

CALIFICACIÓN METROLÓGICA DE PESAS PATRÓN SEGUN OIML R 111

Luiz Roberto Oliveira da Silva^A Marcelo Lima Alves^B

^A Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro
Avenida Maracanã 229 - Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Teléfono: + 55 21 99714465 - luizrob@antares.com.br

^B INMETRO, Diretoria de Metrologia Legal, Divisão de Massas
Av. N. S. das Graças, 50 – Duque de Caxias, RJ, Brasil.

Teléfono: + 55 21 26799137 - marcelolimaalves@bol.com.br

Resumen: La Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) es el forum internacional de la reglamentación metrológica obligatoria. Según la recomendación R 111 [1] de la OIML, las pesas usadas en operaciones comerciales deben estar sujetas a los controles metrológicos del Estado. Estos controles pueden, dependiendo de la legislación nacional, comprender uno o más de los siguientes: aprobación de modelo, calibración o verificación inicial, calibración o verificación posterior. Cabe al fabricante de estas pesas o a su representante autorizado someter un modelo al Servicio de Metrología Legal, a fin de que este Servicio determine su conformidad con los requisitos obligatorios. El objetivo de este trabajo es presentar como son realizados los principales controles metrológicos a las pesas, a través de los ensayos de magnetismo, densidad, rugosidad superficial y masa convencional, así como algunos resultados experimentales para pesas de clase F2, relacionados con esta comprobación metrológica, según los requisitos de la recomendación R 111 de la OIML, que es el documento básico para la elaboración de los reglamentos técnicos nacionales, en función de que Brasil es un país miembro de la OIML.

1. INTRODUCCIÓN

En el Vocabulario Internacional de Términos Generales y Fundamentales de Metrología (VIM) [2], un *Patrón*, es, una medida materializada, un instrumento de medir o un sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o un de los varios valores conocidos de una magnitud a fin de transmitirlos por comparación, a otros instrumentos de medición. El patrón debe poseer las más altas cualidades metrológicas en un campo específico. Un *Patrón Nacional*, a su vez, es un patrón reconocido por una decisión nacional oficial en un país para servir de base en el establecimiento de los valores de todos los demás patrones de la magnitud a que se refiere.

Con el desarrollo tecnológico, cada vez mas aumentan las exigencias en términos de conocer y mejorar la incertidumbre de los instrumentos y patrones de medición, característica esta que es asegurada por la calificación de los instrumentos y patrones, operación esta denominada Calibración.

Actualmente se puede caracterizar importantes tareas técnicas/científicas que se fundamentan en los resultados de una calibración, como por ejemplo la caracterización de los errores de naturaleza

sistemática y aleatoria, buscando determinar si el instrumento de medición o patrón, está en conformidad con una norma, especificación legal o una tolerancia definida para el producto medido, y consecuentemente la emisión de un certificado. Efectuada periódicamente, garantizara la confiabilidad de los resultados de la medición y asegurará la correlación a los patrones nacionales e internacionales;

Según la recomendación R 111 [1] de la OIML, considerada como el foro internacional de reglamentación metrológica reguladora, las pesas usadas en operaciones comerciales deben estar sujetas a los controles metrológicos del Estado. Estos controles pueden, dependiendo de la legislación nacional, comprender uno o mas de los siguientes temas: Aprobación de modelo, calibración o verificación inicial, calibración y/o verificación posterior. Queda a los fabricantes de estas masas o su representante autorizado someter un de estas masas manufacturadas al Servicio de Metrología Legal, a fin de que este Servicio garantice su conformidad a los requisitos obligatorios.

La Recomendación OIML R 111 contiene las principales características físicas y los requisitos

metrológicos para las pesas que son usadas en la verificación de los instrumentos de pesar, en la verificación de pesas de una clase de exactitud inferior y para aquellas que son usadas en conjunto con los instrumentos de pesaje, cuyos valores nominales sean superiores a 1 mg, en las clases de exactitud E1, E2, F1, F2, M1, M2 e M3.

El objetivo de este trabajo es presentar como son realizados los principales controles metrológicos sobre las masas patrón, a través de las pruebas de magnetismo, densidad, rugosidad superficial y masa, así como algunos resultados experimentales de masas patrón clase F2, relacionados a esta comprobación metrológica, según los requisitos de recomendación R 111 de la OIML, que es el documento básico para la elaboración de los reglamentos técnicos nacionales, en función de que Brasil es un país miembro de la OIML.

2. CUERPO PRINCIPAL DEL TRABAJO

2.1 – Terminología

La terminología usada en este trabajo buscó estar en conformidad con los siguientes documentos: la Recomendación R 111 da OIML [1], el "Vocabulario de Términos Fundamentales y Generales de Metrología" (VIM) [2], con el Vocabulario de Metrología Legal (VIM Legal) [3], y con la Recomendación D 20 de la OIML [4].

