{4}$ y los $\frac{5}{4}$ de éste diámetro. La altura del botón debe tener un valor comprendido entre el diámetro y el semidiámetro medio del cuerpo en todas las medidas de masa.

FORMA DE LAS PESAS DE 1 g O SUBMÚLTIPLOS DEL g

Las pesas de 1 gramo o submúltiplos de gramo son láminas poligonales o alambres de forma apropiada que permita una fácil aprehensión.

La forma indica, además, el valor nominal de las pesas.

Triangular para 1; 10; 100; 1,000 mg

Cuadrado para 2; 20; 200 mg

Pentagonal para 5; 50; 500 mg

Líneas poligonales formadas por segmentos y su valor para las pesas de alambre:

1 segmento de 1; 10; 100; 1,000 mg,

2 segmentos de 2; 20; 200 mg,

5 segmentos de 5; 50; 500 mg;

las pesas dobles o triples de un juego se distinguen por uno o dos asteriscos o puntos para las pesas de láminas y por uno o dos ganchos para las pesas de alambre.

Nota. Las pesas de forma diferente se admiten para las pesas de quilates y en los campos especiales amparados por otras normas y recomendaciones.

3.2.2. TOLERANCIAS DIMENSIONALES

Estas discrepancias o tolerancias son, básicamente, agregados a partir de las medidas nominales, dichas medidas deben ser de tal manera que tengan una proporción de \pm sobre el valor

nominal, pero, que estén contempladas dentro de normas extendidas por instituciones encargadas legales, para este caso que se trata de medidas dimensionales para masas patrón, se recomienda considerar para dichas tolerancias dimensionales, la norma DIN 7,168, que presenta 4 grados de exactitud de tolerancias, que en seguida se presenta la tabla No. 7 respectiva con las acotaciones de las tolerancias

Tabla No. 7.

Grado de exactitud	Margen de medida nominal en mm					
	0.5 hasta 3	3 hasta 6	6 hasta 30	30 hasta 120	120 hasta 315	315 hasta 1000
Fino ±	0.05	0.05	0.1	0.15	0.20	0.30
Medio ±	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8
Grueso ±	0.15	0.20	0.5	0.8	1.2	2.0
Muy Grueso ±		0.5	1.0	1.5	2.0	3.0

3.2.3. ERRORES MAXIMOS TOLERADOS SOBRE LA MASA

Los errores máximos tolerados para pesas de forma cilíndrica, se presentan para cada pesa individual a continuación en la tabla 8.

Los errores máximos tolerados sobre la masa de las pesas de forma paralelepípeda se presenta en la tabla 9.

3.2.3.1. TOLERANCIA DE PRIMERA VERIFICACION

Para la tolerancia de primera verificación se muestra mediante la tabla No. 9, debido a que las masas se sujetan según estos requerimientos al salir de la fabrica o al momento de ser certificado por primera vez; también se aplican después de ser ajustadas o en certificaciones normales.

**Errores para masas cilíndricas
según OIML RI-111**

Máximo Error Permissible en mg							
Valor Nominal	Clase E1	Clase E2	Clase F1	Clase F2	Clase M1	Clase M2	Clase M3
50 Kg	25	75.0	250.0	750.0	2500.0	7500.0	
20	10	30.0	100.0	300.0	1000.0	3000.0	25000
10	5	15.0	50.0	150.0	500.0	1500.0	10000
5	2.5	7.5	25.0	75.0	250.0	750.0	5000
2	1.0	3.0	10.0	30.0	100.0	300.0	2500
1	0.50	1.5	5.0	15.0	50.0	150.0	1000
500 g	0.250	0.750	2.5	7.5	25.0	75.0	500
200	0.100	0.300	1.0	3.0	10.0	30.0	250
100	0.050	0.150	0.500	1.5	5.0	15.0	100
50	0.030	0.100	0.300	1.0	3.0	10.0	50
20	0.025	0.080	0.250	0.80	2.5	8.0	25
10	0.020	0.060	0.200	0.60	2.0	6.0	20
5	0.015	0.050	0.150	0.50	1.5	5.0	15
2	0.012	0.040	0.120	0.40	1.2	4.0	12
1	0.010	0.030	0.100	0.30	1.0	3.0	10
500 mg	0.008	0.025	0.080	0.25	0.80	2.5	
200	0.006	0.020	0.060	0.20	0.60	2.0	
100	0.005	0.015	0.050	0.15	0.50	1.5	
50	0.004	0.012	0.040	0.12	0.40		
20	0.003	0.010	0.030	0.10	0.30		
10	0.002	0.008	0.025	0.08	0.25		
5	0.002	0.006	0.020	0.06	0.20		
2	0.002	0.006	0.020	0.06	0.20		
1	0.002	0.006	0.020	0.06	0.20		

Apropiada para
verificación
M1

Apropiado para
comercio de bie-
nes de valor y
verificación de
M3

Apropiada para
comercio en -
general

Pesas ajustadas de acuerdo a la recomendación internacional O.I.M.L. R-33.
Valor convencional del resultado de pesar en el aire.

NOTA: Los errores máximos permisibles en servicio son el doble de los valores
indicados en la tabla.

Fuente: Borrador de recomendación O.I.M.L. en pesas 1,991.

Tabla No. 8

**Errores para masas
paralelepipedas según OIML**

VALOR NOMINAL	ERRORES MAXIMOS TOLERADOS EN mg	
	En verificacion inicial	En servicio
5 Kg	+ 800 0	+ 800
10 Kg	+ 1600 0	+ 1600
20 Kg	+ 3200 0	+ 3200
50 Kg	+ 8000 0	+ 8000

Tabla No. 9

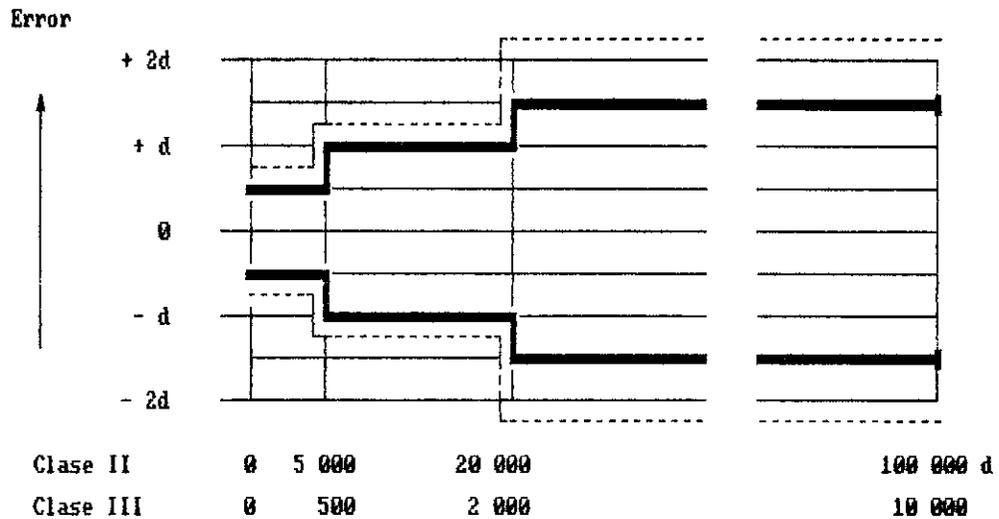
3.2.3.2. TOLERANCIA DE SERVICIO

Para este tipo de tolerancia, respecto de masas cilíndricas, normalmente, se toma como el doble de la tolerancia de primera verificación mencionada anteriormente (tabla No. 8) ya que se considera un rango más amplio en condiciones de trabajo, esto es debido a que los instrumentos y patrones en el área de servicio son causa de mayor incertidumbre o menos precisión en fabricas o talleres de balanzas.

3.2.3.2. DIAGRAMAS

Los diagramas que se presentan a continuación se refieren, básicamente, a los errores máximos tolerados sobre la masa, tolerancia de servicio y las tolerancias de servicios, que el fabricante necesita del apoyo de las masas para facilitarle el proceso de calibración de las pesas, como para las balanzas.

Estos diagramas recopilados, son los más recientes actualmente (1994) y su aplicación es muy sencilla.



Máximo error permisible para la verificación de instrumentos auto-indicadores de pesos con cargadores no automáticas, como una función de la carga expresada en intervalo de escala "d".

CLASE II = Comercio con bienes valiosos.

CLASE III = Comercio en general.