2.1.1. Calibración:

Es un conjunto de operaciones que establece en condiciones específicas, la relación entre valores de magnitudes indicadas por un instrumento de medición o un sistema de medición, o valores representados por una medida materializada o un material de referencia, y los valores correspondientes realizados por patrones. Para medidas materializadas a través de elementos físicos como masas patrón, bloques patrón de longitud y anillos patrón, la calibración envuelve la determinación del valor efectivo de estos elementos.

2.1.2. Verificación:

Conjunto de operaciones, comprendiendo el examen, la marcación, la selladura y la emisión de un certificado, y que constata que el instrumento de

medición o la medida materializada satisfaga a las exigencias reglamentarias.

2.1.3. Patrón de Verificación:

Un patrón que es usado como parte de un proceso de control estadístico para proveer una "verificación" en el proceso y patrón para garantizar que los patrones, resultados de mediciones y sus procesos de medición están dentro de los límites estadísticos aceptables.

2.1.4. Pesa:

Una medida materializada de masa, reglamentada en relación a sus características físicas y metrológicas: forma, dimensión y material, calidad de la superficie, valor nominal, y error máximo permitido.

2.1.5. Masa Convencional:

Valor convencional del resultado del pesaje en el aire, de acuerdo con la Recomendación Internacional OIML R 33. Para una pesa tomada a 20°C, la masa convencional es la masa de una pesa de referencia con una densidad de 8000 kg/m³, que la equilibra en el aire con una densidad de 1,2 kg/m³. También se le conoce como valor convencional de la masa.

2.1.6. Error máximo permitido:

Diferencia máxima positiva o negativa, permitida a través de un reglamento, entre la indicación de un instrumento y el valor verdadero correspondiente, cuando determinado por medio de masas patrón de referencia.

2.1.7. Clase de exactitud:

Designación dada a una clase de masas o de una colección de masas que atienden a ciertos requisitos metrológicos destinados a mantener los errores dentro de ciertos límites.

2.1.8. Patrones de masa de la clase F2:

Patrones de masa destinados a ser usados en las verificaciones iniciales de los patrones de masa de la clase M1, posiblemente, patrones de masa de la clase M2, destinados a ser usados en importantes transacciones comerciales (por ejemplo, oro y piedras preciosas) en los instrumentos de pesaje de

la clase de exactitud II y atender todos los requisitos para los patrones de masa de la clase F2.

2.1.9. Densidad de un cuerpo:

El cociente entre la masa dividida por el volumen dada por la fórmula $\rho = \frac{m}{V}$

2.1.10. Magnetismo:

Es la propiedad de atraer magnéticamente otro cuerpo. El Error magnético es una fuerza vertical F_z que tiene origen magnético pero que puede ser mal interpretada como una fuerza producida por una masa F/g .

2.1.11. Rugosidad Superficial:

Es el conjunto de irregularidades, esto es, pequeñas crestas y valles que caracterizan una superficie. Esas irregularidades pueden ser evaluadas con instrumentos electrónicos, como por ejemplo un Rugosímetro.

2.1.12. Modelo:

Un modelo definido de masas o de colección de masas con los cuales está en conformidad.

2.1.13. Aprobación Técnica de modelo:

Examen del modelo de un instrumento de medición o medida materializada con vistas a su aprobación; este examen es hecho a través del estudio de la documentación, inspección visual y ensayos en uno o mas ejemplares del modelo.

2.1.14. Aprobación de modelo:

Decisión reconociendo que el modelo de un instrumento de medición o medida materializada satisface a las exigencias reglamentarias.

2.1.15. Parámetro de rugosidad u parámetro R (Ra ou Rz):

Un parámetro bidimensional que describe el perfil de rugosidad evaluado de una muestra. La letra R es indicativa del tipo del perfil evaluado, en este caso R para el perfil de rugosidad. El perfil evaluado de una muestra puede ser en términos de diferentes tipos de perfil: un perfil de rugosidad o parámetro R, perfil primario o parámetro P, perfil de la ondulación o parámetro W. [ISO 4287:1997 - Especificaciones

de productos geométricos (GPS) – Textura de superficie: Método del perfil – Términos, definiciones y parámetros de textura de superficie].

2.2 – Procedimientos de ensayos

Los procedimientos aquí presentados son las metodologías aceptas en la Recomendación R 111 [1] para determinación de la masa convencional y de las propiedades de las masas de la clase F2.

Ellos se aplican a una masa individual o a un conjunto entero de masas. Los ensayos de calificación de las masas deben ser realizados en la siguiente orden:

Análisis de la documentación y Inspección Visual;
Limpieza de las pesas;
Ensayo de la Rugosidad Superficial;
Ensayo de Magnetismo;
Ensayo de la Densidad;
Calibración de la Masa Convencional.

2.2.1. Análisis de la Documentación e Inspección Visual:

El análisis de la documentación incluye las fotografías necesarias, los diseños y las especificaciones técnicas relevantes, para asegurar su exactitud. Examinar la apariencia física de las pesas y del estuche para asegurar la conformidad con su documentación.

2.2.2. Limpieza de las masas:

Si las pesas tuvieron que ser limpiadas, este procedimiento debe ser hecho antes de cualquier ensayo, pues la limpieza de las pesas puede modificar el valor de las mismas. Las pesas deben ser manipuladas y almacenadas de modo que permanezcan limpias. Antes de la calibración se debe retirar el polvo que pueda contener las pesas a través de un flujo de aire (no usar gas comprimido). La limpieza no deberá remover cantidad alguna de material de las pesas. Si la limpieza fue hecha con solventes, las pesas necesitarán de un tiempo para estabilización. Estos tiempos son presentados en las Tablas B.1 y B.2 de la Recomendación R 111.

2.2.3. Ensayo de la Rugosidad Superficial:

La estabilidad de la masa de un patrón de masa es altamente dependiente de la estructura de su superficie. Una superficie lisa tiene un área eficaz

menor y colecta menos “suciedad” que una superficie rugosa. Una vez que la superficie sea contaminada la superficie lisa es más fácil de limpiar. Se puede, por tanto, esperar que un patrón de masa con una superficie lisa sea más estable que un patrón de masa con una superficie rugosa; siempre que las otras características permanecen iguales. También es importante que la superficie del patrón de masa este limpia durante la evaluación de la rugosidad de la superficie.

La evaluación de la rugosidad de un patrón de masa es realizada primero por inspección visual; no para los patrones de masa de las clases E y F, la evaluación también puede ser hecha por comparación contra patrones de rugosidad, utilizando un instrumento de aguja o a través de un medidor electro-mecánico denominado Rugosímetro. La rugosidad de una superficie es caracterizada a través de diferentes parámetros de rugosidad. Cada parámetro describe una característica, que es importante para una función específica.

2.2.4. Ensayo de Magnetismo:

Fuerzas magnéticas pueden afectar de manera adversa el proceso de pesaje ya que, sin la investigación sistemática, estas fuerzas no puedan ser distinguidas de las fuerzas gravitacionales en la determinación de la masa. Las fuerzas magnéticas pueden surgir de la interacción mutua de dos patrones de masa, bien como entre un patrón y una masa, del comparador de masa usado en el pesaje, y entre otros objetos magnéticos en su vecindad. Las propiedades magnéticas, como el magnetismo y la susceptibilidad, de los patrones de masa deben ser determinados antes de la calibración de masa.

La magnetización de un patrón de masa puede ser estimada a partir de una medición, hecha por intermedio de un Gaussímetro, del campo magnético próximo a la pesa, y esto debe ser efectuado para los patrones de masa de todas las clases de exactitud.

El Sistema de medición es compuesto por un Gaussímetro (del tipo con sensores de Hall o Magnetómetros con Fluxímetros); por un ambiente bien iluminado; por guantes de laboratorio y por hojas sin fibras de algodón. El procedimiento completo para la realización de los ensayos se encuentran descritos en los apartados B.6.2.3 ; B.6.4.5 ; B.6.5.5 e B.6.6.4 de la Recomendación R 111.

2.2.5. Ensayo de la Densidad:

El ítem B.7 de la Recomendación R 111 presenta en la Tabla B.4 la descripción completa de seis metodologías para la determinación de la densidad de las masas. Para pesas patrón clase F2 es recomendada la metodología código F, adonde la estimación de la densidad esta basada en la composición conocida de la aleación a partir de la cual la pesa es fabricada, donde el valor exacto de la densidad depende de la proporción relativa de los constituyentes de cada aleación. Los valores típicos de la densidad son presentados en la Tabla B.8 de la recomendación R 111.

2.2.6. Calibración de la Masa Convencional:

La calibración de las pesas patrón puede ser realizada a través de dos metodologías:

1. El Método de Comparación Directa;
2. El Método de la Pesaje de subdivisiones.

Por intermedio de estos métodos, tres diferentes ciclos de pesaje son realizados, y todos ellos son formas de pesaje por substitución, destinados al uso de balanzas con un único plato. Las condiciones ambientales (descritas en la Tabla C.1) y las características metrológicas de los instrumentos de pesaje (resolución, linealidad, repetibilidad y excentricidad) usados en la calibración de las masas deben ser conocidas a priori, y deben tener exactitud e incertidumbre adecuadas.

2.3 - Requisitos de las Pesas patrón

2.3.1. Requisitos Técnicos:

Son requisitos relacionados con los aspectos operacionales de las masas patrón.