DIAGRAMA 1

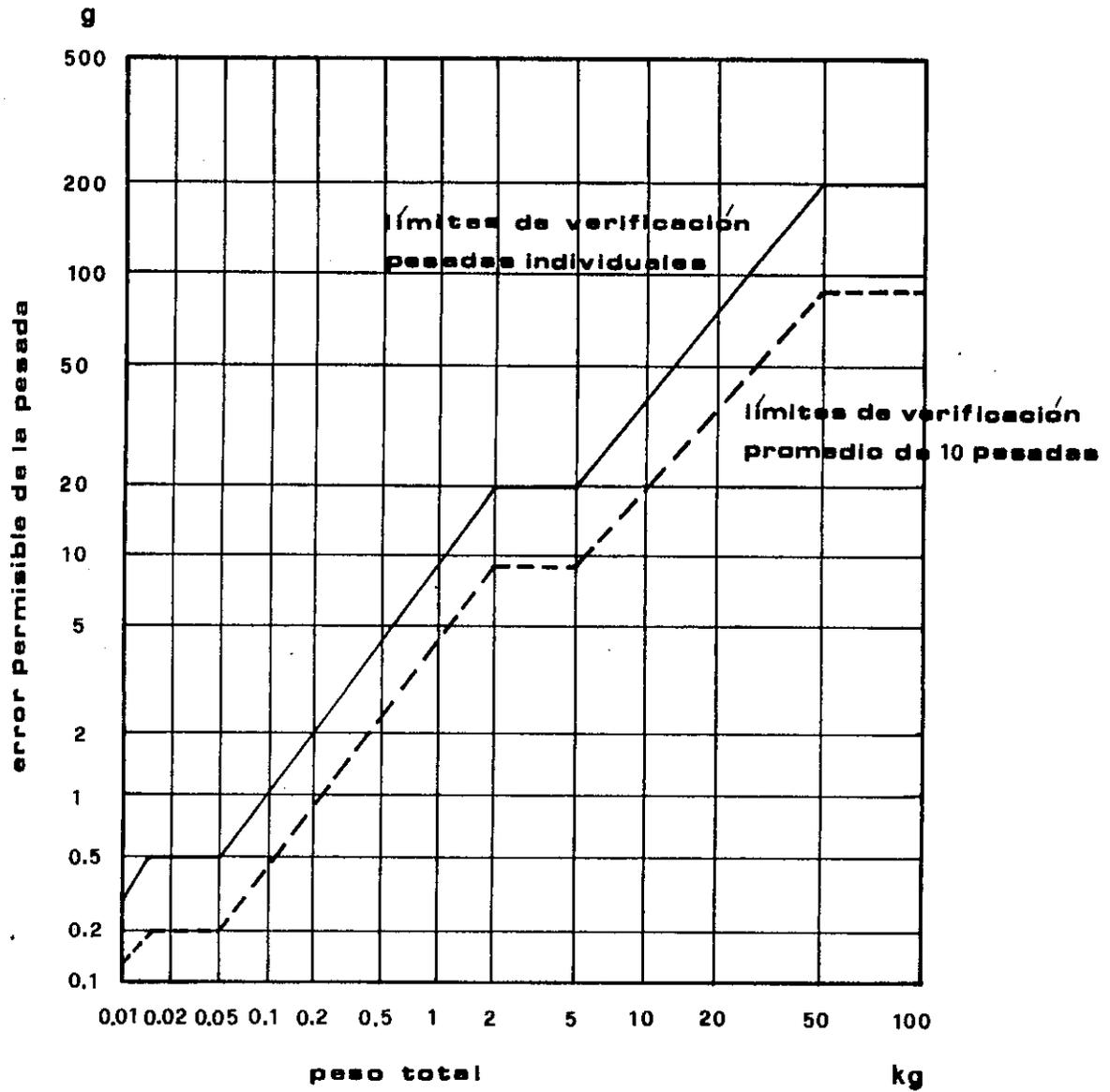


diagrama 2

fuelle fabricante

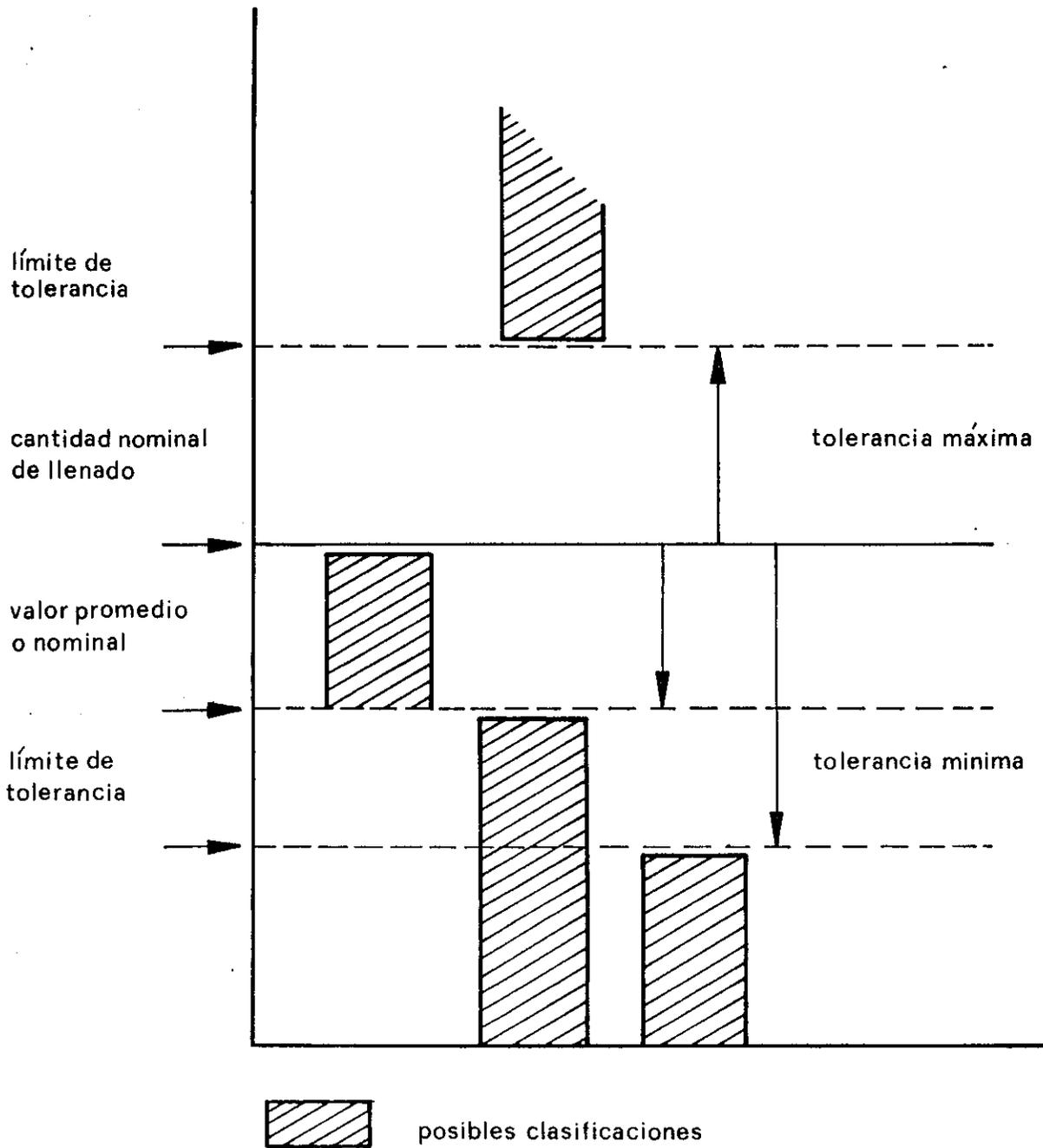


diagrama 3

valores definidos de tolerancias al valor medido relativo a una meta estipulada.

CAPITULO 4.

FABRICACION DE UN JUEGO DE MASAS DE PRECISION MEDIANA (M1) DE 100 g HASTA 500 g

4.1. COMPARACION DE MASAS

PAÑOS A SEGUIR

Para este juego de masas, patrón, compuesto de cinco elementos siendo dos de 100 g, dos de 200 g y uno de 500 g, se utilizó como material para su fabricación un eje de acero de una máquina de fabricación extranjera; antes de ello se utilizó un eje de acero de una máquina de fabricación nacional, pero fue rechazada debido a que su densidad no llegó al valor mínimo requerido por las normas de fabricación de masas patrón (el cual está especificado entre los 7,000 a 9,000 kg/m³) lo que si se logró obtener con el acero extranjero, luego entonces de haber encontrado el acero con la densidad aceptable, se procede a calcular el volumen necesario para una masa de 100, 200 y 500 g.

CALCULO DE LA DENSIDAD DEL MATERIAL (Acero)

Para calcular la densidad del material utilizado para la fabricación del juego de masas, patrón, M1 (Pesas de precisión media o de trabajo) se utilizó un método muy sencillo y muy práctico, para ello se procede así:

- 1.- una muestra del material (acero) se somete a un maquinado mediante el torno, de tal manera que su diámetro (d) y longitud (L) tengan medidas con exactitud de hasta milésimas de mm. Dicho maquinado de la muestra se realizó en el taller de ICAITI, el cual quedó con las medidas siguientes:

$$\begin{aligned}d &= 30.442 \text{ mm} \\L &= 36.424 \text{ mm}\end{aligned}$$

Como se sabe la ecuación básica para encontrar la densidad es:

$$D = m/v \quad ; \quad \text{donde:} \quad (9)$$

D = densidad en kg/m³

m = masa en kg. (encontrado con balanza de alta precisión)

V = volumen en m³,

- 2.- luego de obtener los valores de la longitud y el diámetro se procede a calcular el volumen mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$V = \pi * r^2 * L = \frac{\pi * d^2 * L}{4} \quad (10)$$

Sustituyendo los valores del diámetro y longitud se obtiene:

$$V = \frac{\pi * 30.442^2 * 36.424}{4}$$

$$V = 26,510.864 \text{ mm}^3 = 2.650864 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

- 3.- el siguiente paso es la muestra de material, al que se le ha encontrado el volumen, se llevó al laboratorio especial, para este caso, el laboratorio del ICAITI, con una humedad relativa, aproximadamente, de 45 %, una temperatura de 20 °C, y una presión barométrica de 850 hecto pascal (hpa), haciendo permanecer justamente 24 horas, antes de realizar cualquier medición, esto es para obtener valores más exactos y confiables, sin posible fluctuación, se pesó la muestra en una balanza electrónica con exactitud de hasta centésimas de g. dando como resultado final un valor de 209.97 g o, bien, 0.20997 kg.
- 4.- finalmente, teniendo como valores conocidos la masa y el volumen del material de muestra, se procedió a calcular su densidad, mediante la ecuación (9) dada anteriormente:

$$m = 0.20997 \text{ kg}$$

$$V = 2.6510864 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$D = \frac{0.20997}{2.6510864 \times 10^{-5}}$$

$$D = 7,920.1493 \approx 7,920 \text{ kg/m}^3$$

CALCULO DE VOLUMEN PARA LAS MASAS DE 100, 200 Y 500 g.

En este momento, teniendo a la mano la densidad del material y los valores respectivos de masas, se procede a encontrar los volúmenes respectivos mediante la ecuación siguiente:

$$V = m/D \quad (11)$$

1.- para la masa de 100 g = 0.100 kg se tiene:

$$V_{100} = \frac{0.100 \text{ kg}}{7920 \text{ kg/m}^3} = 1.26262 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

2.- para la masa de 200 g = 0.200 kg:

$$V_{200} = \frac{0.200 \text{ kg}}{7920 \text{ kg/m}^3} = 2.5252 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

3.- para la masa de 500 g = 0.500 kg:

$$V_{500} = \frac{0.500 \text{ kg}}{7920 \text{ kg/m}^3} = 6.3131 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Teniendo el volumen para cada valor de masa requerida se procede a calcular la longitud, teniendo, además, como valor conocido y constante durante todo el proceso de fabricación el diámetro, por lo que se aplica la ecuación (10):

$$V = \frac{\pi * d^2 * L}{4} ; \text{ entonces:}$$

$$L = \frac{4 * V}{\pi * d^2} \quad (12)$$

1.- para la masa de 100 g con $V = 1.26262 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 12,626.2 \text{ mm}^3$
y $d = 30.495 \text{ mm}$

$$L = \frac{4 * 12,626.2}{\pi * 30.495^2} = 17.287 \text{ mm}$$

2.- Para la masa de 200 g con $V = 2.5252 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 25,252 \text{ mm}^3$ y
 $d = 30.524 \text{ mm}$

$$L = \frac{4 * 25,252}{\pi * 30.524^2} = 34.510 \text{ mm}$$

3.- Para la masa de 500 g con $V = 6.3131 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 63,131 \text{ mm}^3$ y
 $d = 44.547 \text{ mm}$

$$L = \frac{4 * 63,131}{\pi * 44.547^2} = 40.506 \text{ mm}$$

PROCESO DE RECTIFICADO DEL JUEGO DE MASAS DE PRECISION MEDIANA (M1)

Este proceso de rectificaco es realizado en las instalaciones del ICAITI, debido a que fue la instalaci3n donde se tuvieron a la mano todos los instrumentos necesarios de medici3n de alta precisi3n, como el que considera todas las precauciones y recomendaciones que se dan en las normas de fabricaci3n de masas de trabajo o de patr3n.

Antes de enunciar los pasos del proceso, es necesario aclarar algo muy importante, la metodolog3a utilizada para diferenciar las dos masas de 100 g y las dos masas de 200 g, practic3ndole un punzonaso en una cara de una de las dos masas del mismo valor nominal.

Aclarado lo anterior se procede a enumerar los siguientes pasos del rectificaco:

A. para la masa de 100 g. (sin punzonaso)

Esta masa se inici3 con un peso de 104.9 g.

- La primera rectificaci3n fue equivalente a rebajar a la longitud de la masa una cent3sima de mm., llegando a pesar la masa 103.7 g.
- La segunda rectificaci3n fue equivalente a rebajar otra cent3sima de mm., llegando a pesar la masa 102.6 g.
- Se procede a la tercera rectificaci3n, bajando a la longitud de la masa un total de 2 cent3simas de mm. m3s, con lo cual la masa llega a pesar en la balanza 101.4 g.
- Se procede a la cuarta y 3ltima rectificaci3n bajando otra cent3sima de mm. a la longitud de la masa, quedando con un peso al final de 100.3 g.

Por cada paso mencionado anteriormente fue necesario darle una lijada en el torno para desprender toda viruta de la masa y, as3, no modificar el peso real, (posible aumento).

B. para la masa de 100 g. (con el punzonaso)

Iniciando la rectificaci3n con una masa total de 104.00 g.

- 1- Se procede a la primera rectificaci3n bajando a la longitud de la masa un total de 2 cent3simas de mm. con lo que la masa lleg3 a pesar 101.3 g.

- 2- Se procede a la segunda rectificación bajando otra centésima de mm., con lo que la masa llegó a pesar en la balanza 100.2 g., siendo el paso final de rectificación para dicha masa.

NOTA Ambas masas de 100 g. fueron maquinadas únicamente en una de sus dos caras, debido a que ambas caras presentaban un buen acabado, de lo contrario hubiera sido necesario maquinar en ambas caras.

C. para la masa de 200 g. (sin punzonaso)

Esta masa comienza con un valor de 206.5 g.

- 1- Entonces, se procede al primer paso de rectificado bajando un total de dos centésimas de mm., llegando a pesar 205.5 g.
- 2- Se procede al segundo paso de la rectificación bajando otras cuatro centésimas de mm., llegando a pesar la masa en la balanza 203.0 g.
- 3- Se procede al tercer paso de la rectificación haciendo bajar otras dos centésimas de mm., en la longitud de la masa, llegando a pesar la masa en la balanza 201.2 g.
- 4- Se procede a una cuarta rectificación haciendo bajar otras dos centésimas de mm. en la longitud de la masa llegando a pesar 200.1 g., siendo el último paso de rectificación.

D. para la masa de 200 g. (con el punzonaso)

Esta masa se inició con un valor de 203.1 g.

- 1- Se procede al primer paso de rectificación haciendo bajar a la longitud de la masa un total de dos centésimas de mm., llegando a pesar al final del proceso 202.2 g.
- 2- Se procede a un segundo paso de rectificación en la masa haciendo bajar otras dos centésimas de mm., llegando a pesar en la balanza 201.1 g.
- 3- Se procede al tercer y último paso de rectificación en la masa haciendo bajar otras dos centésimas de mm., llegando a pesar, dicha masa, al final, 200.0 g.

NOTA Para la masa de 200 g. (sin el punzonaso) fue necesario hacer la rectificación en las dos caras, por estar mal maquinado procedente del torneado, la otra de 200 g. solamente en una de su cara.

E. Para la masa de 500 g.

Con esta masa se empezó con un valor inicial de 514.1 g.

- 1- Se procedió al primer paso de rectificación a la masa haciendo bajar seis centésimas en su longitud, llegando a pesar en la balanza 507.9 g
- 2- Se procedió, nuevamente, a un segundo paso de rectificación haciendo bajar cuatro centésimas de mm. en su longitud, llegando a pesar en la balanza 503.5 g.
- 3- Se procedió al tercer paso de rectificación a la masa haciendo bajar otra centésima de mm. a su longitud, llegando a pesar en la balanza 501.7 g.
- 4- Se procedió a un cuarto paso de rectificación en la masa haciendo bajar en su longitud otra media centésima de mm., llegando a pesar en la balanza 500.9 g.
- 5- Se procedió a un quinto y último paso de rectificación en la masa haciendo bajar en su longitud otra media centésima de mm., llegando a pesar en la balanza 500.1 g.

NOTA: Para esta masa de 500 g. sólo fue rectificado en una cara, la otra sólo se le hizo un pulido con lija.

OBSERVACION GENERAL DEL PROCESO DE RECTIFICADO

Las cinco masas que conforman el juego, después de cada paso de rectificado en la fresadora para el ajuste al valor nominal fue llevado a un pulido con lija en un torno especial con el fin de retirar de la masa toda viruta producida por la rectificación y el cual aun ha quedado prendido en la masa, para no alterar así la pesada en la balanza.

4.1.1. ECUACIONES BASICAS DE MASA

Para presentar las ecuaciones básicas utilizadas para la comparación de masas se presenta, en primer plano, un cuadro donde se muestran las diferentes unidades de medición, su abreviatura y su equivalente al kilogramo (kg) que es la unidad básica.

Unidad	Abreviatura	Equivalente a kg
Nanómetro	ng	10^{-12}
Microgramo	μ g	10^{-9}
Miligramo	mg	10^{-6}
gramo	g	10^{-3}
kilogramo	kg	Unidad básica
Tonelada	t	10^3

A continuación se presentan las ecuaciones para el cálculo de la masa de trabajo en función propiamente de las densidades del aire, la masa de prueba y de la masa patrón.

$$M_{\text{trabajo}} = M_{\text{trabajo}} * \frac{[1 - (D_A/D_{MPT})]}{[1 - (D_A/D_{MTP})]} \quad (13)$$

donde:

D_A = Densidad del aire en el lugar de pesada (laboratorio)
 D_{MPT} = Densidad de la masa patrón de comparación
 D_{MTP} = Densidad de la masa en prueba

Usualmente, en Europa utilizan los siguientes valores de densidades, para la ecuación dada anteriormente y obtener un mejor resultado en el cálculo de calibración de medición, éstos son:

D_{MTP} = Debería ser 8,000 kg/m³

D_A = que es de 1.2 kg/m³

4.1.2. DENSIDAD DEL AIRE

Para el cálculo de la densidad del aire se tiene la siguiente ecuación:

$$D_A = \frac{[0.34844 * P - O(0.252 * t - 2.0582)]}{(273.15 + t)} \quad (14)$$

donde:

P = Presión atmosférica
 O = Humedad relativa
 t = Temperatura en °C

4.1.2.1. FACTORES DE SENSIBILIDAD

La sensibilidad es la característica metrológica que tiene un instrumento de medición, de percibir las más pequeñas variaciones de la magnitud de medición y es expresada por la relación entre el desplazamiento del índice y la variación de la magnitud correspondiente.

Los instrumentos para pesar, la sensibilidad representa la cantidad (en ángulos o divisiones) que tiene que desplazarse la posición de equilibrio mostrada por el indicador, cuando se agrega una pequeña sobrecarga en uno de los dispositivos receptores de carga.

En las balanzas simples, la sensibilidad puede ser expresada por la relación:

$$S = \frac{nd}{p} \quad (15)$$

donde:

S = sensibilidad.

n = número de divisiones por las que se desplaza la aguja indicadora.

d = espaciado de la escala.

p = sobrecarga agregada en uno de los platillos.

Resulta que la sensibilidad de una balanza es mayor cuando el desplazamiento del indicador es más notable y cuando la sobrecarga es menor.

Para establecer los parámetros del cual depende la sensibilidad de los instrumentos para pesar, se considera el caso general de la palanca OAB, de una balanza simple (fig. No. 12),

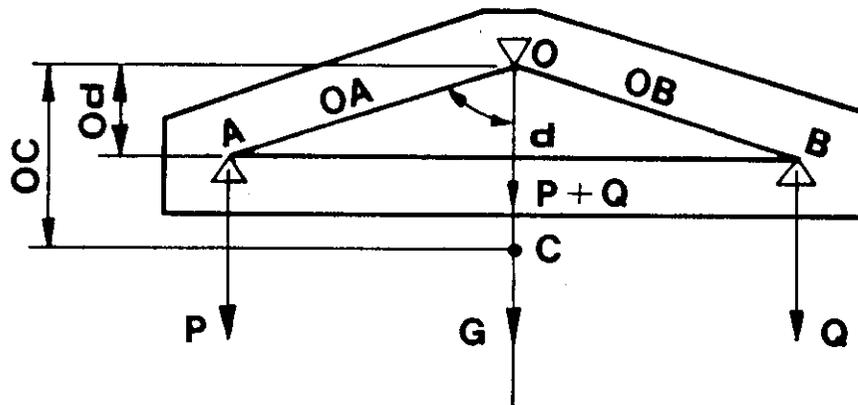


Fig. No. 12 Astil de una balanza simple sobre cuyos extremos actúan dos fuerzas de igual magnitud (P y Q).

donde:

- O = eje de oscilación de la palanca, representada por la arista del cuchillo central;
- C = centro de gravedad de la palanca situado en la vertical que pasa por O.
- A y B = aristas de los cuchillos marginales en los que están apoyados los platillos, cargados cada uno con masas iguales.
- Q y P = carga de cada uno de los cuchillos.
- G = peso de la palanca.
- Od = distancia entre las aristas de cuchillo central O y la línea que une las aristas de los cuchillos marginales A y B.
- OA = OB = l = longitud del brazo de la palanca.
- OC = distancia entre O y el centro de gravedad C.
- θ = ángulo entre la vertical y cada uno de los brazos.

Si se agrega una pequeña sobrecarga (r) en el platillo de la izquierda, la palanca se inclina en esta parte y después de un número de oscilaciones, toma la posición de equilibrio A₁O₁B₁ (fig. No. 13).

La condición de equilibrio en la nueva posición será:

$$r \cdot A_1 O_1 - G \cdot CC_1 - (P + Q)dd_1 = 0 \quad (16)$$

Determinense los valores de los brazos de fuerzas (A₁O₁ - CC₁ y dd₁) según los triángulos rectángulos A₁O₁d₁ - dOd y COC₁ como:

$$OC_1 = OC$$

$$Od_1 = Od$$

$$OA_1 = l$$

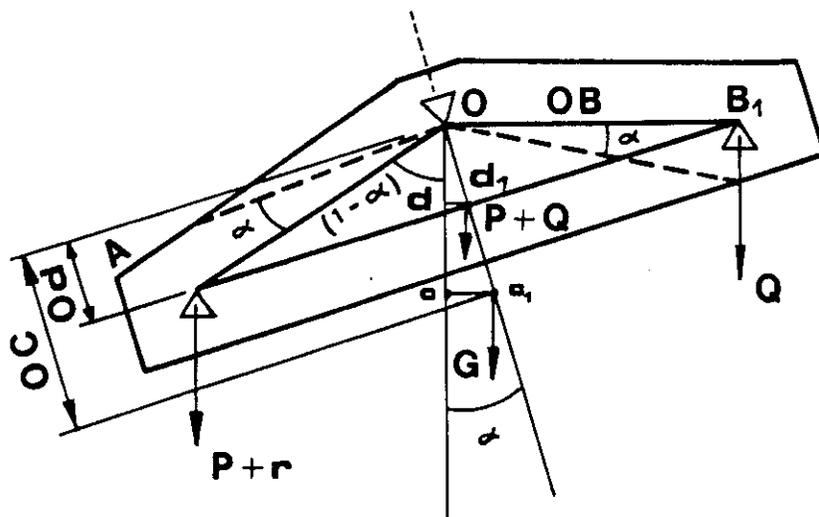


Fig. No. 13 Nueva posición de equilibrio al agregar una sobre carga al platillo izquierdo.

entonces:

$$CC_1 = OC \operatorname{sen} \alpha$$

$$dd_1 = Od \operatorname{sen} \alpha$$

$$A_1d_1 = OA \operatorname{sen} (\theta - \alpha) = l \operatorname{sen} (\theta - \alpha)$$

sustituyendo en (16) por valores CC - dd y A d se tendrá:

$$r \cdot l \operatorname{sen} (\theta - \alpha) - G \cdot OC \operatorname{sen} \alpha - (B + Q)Od \operatorname{sen} \alpha = 0$$

Resolviendo el paréntesis en la expresión

$$r \cdot l \operatorname{sen} (\theta - \alpha) \text{ y considerando que } (P + Q) = 2P$$

se tendrá:

$$\begin{aligned} r \cdot l \cdot \operatorname{sen} \theta \cdot \operatorname{sen} \alpha - r \cdot l \cdot \cos \theta \cdot \operatorname{sen} \alpha &= G \cdot OC \operatorname{sen} \alpha \\ - 2P \cdot Od \operatorname{sen} \alpha &= 0 \end{aligned}$$

Sustituyendo en la expresión $(l \cdot \cos \theta)$ por su equivalente Od y dividiendo entre $\cos \theta$ la ecuación, se obtendrá:

$$r \cdot l \cdot \operatorname{sen} \theta = r \cdot Od \operatorname{tana} - G \cdot OC \operatorname{tana} - 2POd \operatorname{tana} = 0$$

donde:

$$r \cdot l \cdot \text{sen} \theta = (r \cdot Od + G \cdot OC + 2P \cdot Od) \text{tana}$$

$$\text{tana} = \frac{r \cdot l \cdot \text{sen} \theta}{r \cdot Od + G \cdot OC + 2P \cdot Od}$$

Despréciase (r) en el denominador de la ecuación por su valor insignificante respecto a 2P.

Se obtiene la expresión:

$$\text{tana} = \frac{r \cdot l \cdot \text{sen} \theta}{G \cdot OC + 2P \cdot Od} \quad (17)$$

El ángulo θ siendo muy cercano a 90° , se puede considerar $\text{sen} \theta = 1$; en este caso (17) es:

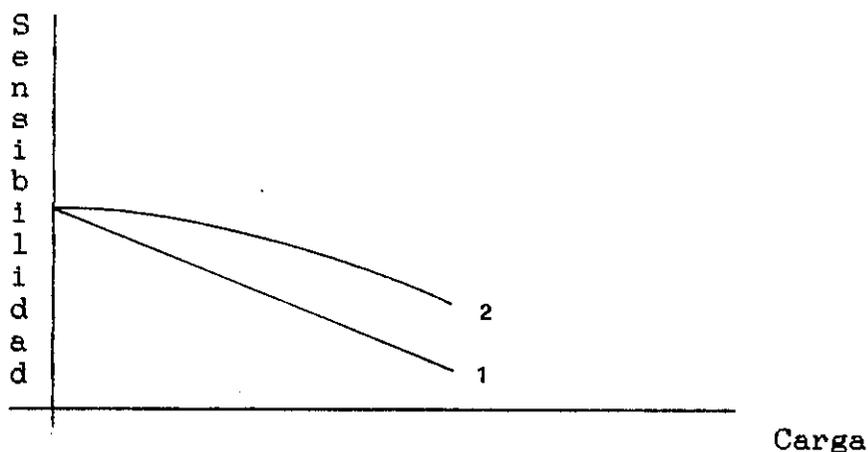
$$\text{tana} = \frac{r \cdot l}{2P \cdot Od + G \cdot OC} \quad (18)$$

La densidad de la balanza aumenta en la misma medida en que el ángulo α sea mayor y la sobrecarga r, menor. Ello se puede expresar por la relación:

$$S = \frac{\text{tg} \alpha}{r}$$

introduciendo el valor $\text{tg} \alpha$ en (18), se obtiene la fórmula

$$S = \frac{1}{2P * Od + G * OC} \quad (19)$$



Gráfica No. 13 que muestra la variación de la sensibilidad al incrementar la carga: Curva 1, la arista del cuchillo central por encima de las aristas de los cuchillos laterales; Curva 2, la arista del cuchillo central por debajo del plano que pasa por las aristas de los cuchillos laterales.

4.1.2.2. EFECTOS DE LA TEMPERATURA Y CORRECCIONES

Cuando la temperatura varía a los alrededores afecta, considerablemente, en los cálculos de las mediciones. Estas variaciones están dadas por el coeficiente de sensibilidad de temperatura.

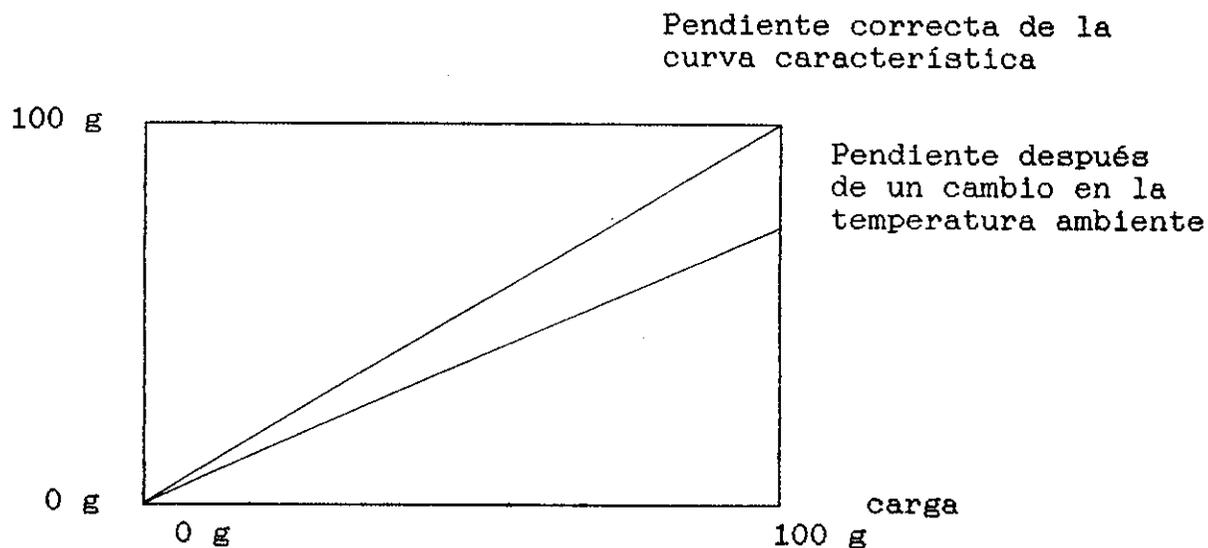


Fig. 14 que presenta el efecto de la variación de temperatura en el resultado de la medición.

El coeficiente de temperatura puede ser calculado por la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{E}{T} = \frac{(R/m)}{T} = \frac{R}{m * T} \quad (20)$$

donde:

E = Cambio de la sensibilidad
T = Cambio de la temperatura
R = Cambio en la lectura
m = Cambio de la carga

4.1.2.3. EQUIPO DE CLIMATIZACION

En los laboratorios de metrología es necesario contar con temperatura estable y controlada para la verificación de masas, se debe tener una temperatura ambiente de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Como también el controlar la humedad relativa la cual debe estar, aproximadamente, a $45\% \pm 5\%$, ahora bien, para mantener estas condiciones es necesario tener un equipo de aire acondicionado con el cual es posible controlar la temperatura y la humedad relativa requerida para el laboratorio, el equipo de acondicionamiento para estas condiciones consiste en:

- 1.- manejadores de aire (encargado de la circulación del aire en el laboratorio)
- 2.- resistencias eléctricas (usadas sólo en caso que se necesite subir la temperatura del aire)
- 3.- las rejillas por donde entra y sale el aire, deben ser diseñadas, de tal manera, que el aire entre y salga del laboratorio en forma de corriente de aire que no afecte a la medición o, sea, circulación de aire con velocidad moderada.

4.1.2.4. EFECTOS DE LA PRESION BAROMETRICA Y CORRECCIONES

La presión barométrica afecta directamente a la densidad del aire, es decir, cualquier cambio en la presión hace cambiar la densidad del aire, por lo que hay que utilizar la ecuación que se presenta a continuación para la respectiva corrección:

$$D_{\text{aire}} = [0.34844P - 0(0.252t - 20582)] / (273.15 + t) \quad (14)$$

donde:

P = presión barométrica

O = Humedad relativa

t = temperatura en °C

4.1.2.5. LECTURA DE LA PRESION BAROMETRICA EN EL LABORATORIO

Existen diferentes tipos de barómetros, entre los cuales se encuentran los de columna de mercurio, estos tienen una mirilla, con un nonio, con el cual se puede llegar hasta centésimas de pascal.

También están los barómetros de tipo indicador de aguja, donde el mecanismo consiste en un tubo de bourdon, estos tipos de manómetros cuentan con dos agujas, una es la indicadora y la otra sirve como referencia para la observación de cualquier variación en la presión.

En los laboratorios es necesario controlar con exactitud la presión para las posibles correcciones, por ejemplo: si la presión está comprendida entre $940 \leq P \leq 1,080$ hpa (hecto pascales) la incertidumbre en la densidad del aire llega a ser, aproximadamente, 0.0005 kg/m^3 .

4.2. METODOS DE PESAR

Cuando se persigue la ejecución de una medición de masa de gran precisión debe utilizarse un método que elimine la influencia de la desigualdad de los brazos de palanca, porque semejante medición en una balanza no puede ser considerada nunca justa.

Con este objetivo se utilizan métodos de doble pesada, llamados así porque en cada una de ellas se ejecutan dos mediciones simples.

Los métodos de doble pesada son tres: Método de Gauss, Método de Borda y de Mendeleev.

Se menciona que para la simplificación de la demostración se considerará que en cada una de las tres pesadas se obtiene la posición normal de equilibrio, mientras que cuando se trabaja se obtienen posiciones de equilibrio cercanas a la normal.

Se plantea la necesidad de hacer especial referencia a los métodos que son empleados en la verificación de las medidas de masa, los cuales se establecen en dependencia de las desviaciones permisibles del valor nominal de las medidas en masa, que son:

- 1- para la verificación de las medidas de masa de 1era. categoría y 1era. clase, las cuales son verificadas en balanzas de 1era. categoría de elevada precisión con ayuda de un estuche de masas patrones de trabajo con valores desde 1 mg hasta 500 g, el Método de "calibración" de la doble pesada;
- 2- para la verificación de medidas de masa de inferiores categorías y clases se empleará uno de los métodos de pesada de precisión que a continuación se presentan.

4.2.1. PESADO DIRECTO

Para la verificación de las masas por el Método de Pesado Directo es muy sencillo de realizarlo, no se necesita de mayor conocimiento, debido a que el resultado que se desea obtener se encuentra directamente de la balanza, (en su escala indicadora, de aguja o electrónica) pero que sí se deben considerar las condiciones del ambiente en el laboratorio (mencionados anteriormente) así, pues, como éste es un método sencillo, por lo mismo, el resultado no es muy preciso, comparado con los otros métodos que se mencionarán en seguida.

A continuación se presentan las instrucciones generales para la aplicación del método de la pesada directa y la hoja de protocolo donde se anotan los resultados que se obtienen en la verificación o calibración.

INSTRUCCIONES PARA LA VERIFICACION DE MASAS DE TRABAJO

Se Presentan 11 importantes puntos que se consideran en el proceso de calibración para el Método de pesado directo:

- 1.- anotar los datos de la(s) masa(s) a verificar en protocolo con los datos: cliente, marca, tipo, clase, valor nominal, número de serie, número de inventario, patrón, equipo utilizado;
- 2.- limpiar con alcohol y con una manta la(s) masa(s) luego, dejar que la(s) masa(s) se ambienten en el laboratorio por 24 horas;
- 3.- revisar, visualmente, la(s) masa(s), (detectar rayaduras, golpes, etc.) y anotar en protocolo;
- 4.- encender y preparar el equipo a utilizar para la pesada (balanza, ésta deberá estar conectada 24 horas antes);
- 5.- verificar la(s) masa(s) por pesada directa, utilizando el protocolo FO/GT/AAC/MO02. Con un mínimo de 10 pesadas;
- 6.- llenar el protocolo con sus cálculos;
- 7.- calcular la incertidumbre de las mediciones;
- 8.- comparar los errores encontrados con las especificaciones de la RI-111, RI-47, RI-2, RI-52, de la OIML;

HOAJA DE PROTOCOLO

FO/GT/AAC/M002
Laboratorio de metrología de masas

Cliente:
Marca:
Tipo:
Clase:
Valor nominal:
Número de serie:
Número de inventario:
Patrón:
Equipo utilizado:

Fecha:
T inicial: °C
T final: °C
HR inicial: %
HR final: %

Pesada

Valor
indicación
(g)

1	_____
2	_____
3	_____
4	_____
5	_____
6	_____
7	_____
8	_____
9	_____
10	_____
11	_____
12	_____
13	_____
14	_____
15	_____

\bar{X} = _____

S = _____

- 9.- elaborar certificados si procede;
- 10.- colocar marca de verificación en la caja del equipo y en el botón de ajuste si lo lleva;
- 11.- guardar los datos en registros internos.

4.2.1. METODO DE DOBLE PESADA O METODO DE GAUSS(*)

La esencia de este método radica en que, la medida de masa a verificar se equilibra dos veces con la medida de masa patrón; en la primera de las veces la medida de masa a verificar se coloca en uno de los platillos de la balanza y en la segunda en el otro platillo. En vista de que el error por la desigualdad de los brazos en un caso poseerá un signo dado y en otro un signo contrario al primero, se tendrá que en el resultado de la pesada no habrá influencia de este error. La ventaja de este método respecto al del pesado directo se basa en que la construcción de balanzas con astiles de brazos, perfectamente iguales, en la práctica resulta una tarea irrealizable.

La verificación de las medidas de masa por el método de doble pesada o método de Gauss se efectúa de la siguiente forma:

- a- la medida de masa a verificar "A" se coloca en el platillo derecho de la balanza y en el izquierdo, la medida de masa patrón "B" con ayuda de la cual se efectúa la verificación. Si una vez liberada la balanza, la aguja indicadora de esta va más allá del límite de la escala, en el platillo correspondiente, se añadirá una medida de masa patrón a (o medidas de masa patrones) que sea capaz de hacer que las elongaciones de la aguja indicadora no vaya más allá de los límites de la escala y que esta recorra, aproximadamente, el mismo número de divisiones

(*)En determinaciones muy precisas, el valor de la densidad del aire se obtiene de tablas, especialmente confeccionadas, que dan valores establecidos en relación con la presión barométrica, humedad y temperatura del medio (*)Karl Friedrich Gauss (1,777-1,855). Gran matemático, físico y astrónomo alemán. Influyó determinadamente en el álgebra, el análisis matemático, la teoría de las funciones elípticas y en la geometría. En el dominio de la física hizo diversos estudios y contribuyó a la teoría del electromagnetismo. En astronomía encontró métodos nuevos para el cálculo de las vías planetarias.

hacia uno y otro lado respecto del trazo medio de la escala. Una vez logrado lo antes enunciado se efectuarán lecturas sucesivas de las posiciones extremas que alcancen las elongaciones de la aguja indicadora respecto de los trazos de la escala. En el caso que se verifiquen medidas de masas de 1era. o 2da. categoría o de 1era. o 2da. clase, se efectuarán cuatro lecturas: L1, L2, L3 y L4. Si las medidas de masa que se verifican son de 3era. categoría ó 3era. clase en este caso sólo se efectuarán tres lecturas L1, L2 y L3;

- b- después de realizadas las operaciones antes descritas, las medidas de masa que se comparan, conjuntamente con la medida de masa patrón añadida, se transponen, es decir, la medida de masa "A" se coloca en el platillo izquierdo y la "B" en el derecho. Si después de transponer las medidas de masa la aguja indicadora de la balanza va más allá de los límites de la escala, en este caso en el platillo correspondiente se añadirá una medida de masa patrón "k" (o medidas de masa patrones) que sea capaz de lograr, aproximadamente, la posición de equilibrio que poseía anteriormente el astil. Una vez lograda la posición de equilibrio, se procederá a efectuar las lecturas sucesivas anteriormente señaladas, el número de las cuales dependerá de la medida de masa que se verifica, según como fue referido. Sobre la base de las efectuadas se determinan las posiciones de equilibrio del astil mediante las fórmulas que siguen.

En los casos en que se efectúan cuatro lecturas:

$$L = \frac{L1 + 3L2 + 3L3 + L4}{8} \quad (21)$$

En los casos que se efectúan tres lecturas:

$$L = \frac{L1 + 2L2 + L3}{4} \quad (22)$$

- c- seguidamente se determina el valor de la división S de la escala, para lo cual se colocará en uno de los platillos de la balanza una medida de masa r capaz de provocar un desplazamiento de la aguja indicadora en un 20 a un 30 % de la longitud total de la escala. El valor de división de la escala será determinado en cada pesada. En las balanzas con escala será determinado solamente al inicio de la verificación.

OBSERVACIONES

Si la verificación de la medida de la masa se realiza en una balanza con amortiguadores, en este caso la posición de equilibrio del astil será determinada mediante la lectura directa de la escala, una vez que el astil deje de moverse. En la verificación de las medidas de masa de 2da. categoría o 2da. clase se efectuarán tres lecturas, es decir, la balanza se aislará y liberará tres veces. En lo referente a las medidas de masa de inferior categoría o clase, sólo se efectuarán dos lecturas. La posición de equilibrio del astil se calculará como la media aritmética de las lecturas tomadas:

$$L = \frac{L' + L'' + L'''}{3} \quad (23)$$

$$L = \frac{L' + L''}{2} \quad (24)$$

El valor de división de la escala en las balanzas con amortiguadores se determinará con ayuda de una medida de masa patrón "r" cuyo valor nominal sea igual al límite máximo de indicación de la escala o, en todo caso, no menor que la mitad de este valor límite.

- Los datos obtenidos en la verificación, anotados en el registro de verificación, según como se señala en el formato 1.

Respecto de la verificación de las medidas de masa de 1era. y 2da. categoría, así como de medidas de masa de trabajo de 1era. clase y jinetillo de 2da. clase, la comparación se realizará dos veces. En este caso los datos obtenidos en la verificación serán anotados en el registro de verificación según como se señala en el formato 2.

- Después de llenar el registro de verificación se procede a la determinación de la masa de la medida de masa verificada, según las fórmulas.

- Para las medidas de masa patrones 1era. categoría y 1era. clase;

$$A = B + 1/8 (L_{EA}' + 3L_{EA}'' \cdot S_p + a + (k/2); - 3L_{EA}' - L_{EA}'') \quad (25)$$

- Para todas las demás medidas de masa patrones o de trabajo (2da. y 3era. categorías o 2da. y 3era. clases)

$$A = B + a + (k/2) + (1/2)(L_{BA} - L_{AB}) S_p \quad (26)$$

FORMATO 1.

Platillo de la Balanza		Lecturas	Posición de equilibrio	adición en el platillo
Izquierdo	Derecho	L L L L	L	Izquierdo derecho
B	A		L _{BA}	
A	B		L _{AB}	
A	B + r		L _r	

FORMATO 2.

Platillo de la Balanza		Lecturas	Posición de equilibrio	adición en el platillo
Izquierdo	Derecho	L L L	L	Izquierdo Derecho
B	A		L'BA	
A	B		L'AB	
B	A		L''BA	
A	B		L''AB	
A	B + r		L _r	

donde:

L_{BA} y L_{AB} = medida aritmética de las lecturas L_{BA}' ; L_{BA}'' y L_{AB}' , L_{AB}'' respectivamente;

S = valor de división de la escala, calculado como

$$S_p = \frac{r}{L_r - L_{AB}''} \quad ; \text{ en este caso en la diferencia } (L_r - L_{AB}'')$$

(Lr - LAB'') no será tomado en cuenta el signo que resulte.

OBSERVACIONES

- 1- Antes de los valores a y $(k/2)$ se tomará el signo (+) si la medida de masa en cuestión es añadida a la medida de masa B (medida de masa patrón) y el signo (-) si las medidas de masa a o k , respectivamente, son añadidas a la medida de masa A (medida de masa que se verifica).
- 2- Antes del paréntesis $1/2 (L_{BA} - L_{AB})$ se tomará el signo (+), si el trazo cero de la escala está dispuesto en el extremo derecho de esta y el signo (-) si el trazo cero de la escala está dispuesto en la mitad o extremo izquierdo de ésta; en este caso las lecturas tomadas a la derecha del cero estarán precedidas del signo (+) y las lecturas tomadas a la izquierda, del signo (-).

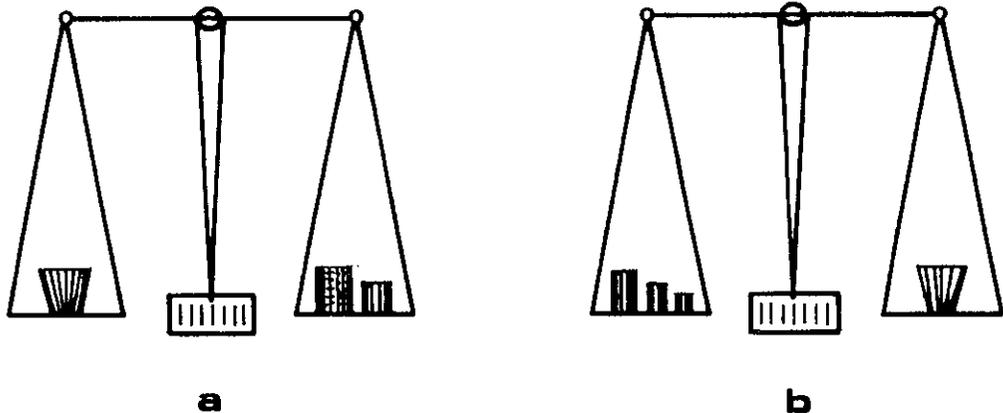


Fig. No. 15 que representa la gráfica del Método de transposición o Método de Gauss: a) el cuerpo en el platillo izquierdo y medidas de masa en el derecho; b) el cuerpo en el derecho y las medidas de masa en el izquierdo.

4.2.2. METODO DE PESADA POR TRANSPOSICION O POR EL METODO DE BORDA(**)

La verificación de las medidas de masa por el método de pesada en un brazo se efectúa de la siguiente manera:

- a- la medida de masa patrón B, con ayuda de la cual se verifica la medida de masa en cuestión, se coloca en el platillo derecho de la balanza y se equilibra con una tara T, luego de lo cual se efectuarán cuatro lecturas sucesivas (L1, L2, L3, L4) correspondientes a las posiciones extremas de las elongaciones de la aguja respecto de la escala. En el caso de que se verifiquen medidas de masa de 3era. categoría o 3era. clase se permiten tomar sólo tres lecturas: L1, L2 y L3;
- b- la medida de masa patrón se retira del platillo y en su lugar se coloca la medida de masa a verificar A. Si en este caso la aguja indicadora fuera más allá de los límites de la escala, se añadirá en el platillo correspondiente una medida de masa patrón capaz de hacer que las elongaciones de la aguja no vayan más allá de los límites de la escala y que la posición de equilibrio del astil sea, aproximadamente, la que poseía el astil cuando estaba colocada la medida B. Después de esto se efectúan las lecturas correspondientes;
- c- la determinación del valor de división de la escala de la balanza se efectuará de la misma manera que en el método de doble pesada;
- d- en la determinación de las posiciones de equilibrio del astil de la balanza se procederá análogamente como se describiera en el método de doble pesada. En este método como en el método de doble pesada las ecuaciones serán empleadas en dependencia de la categoría o clase de la medida de masa que se verifica;
- e- los datos obtenidos en la verificación serán anotados en el registro de verificación. En el formato 3 se señala la forma en que deben ser presentados los datos que se obtienen en la verificación de las medidas de masa de 1era. y 2da. categorías, 1era. clase o jinetillos de 2da. clase:

(**)Jean Charles Borda (1733-1799). Matemático y físico francés. Fue de los participantes activos en la medición del arco del meridiano de la tierra con vistas al establecimiento del sistema métrico.

FORMATO 3.

Platillo de la Balanza		Lecturas	Posición de equilibrio	adición en el platillo
Izquierdo	Derecho	L L L L	L	Izquierdo Derecho
T	B		L`B	
T	A		L`A	
T	B		L" B	
T	A		L" A	
T	A + r		Lr	

OBSERVACIONES

En la verificación de medidas de masa de menor categoría o clase es suficiente con una sola situación de la medida de masa patrón por la medida de masa que se verifica. En este caso las líneas 3era. y 4ta. de la tabla referida anteriormente se excluirán.

Sobre la base de los datos obtenidos se calculan, respectivamente, el valor de división de la escala y la masa de la medida de masa verificada, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$Sp = \frac{r}{(L - L'')} \quad (27)$$

o

$$Sp = \frac{r}{(L - L)} \quad (28)$$

y

$$A = B + a + (1/2) ((L' - L') + (L'' - L'')) \cdot Sp \quad (29)$$

$$A = B + a + (L - L) \cdot Sp \quad (30)$$

Las primeras de las expresiones, tanto respecto de la determinación del valor de división de la escala como a la masa de las medidas de masa verificadas, son aplicables en la verificación de medidas de masa de 1era categoría o de 1era clase.

Las segundas expresiones son aplicables en la verificación de medidas de masa de menores categorías o clases a las antes señaladas.

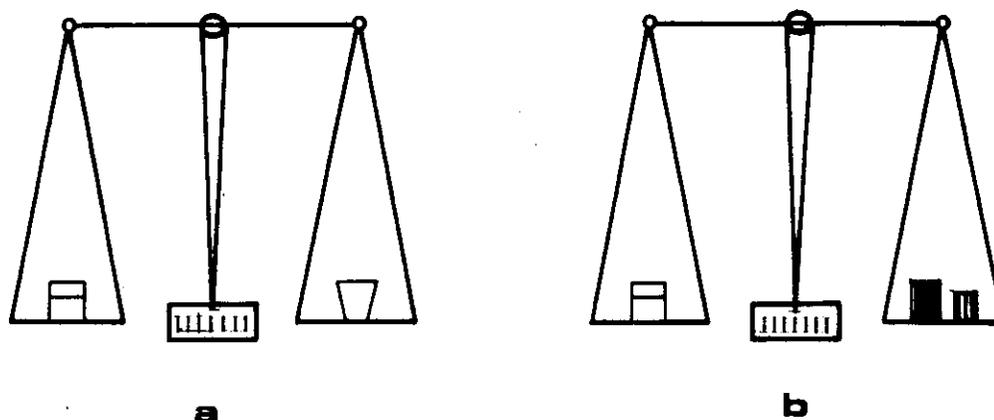


Fig. No. 16 que representa el método de la Tara o método de Borda: a) el cuerpo en el platillo derecho equilibrado con tara, b) se deja la tara en el izquierdo y se equilibra con medidas de masa.

OBSERVACIONES

En la determinación del valor de división las diferencias ($L_r - L_A$) y ($L_r - L_A$) no debe ser tomado en consideración el signo que resulte.

El valor "a" será precedido de signo (+) si la medida de masa "a" es añadida a la tara T; y, de signo (-) si esta medida es añadida a la medida de masa A que se verifica.

Si el trazo cero de la escala está dispuesto en el extremo derecho de ésta, el paréntesis ($L_A - L_B$) estará precedido de signo (+); si el trazo cero de la escala está dispuesto en extremo izquierdo de la escala, delante del paréntesis ($L_A - L_B$) se colocará el signo (-). En los casos en que el trazo cero de la escala esté dispuesto en la mitad de la escala, delante del paréntesis ($L_A - L_B$) se colocará el signo (+). En estos casos las lecturas tomadas a la derecha del cero serán precedidas del signo (+) y las tomadas a la izquierda, del signo (-).

4.2.3. METODO DE PESADA DE MENDELEEV

El sabio ruso D. I. Mendeleev imaginó un método de doble medición manteniendo la carga constante, en que la sensibilidad de la balanza es también constante.

El método de pesada de Mendeleev presenta, en comparación con los métodos antes mencionados, un mayor perfeccionamiento. La esencia de este método radica en que la carga en la balanza, durante toda la verificación, se mantiene constante, de aquí que la sensibilidad de la balanza se mantenga también constante, lo que posibilita que el valor de división de la escala sea necesario determinarlo sólo una vez, no después de cada comparación como se requería en los métodos de verificación antes mencionados.

La verificación de las medidas de masa por el método de pesada de Mendeleev se efectúa de acuerdo con el mismo esquema utilizado en el método de pesada en un brazo, con la sola diferencia de que en el platillo derecho en lugar de situar una sola medida de masa patrón, se coloca un conjunto de medidas de masa, patrones, cuya masa general es igual a la carga máxima permisible de la balanza. Este conjunto de medidas de masa es equilibrado con una tara. El proceso de verificación en este caso consistirá en ir sustituyendo cada medida de masa que se quiere verificar por una medida de masa patrón de igual valor nominal.

Los datos obtenidos en la verificación se anotan en el registro de verificación de acuerdo con el formato 4.

FORMATO 4.

Platillo de la Balanza		Lecturas	Posición de equilibrio	adición en el platillo	
Izquierdo	Derecho	L L L	L	Izquierdo	Derecho
T	ΣB		L		
T	$\Sigma B - B + A$		L		
T	$\Sigma B - B + A$		L		
T	$\Sigma B - B_n + A_n$		L		
T	$\Sigma B - B_n + A_n + r$		L		

La masa de la medida de masa verificada se determinará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$A = B + a + (L_A - L_B) \cdot Sp \quad (31)$$

donde:

L_A = posición de equilibrio del astil en verificación de la medida de masa n;

L_B = posición de equilibrio del astil cuando en el platillo se encuentra el conjunto de medidas de masa patrones.

Si el trazo cero de la escala se encuentra dispuesto en el extremo derecho de ésta y la medida de masa que se verifica se coloca en el platillo derecho, delante del paréntesis ($L_A - L_B$) se consignará el signo (+). De igual forma se procederá si el trazo cero de la escala se encuentra dispuesto en el extremo izquierdo de esta y la medida de masa que se verifica se encuentren dispuestos y colocados, respectivamente, en extremos opuestos delante del paréntesis ($L_A - L_B$) se colocará el signo (-). Si el trazo cero de la escala estuviere dispuesto en el medio de ésta y la medida de masa que se quiere verificar colocada en el platillo derecho, delante del paréntesis se pondrá el signo (+); si la medida de masa a verificar se encontrara en el platillo izquierdo, delante del paréntesis se colocará el signo (-). Las lecturas tomadas a la derecha del trazo cero serán precedidas por el signo (+) y las tomadas a la izquierda de éste, por el signo (-).

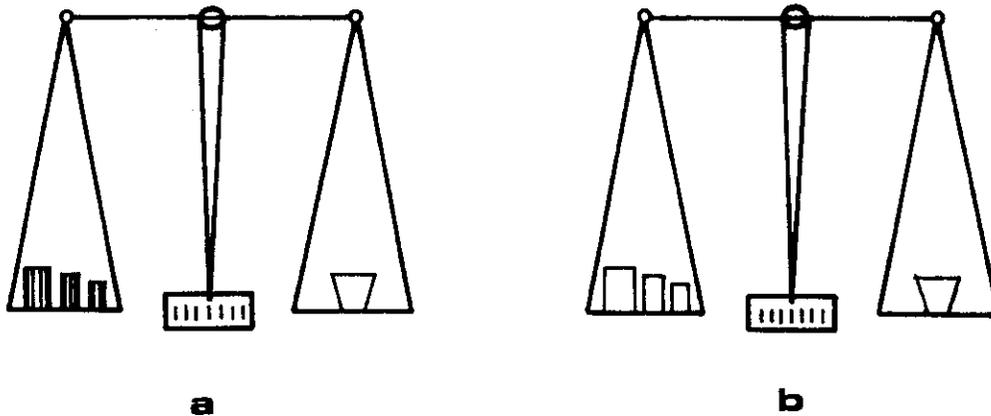


Fig. 17 que representa el método de Mendeleev: a) en el platillo derecho un juego de medidas de masa y en el izquierdo tara hasta equilibrar, b) se pone el cuerpo a medir y retirarse las medidas de masa.

4.3. CERTIFICACION DEL JUEGO DE MASAS

Esta certificación, básicamente, ampara o respalda la verificación o calibración que se le halla dado al juego de masas, ya sea por primera u otra vez, del cual la certificación es extendida exclusivamente en los laboratorios Regionales de Metrología legal, de las instituciones como ICAITI (Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial) y COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas) con el fin de mejorar la calidad de sus productos en cuanto a la Medida en las industrias, fábricas, etc. y cumplir con los reglamentos que ampara la ley en cuanto a cabalidad o exactitud.

Para que una empresa pueda obtener un certificado de esta naturaleza debe presentar su juego de masas de trabajo o verificación a la institución escogida o encargada para realizarle el análisis necesario que se crea conveniente en el laboratorio especial y equipado, para, luego, dar el resultado, otorgando la certificación respectiva que, generalmente, tiene validez para un año.

A continuación se presenta un modelo de certificación que fue otorgado por ICAITI para el juego de masas M1 que se fabricó para este trabajo como un experimento para el tema.



COSTA RICA
EL SALVADOR
GUATEMALA
HONDURAS
NICARAGUA

INSTITUTO CENTROAMERICANO DE
INVESTIGACION Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL
(ICAITI)

CENTRAL AMERICAN RESEARCH INSTITUTE FOR INDUSTRY
Avenida la Reforma 4-47, Zona 10 - 01010
GUATEMALA, C. A.

APARTADO POSTAL 1582 - 01901
CABLES: ICAITI
TELEX: 5312-ICAITI-GU
FAX (502) 2 -317470
TELEFONOS 310631 Y 340209

LABORATORIO REGIONAL DE METROLOGIA

**Certificado de Verificación de
Masas de Trabajo.**

Registro
MVN-008/94

El Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial -ICAITI- CERTIFICA: que a solicitud del señor Rafal Jo; Chiquitó, estudiante de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Ciudad; y en base al Documento Lineamientos para el Establecimiento de Regulaciones Metroológicas Simplificadas* de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), se verificó un marco de masas de trabajo cilíndricas, sin número de identificación, presentadas en un estuche de madera, con las siguientes características:

<u>MASA NOMINAL EN g</u>	<u>CORRECCION EN mg</u>
100 *	+1.33
100	+1.58
200 *	+6.78
200	+7.93
500	+20.6

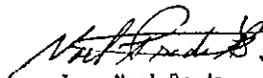
* Los valores en asterisco corresponden a las masas marcadas con un punto sobre una de sus caras para ese valor nominal.

Habiéndose realizado la verificación con una incertidumbre de ± 0.01 mg, a una Temperatura de 20°C y a una Humedad Relativa promedio de 70%, el resultado es:

LAS MASAS CUMPLEN CON LOS VALORES LIMITES DE ERROR PERMISIBLE
PARA MASAS CLASE M1 SEGUN LA OIML.

El presente certificado es válido por un periodo de un año a partir de la fecha de emisión, siempre que se conserve sin alteraciones y con firma y sello original.

Guatemala, 25 de agosto de 1994.



Ing. Noel Prado
Laboratorio Regional de Metrología
-ICAITI-



4.3.1. CALCULOS ESTADISTICOS

INCERTIDUMBRE DE MEDICION

Parámetro asociado en el resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente atribuirse al mensurando.

NOTAS

- 1.- Este parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar (o un múltiplo de ella) o la mitad de un intervalo que tiene un nivel de confianza dado.
- 2.- La incertidumbre de medición comprende, en general, muchos componentes, algunos de los cuales pueden evaluarse de la distribución estadística de resultados de una o más series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones estándar experimentales. Algunos otros componentes, que también pueden caracterizarse a través de desviaciones estándar, se evalúan a partir de distribuciones de probabilidad supuestas, basadas en la experiencia u otra información.
- 3.- Se entiende que el resultado de la medición es la mejor estimación del valor del mensurando y que todos los componentes de la incertidumbre, incluyendo aquellos que surgen de efectos sistemáticos tales como componentes asociados con correcciones y patrones de referencia, contribuyen a la dispersión.

ANTECEDENTES PARA DETERMINAR INCERTIDUMBRES

Para el cálculo de incertidumbres en base a esta guía, a continuación se exponen los diversos aspectos a considerar:

DEFINICION DEL MENSURANDO

Como primer paso para calcular incertidumbre en un proceso de medición, se tiene que especificar, con claridad, el mensurando, en donde se incluyan todos los factores de los que depende.

Es recomendable especificar el mensurando en palabras antes de establecer el modelo matemático que lo describe, esto, con el fin de ayudar a identificar los diferentes parámetros y/o magnitudes que están involucradas en el proceso de medición. Se debe tener cuidado de especificar correctamente el mensurando, porque de no ser así se pueden cometer errores que conducirían a cálculos de incertidumbre equivocados.

MODELO MATEMATICO QUE REPRESENTA EL PROCESO DE MEDICION

Se debe expresar mediante un modelo matemático la relación entre el mensurando y las variables de que depende, esto implica elaborar una lista exhaustiva de los factores que se considere influyen en la medición final y establecer la relación que guardan con respecto del mensurando.

Una ecuación de medición no, necesariamente, tiene que ser compleja, si existen partes de ella que no se considera difícil expresar claramente, éstas pueden declararse como funciones desconocidas. Por ejemplo, si se mide la masa de una pesa con una balanza, un primer modelo simple del proceso de medición sería:

$$y = z \quad (a)$$

donde "y" representa la estimación del mensurando y "z" la lectura en la balanza. En realidad se presentan errores por defectos sistemáticos ya que el instrumento tiene asociada una incertidumbre en sus lecturas que fue especificada previamente por el fabricante, la ecuación anterior implícitamente incluye el error (o corrección para el error) en z. Así, en forma explícita, se puede expresar el modelo anterior de la forma:

$$y = z + E \quad (b)$$

en donde "z" es la medición de la balanza, es decir, una lectura "sin incertidumbre" y E es la corrección aditiva por el efecto sistemático debido a la incertidumbre especificada por el fabricante del equipo. Ahora, dado que no se dispone de información adicional acerca de E y, además, en el manual del instrumento se declara esta incertidumbre como un intervalo simétrico de valores máximos, entonces, un razonamiento lógico sería suponer una distribución probabilística uniforme con valor medio igual a "0". Para ciertas aplicaciones el modelo de la ecuación (a) es suficiente, para otras la ecuación (b) sería la forma adecuada de expresar el proceso de medición y, a partir de esto, calcular la incertidumbre.

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA DETERMINAR LAS INCERTIDUMBRES

- 1.- Definir el proceso de medición a través de un modelo matemático que exprese la relación entre el mensurando y las magnitudes de las que depende mediante la ecuación:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N); \text{ donde:} \quad (32)$$

y = la estimación en función de x_1
 x_1 = valores verdaderos de las magnitudes

- 2.- Identificar y aplicar todas las correcciones conocidas al modelo.
- 3.- Elaborar una lista de todas las posibles fuentes de incertidumbre asociadas:
 - a) a la toma de mediciones,
 - b) con los valores resultantes de mediciones y/o calibraciones anteriores,
 - c) con las correcciones,
 - d) con las condiciones ambientales.
- 4.- Calcular el mejor valor de mensurando en cuestión a partir de las mediciones efectuadas,
- 5.- Reportar el valor medio del mensurando como:

$$Y = q \pm U$$

q = a partir de n observaciones independientes, para la mejor estimación

U = la incertidumbre estimada de la media x_1

Y = la magnitud sujeta a medición en función de las x_1

4.3.2. DESVIACION ESTANDAR

INCERTIDUMBRE ESTANDAR

Es la incertidumbre del resultado de una medición expresada como una desviación estándar.

Es decir, cada magnitud medida tendrá una desviación estándar estimada que se utilizará para caracterizar la incertidumbre en la medición de esa magnitud.

CLASIFICACION DE COMPONENTES DE INCERTIDUMBRE ESTANDAR

La incertidumbre del resultado de una medición, por lo general, consiste en varios componentes, los cuales en esta guía se agrupan en dos categorías de acuerdo con el método utilizado para estimar sus valores numéricos:

- 1- TIPO A: aquellas cuya incertidumbre estándar se evalúa por medio de análisis estadístico de una serie de observaciones.
- 2- TIPO B: aquellas cuya incertidumbre estándar se evalúa por medios diferentes a un análisis estadístico de una serie de observaciones.

EVALUACION DE INCERTIDUMBRE TIPO A

Sea X_1 una magnitud medida, la cual se estima a partir de n observaciones independientes q_k . La mejor estimación x_1 de X_1 es la media aritmética de las n observaciones q_k , definida como:

$$q = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (33)$$

la varianza estimada de las n observaciones independientes q_k se define como:

$$S^2 (q_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - q)^2}{n - 1}} \quad (34)$$

y la desviación estándar estimada $S (q_k)$ para una cualesquiera de las " n " observaciones individuales es:

$$S(q_k) = \frac{\sum_{k=1}^n (q_k - q)^2}{n - 1} \quad (35)$$

entonces la incertidumbre de tipo A, que es la desviación estándar estimada de la media X_1 es igual a:

$$U_A = S (q) = \frac{S(q_k)}{\sqrt{n}} \quad (36)$$

Con frecuencia se piensa que la incertidumbre tipo A por haber sido determinada por métodos estadísticos, se conoce mejor que las tipo B, esto no es así, ya que cualquier incertidumbre basada sobre una muestra finita de " n " mediciones, tiene en sí misma una incertidumbre estadística implícita que, aún para $n = 10$ ésta llega a ser del 24 % para una distribución normal. Así que, se debe tener presente que las estimaciones tipo A pueden ser poco confiables si el número de mediciones es pequeño.

Para calcular la incertidumbre sobre la desviación estándar estimada se emplea la siguiente aproximación:

$$U_{s(qk)} = \frac{\sigma[S(qk)]}{\sigma(q)} \approx [2(n - 1)]^{-1/2} \approx (2v)^{-1/2} \quad (37)$$

en donde v son los grados de libertad.

En la tabla No. 10, se muestran las incertidumbres en la desviación estándar estimada en función del número de datos disponibles utilizando la ecuación anterior.

Tabla No. 10.

Número de Observaciones	$U_{s(qk)}[\%]$
2	71
3	50
4	41
5	35
10	24
20	16
30	13
50	10

En caso de que se disponga de menos de 10 mediciones y si además no se cuenta con alguna estimación basada en la experiencia o datos previos, entonces, el resultado de la ecuación de la desviación estándar $S(qk)$ debe multiplicarse por el factor "t" de la tabla No. 11 los cuales están basados en la distribución "t" de Student y aplican para un factor de cobertura $k = 2$.

Tabla NO. 11.

Número de Observaciones	t
2	7.0
3	2.3
4	1.7
5	1.4
6	1.3
7	1.3
8	1.2
9	1.2

Obteniendo finalmente la incertidumbre tipo A como:

$$U_A = \frac{S(q_k)}{\sqrt{n}} * t \quad (38)$$

si $n \geq 10$ entonces $t \approx 1$.

EVALUACION DE INCERTIDUMBRES TIPO B

Una evaluación de incertidumbre estándar tipo B se basa en el conocimiento que tenga el motrólogo del proceso de medición y toda la información disponible sobre el mismo y los instrumentos empleados en él. Debe estimar la desviación estándar de la variable X_1 bajo evaluación, utilizando para ello toda la información de que disponga tal como:

- datos de medición previos,
- experiencia con el sistema de medición o conocimiento general del mismo,
- especificaciones del fabricante,
- datos disponibles de calibración y otros reportes,
- incertidumbres asignadas a datos de referencia tomados de manuales, entre otros.

Así, pues, muchas veces el trabajo consiste en convertir una incertidumbre expresada de diferentes maneras (múltiplos de desviaciones estándar, intervalos de confianza, límites de peor caso, etc.) en incertidumbre estándar, que corresponda a una desviación estándar de la variable bajo evaluación, entonces:

- si la incertidumbre está expresada como un múltiplo de la desviación estándar:

$$\text{Incertidumbre expresada} = U_E = h s \quad (39)$$

entonces, la incertidumbre estándar debe tomarse como la incertidumbre expresada dividida entre el factor h utilizado:

$$U_B = \frac{U_E}{h} \quad (40)$$

- si la incertidumbre se expresa con un cierto nivel de confianza, entonces, a menos que se especifique otra cosa, se supondrá una distribución normal de la variable bajo evaluación y la conversión será:

$$U_B = \frac{U_E}{k} \quad (41)$$

donde el valor del factor de cobertura k para diferentes niveles de confianza se da en la siguiente tabla No. 12.

Tabla No. 12.

Nivel de Confianza	Factor k
50 %	0.67
68.3 %	1.0
90 %	1.64
95 %	1.96
95.45 %	2.0
99 %	2.58
99.73 %	3.0

Algunas veces se especifica que la variable bajo evaluación se encuentra dentro de un intervalo de valores máximos (a_+ , a_-). En tales casos se supone una distribución rectangular, es decir, una distribución en que la probabilidad de que se encuentre el valor verdadero de la magnitud es la misma en todo el intervalo considerado cuyo valor medio es:

$$x_1 = \frac{a_+ + a_-}{2} \quad (42)$$

y su incertidumbre estándar es:

$$U_B = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (43)$$

cuando la distribución no es simétrica, es decir $|a_-| \neq |a_+|$, entonces la incertidumbre se calcula como:

$$U_B = \frac{(a_+ - a_-)^2}{12} \quad (44)$$

Si se tuvieran datos de que los valores de la magnitud en cuestión alrededor del valor medio son más probables que los

valores que se encuentran cerca de los límites que acotan el intervalo especificado, entonces, la suposición de una distribución triangular puede considerarse una mejor elección y para determinar su incertidumbre estándar se emplea la fórmula:

$$U_B = \frac{a}{\sqrt{6}} \quad (45)$$

donde "a" es el subintervalo en donde la variable bajo evaluación se encuentra.

Debido a que la confiabilidad en la evaluación de cada componente o variable involucrada en el modelo depende de la "calidad" de la información disponible, se recomienda hasta donde sea posible, se evalúen, experimentalmente, todos los parámetros de los que depende el mensurando, para que las estimaciones con ellos realizadas se basen en datos observados y no sólo en reportes o afirmaciones sin antecedentes.

CONCLUSIONES

- 1.- Uno de los principales resultados obtenidos durante el proceso de trabajo y fabricación para el juego de masas M1, es que cualquier taller de metalmecánica con torno o fresadora, está en la posibilidad de lograr esta exactitud de masas para uso en la industria, al seguir los pasos y las especificaciones aquí descritas.
- 2.- La adquisición del acero para fabricar las masas M1 es fácilmente, en venta de metales o aún de ejes de maquinaria, siempre que se verifique que su densidad es próxima a $8,000 \text{ kg/m}^3$ para la mejor aplicación y que, además, el metal sea no magnético.
- 3.- En Guatemala no es de uso común la Recomendación Internacional 111 de la OIML, pero, sí existen empresas que utilizan juegos de masa y granatorios que corresponden a la clasificación de ésta.
- 4.- La fabricación de masas F2, y M1 incluyendo masas hasta de 50 kg es factible a un costo más bajo que las de importación, gracias a que existen talleres que se dedican a prestar éste servicio.
- 5.- Un juego de masas estará siempre referido a otro de mayor exactitud, el que, a su vez, se ha calibrado con patrones más altos en la jerarquía de masas, existiendo una cadena ininterrumpida hasta los patrones internacionales y al kilogramo en BIMP, Sevres, Francia.

RECOMENDACIONES

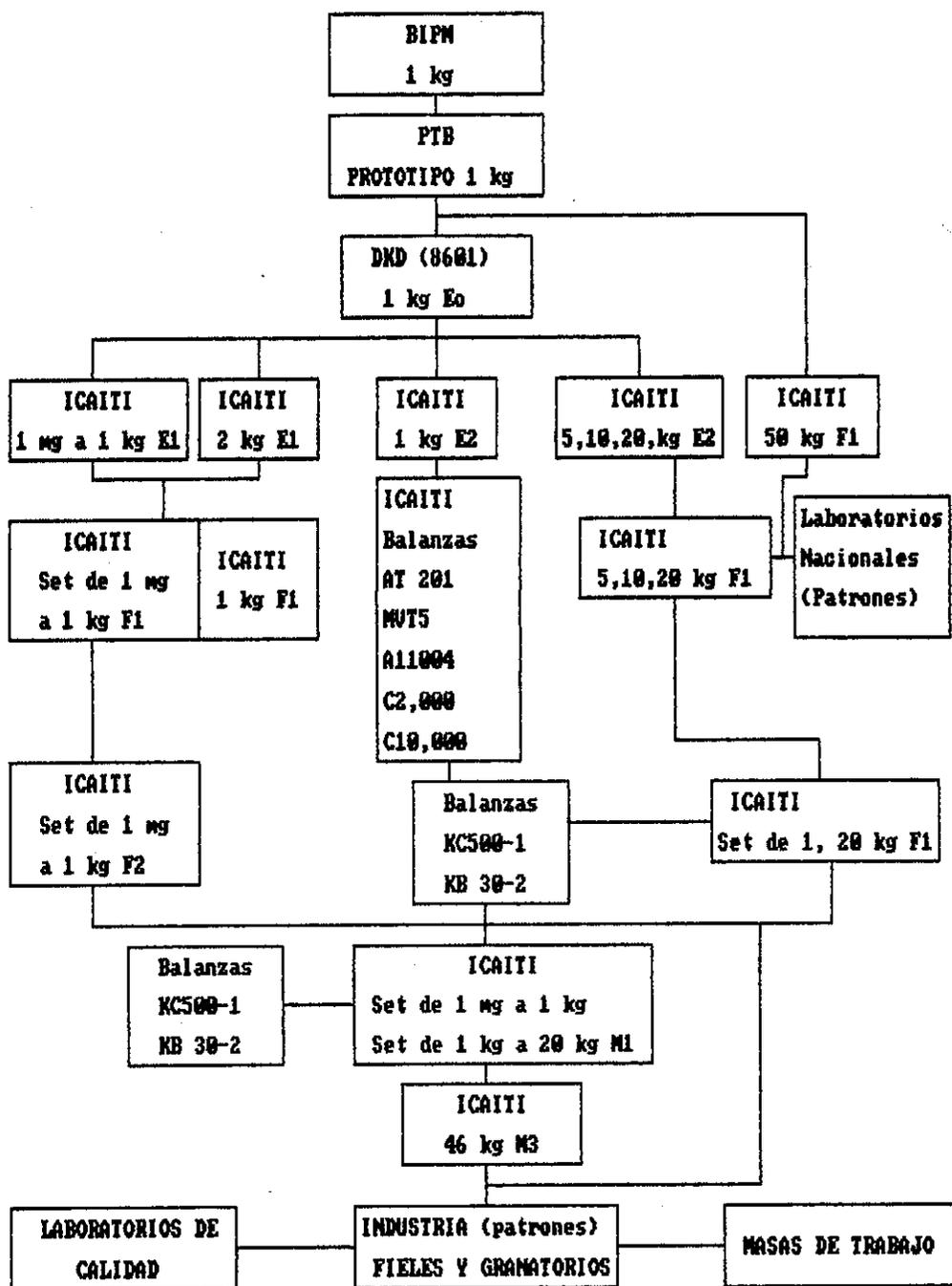
- 1.- Para la aplicación de este trabajo debe tomarse en cuenta el campo de aplicación de las masas, así como su "Trazabilidad" en el momento de certificar cualquier juego de fabricación nacional.
- 2.- Los certificados de masas a más bajo costo pueden obtenerse en las oficinas de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), clases de precisión M1, M2, y M3, que, a su vez, están referidos como oficina nacional. Para ello resulta más favorable que la industria acuda a estas oficinas, dependientes del Ministerio de Economía.
- 3.- Las ventajas de tener masas patrón y de trabajo en la industria se hacen a cada momento más evidentes, con la aplicación de sistemas de calidad, así, el presente trabajo viene a ser funcional para aquellos que desean bajar sus costos en la adquisición de patrones de masas.
- 4.- Debido a la jerarquía que se sigue en la calibración de las masas patrón o de trabajo se recomienda revisar y comprobar los certificados extendidos para masas en la industria.

BIBLIOGRAFIA:

- 1- L. BIETRY, Dr. Zurich et.al.
Diccionario "METTLER" de Términos de pesada.
Traducción al español por colaboradores del Centro
Español de Metrología, 1,992
- 2- KOCHSIEK, Manfred (Hrsg)
Handbuch des Wägens, 2 Auflage Vieweg
1,988
- 3- Mettler SQC - Brochure
Practical guide to the Control of Filling Processes
Mettler Instrumente A.G., 1,989
- 4- Organización Internationale de Métrologie Légale
OIML. 111 International Recomendación
Weights of Classes E1, E2, F1, F2, M1, M2, M3
Edition 1,994
- 5- RODRIGUEZ BLANCO, Carlos M. et.al.
Medición de Masa
Habana: Editorial Pueblo y Educación
1,990
- 6- RUTISHUSER, Heinz et.al.
The new Mettler at Analytical Balance
for Mettler, 1,994
- 7- Specifications Tolerances and other Technical
Requirements for Weighing and Measuring Devices
As adopted by the 78 th National Conference on Weights
and Measures, 1,993
Nist Handbook 44
United States Department of Commerce Technology
Administration
Nacional Institute of Standards and Technology
- 8- THULIN, By S.A. BIML Paris
Weighing - Basic Principles, 1,994

ANEXO No. 1

DIAGRAMA DE TRAZABILIDAD PARA ICAITI
(AREA DE MASAS)



PTB Physikalisch Technische Bundesanstalt

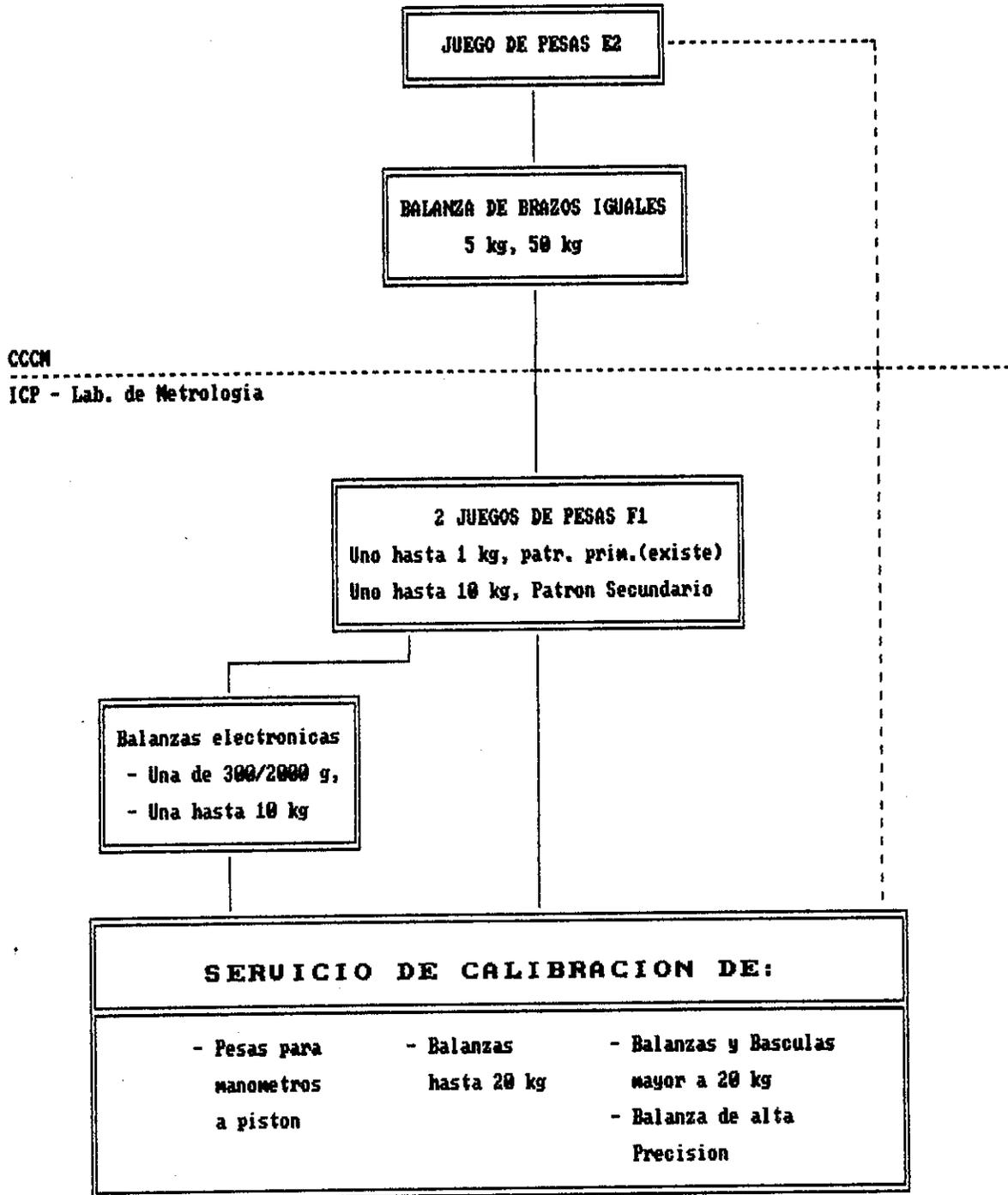
DKD Deutsche Kalibriert Dienst

ICAITI Instituto Centroamericano de Investigacion y Tecnologia Industrial

BIPM Bureau International des Poids et Mesures

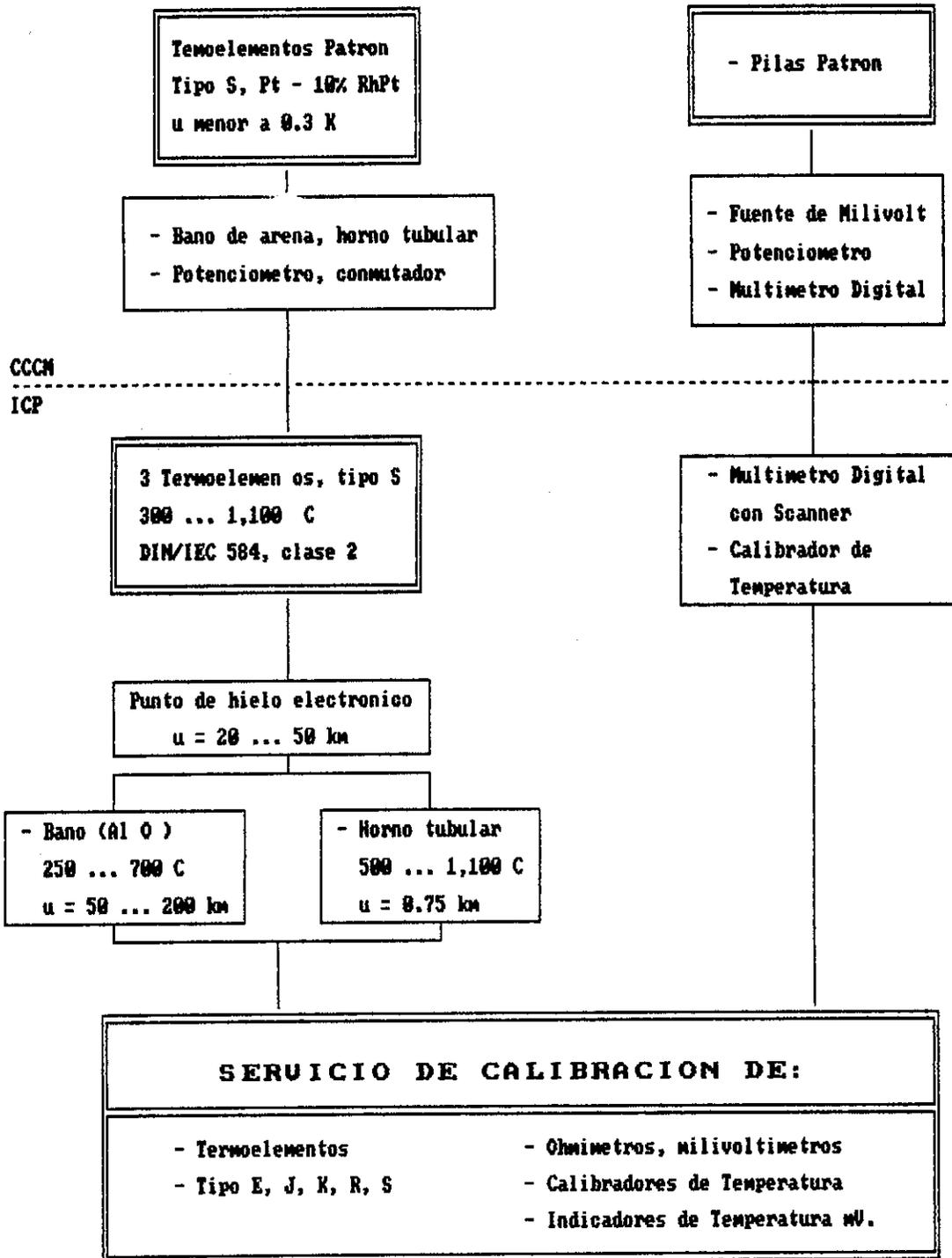
ANEXO No. 2

JERARQUIA DE PATRONES DE MASA



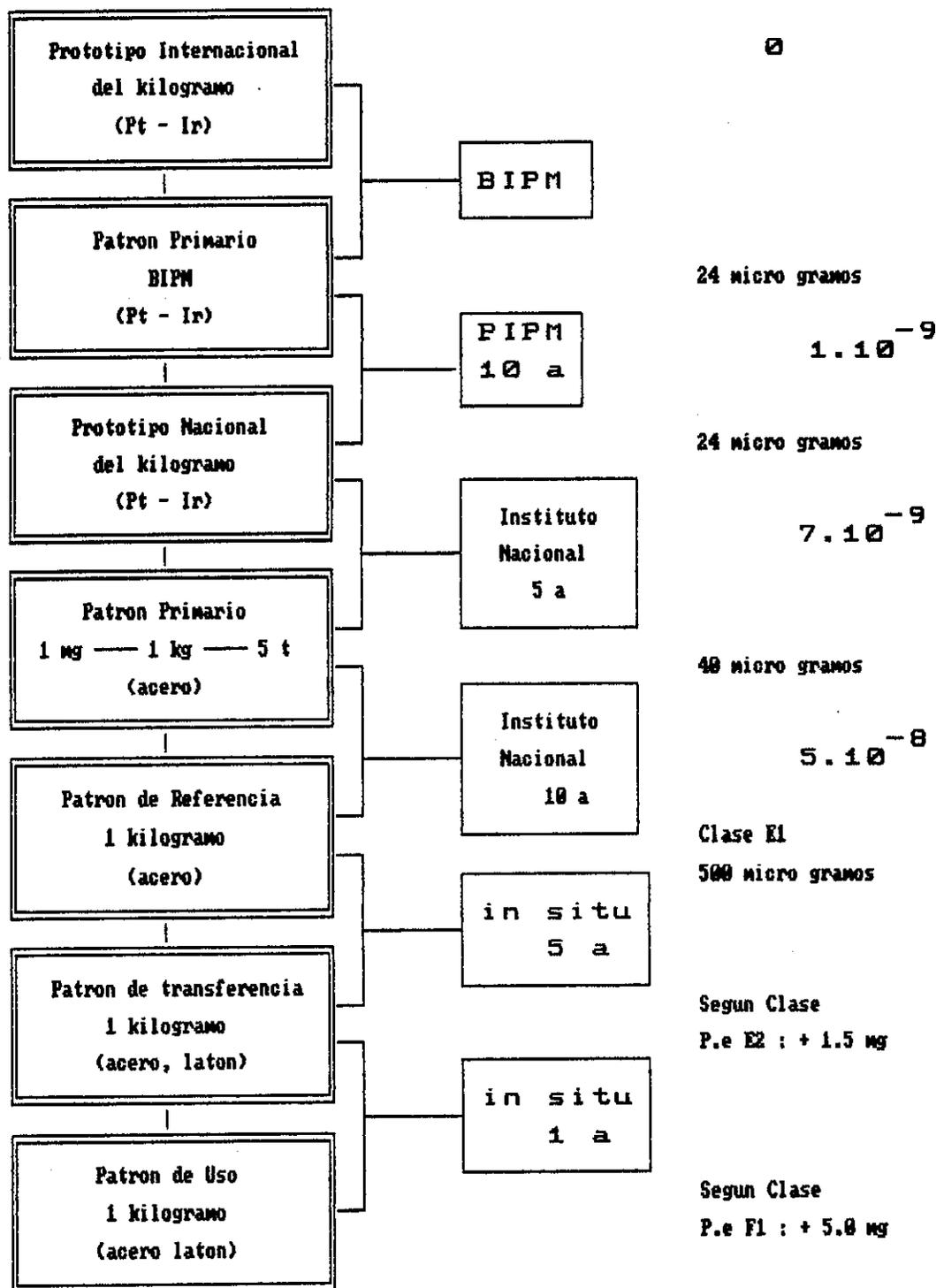
ANEXO No. 3

JERARQUIA PARA PATRONES DE TEMPERATURA



ANEXO No. 4

JERARQUIA DE LOS PATRONES DE MASA E INCERTIDUMBRE DE MEDICION EN LA TRAZABILIDAD



APENDICE No. 1

FACTORES DE CONVERSION PARA UNIDADES DE MASAS:

Unidades de masas no mayor que la libra y el kilogramo.

Unidades	farmaceutica (apotecario)	Libras apotecarias u tro	Libras avoirdupois	Miligramos	Gramos	Kilogramos
1 grano =	0.002083333	0.0001736111	0.0001428571	64.79891	0.06479891	0.00006479891
1 apot. Scruple =	0.04166667	0.003472222	0.002857143	1295.9782	1.2959782	0.0012959782
1 Pennyweight =	0.05	0.004166667	0.003428571	1555.17384	1.55517384	0.00155517384
1 copita avdp. =	0.05696615	0.0004747179	0.00390625	1771.8451953125	1.7718451953125	0.0017718451953125
1 copita apot. =	0.125	0.01041667	0.008571429	3887.9346	3.8879346	0.0038879346
1 onza avdp. =	0.9114583	0.07595486	0.0625	28349.523125	28.349523125	0.028349523125
1 onza apot. o troy =	1.00	0.083333333	0.06857143	31103.4768	31.1034768	0.0311034768
1 libra apot. o troy =	12.00	1.00	0.8228571	373241.7216	373.2417216	0.3732417216
1 libra avdp. =	14.58333	1.215278	1.00	453592.37	453.59237	0.45359237
1 miligramo =	0.00003215075	0.000002679229	0.000002204623	1.00	0.001	0.000001
1 gramo =	0.03215075	0.002679229	0.002204623	1000.00	1.00	0.001
1 kilogramo =	32.15075	2.679229	2.204623	1000000.00	1000.00	1.00

APENDICE No. 2

FACTORES DE CONVERSION PARA UNIDADES DE MASAS:

Unidades de masas no mayor que la
libra y el kilogramo

Unidades	Granos	Scruples Apotecarias	Onza y Media	Copitas Avoirdupois	Copitas Apotecarias	Onzas Avoirdupois
1 grano =	1.00	0.05	0.04166667	0.03657143	0.01666667	0.002285714
1 apot. Scruple =	20.00	1.00	0.8333333	0.7314286	0.3333333	0.04571429
1 Pennyweight =	24.00	1.20	1.00	0.8777143	0.40	0.05485714
1 copita avdp. =	27.34375	1.3671875	1.139323	1.00	0.4557292	0.0625
1 copita apot. =	60.00	3.00	2.5	2.194286	1.00	0.1371429
1 onza avdp. =	437.50	21.875	18.22917	16.00	7.291667	1.00
1 onza apot. o troy =	480.00	24.00	20.00	17.55429	8.00	1.097143
1 libra apot. o troy =	5760.00	288.00	240.00	210.6514	96.00	13.16571
1 libra avdp. =	7000.00	350.00	291.6667	256.00	116.6667	16.00
1 miligramo =	0.01543236	.0007716179	0.0006430149	0.0005643834	0.000257206	0.00003527396
1 gramo =	15.43236	0.7716179	0.6430149	0.5643834	0.2572060	0.03527396
1 kilogramo =	15432.36	771.6179	643.0149	564.3834	257.2060	35.27396

APENDICE No. 3

FACTORES DE CONVERSION PARA UNIDADES DE MASAS:

Unidades de masas no menos que la Onza.

Unidades	onzas Avdp.	libras Avdp.	ciento de peso corto	tonelada corta	tonelada larga	kilogramo	Toneladas metricas
1 onza avdp =	1.00	0.0625	0.000625	0.00003125	0.00002790179	0.02834952312	0.000028349523125
1 lb. avdp. =	16.00	1.00	0.01	0.0005	0.0004464286	0.45359237	0.00045359237
1 ciento de peso corto =	600.00	100.00	1.00	0.05	0.04464286	45.359237	0.045359237
1 tonelada corta =	32000.00	2000.00	20.00	1.00	0.8928571	907.18474	0.90718474
1 tonelada larga =	35840.00	2240.00	22.40	1.12	1.00	1016.0469088	1.0160469088
1 kilogramo =	35.27396	2.20462	0.02204623	0.001102311	0.0009842065	1.00	0.001
1 tonelada metrica =	35273.96	2204.62	22.04623	1.102311	0.9842065	1000.00	1.00