- Forma
- Construcción
- Material
- Magnetismo
- Densidad
- Condiciones de la superficie
- Ajustes
- Marcaciones
- Forma de Presentación.

2.3.2. Requisitos Metrológicos:

Son aquellos relacionados con los errores obtenidos en la calificación de las pesas patrón.

2.3.2.1. Errores Máximos admisibles en la verificación:

Los errores máximos admisibles en la verificación inicial para cada patrón de masa individual son dados en la Tabla 1 [1]. Estos errores máximos permisibles se relacionan con la masa convencional.

2.3.2.2. Incertidumbre expandida:

Para cada patrón de masa, la incertidumbre expandida U, para k = 2 da masa convencional, debe ser inferior o igual a un tercio del error máximo admisible.

2.3.2.3. Masa convencional:

Para cada patrón de masa, la masa convencional mc (determinada con una incertidumbre expandida U) no debe diferir mas de la diferencia del error δm máximo admisible, menos la incertidumbre expandida, en relación al valor nominal de la pesa m₀.

2.3.2.4. Rugosidad Superficial:

En las condiciones normales de uso, la calidad de las superficies debe ser tal que cualquier alteración de la masa de las pesas sea despreciable con relación al error máximo permitido. Cada patrón de masa debe ser individualmente evaluado para determinar si es aceptable. La superficie de los patrones de masa (incluida la base y las esquinas) debe ser suave y los bordes deben ser arredondados. La superficie de los patrones de masa de las clases E1, E2, F1 e F2 no debe ser porosa y debe presentar una apariencia pulida durante el examen visual.

Clases	E1	E2	F1	F2
Ra [μm]	0,1	0,2	0,4	1
Rz [μm]	0,5	1	2	5

Tabla 1. Valores máximos para la Rugosidad superficial

2.3.2.5. Magnetismo:

Las magnetizaciones no deben superar los valores máximos dados en la Tabla 4 [1].

Clase	E1	E2	F1	F2	M1	M2	M3
Magnetización máxima	3	10	30	100	300	1000	3000

Tabla 2. Valores máximos para la Magnetización permanente μ₀M (μT)

2.3.2.6. Densidad:

La densidad del material usado en las masas patrón debe ser tal que una variación equivalente al 10% de la densidad específica del aire no produzca un error que exceda un cuarto del error máximo permitido. Las tablas 6 y 7 de [1], traen los valores limites para la densidad.

3. RESULTADOS

3.1. Rugosidad Superficial:

Valor Nominal de las pesas	Ra [μm]	U _{Ra} [μm]	Rz [μm]	U _{Rz} [μm]
20 mg	0,28	0,10	2,9	0,9
50 mg	0,13	0,03	2,3	0,3
100 mg	0,15	0,06	1,4	0,3
200 mg	0,15	0,03	1,4	0,2
500 mg	0,13	0,02	1,2	0,1

Tabla 3. Resultados de los Ensayos de Rugosidad de las pesas clase F2

Donde:

Ra = parámetro Rugosidad media (Roughness average);

U_{Ra} = incertidumbre expandida (k = 2) para el parámetro Ra;

Rz = parámetro Rugosidad media de los cinco valores de rugosidad parcial Zi;

U_{Rz} = incertidumbre expandida (k = 2) para el parámetro Rz.

3.2. Masa Convencional:

Valor Nominal De las pesas	Calibración		Recalibración	
	Error [mg]	Incertidumbre [mg]	Error [mg]	Incertidumbre [mg]
20 mg	- 0,0659	± 0,0015	- 0,0673	± 0,0015
50 mg	+ 0,0539	± 0,0015	+ 0,0536	± 0,0015
100 mg	- 0,0647	± 0,0015	- 0,0665	± 0,0015
200 mg	+ 0,0382	± 0,0015	+ 0,0371	± 0,0015
500 mg	- 0,0823	± 0,0015	- 0,0839	± 0,0015

Tabla 4. Resultados de la calibración y de la recalibración de las masas clase F2

Donde:

Error = Diferencia entre el valor de la masa ensayada y el valor de la masa patrón;
 Incertidumbre = incertidumbre expandida del proceso de calibración de las masas para un nivel de confianza aproximado del 95 % y un factor de cobertura (k) igual a 2.

4. CONCLUSIONES

En un país adonde las masas patrón están sujetas a los controles metrológicos del Estado, estos controles pueden, dependiendo de la legislación nacional del país, comprender uno o más de los siguientes requisitos: aprobación de modelo, calibración y verificación, recalibración y reverificación, y o verificación subsecuentes.

La tabla 5 a seguir, extraída de la Recomendación R 111 (Tabla 10), sirven como orientación cuanto a los ensayos que deben ser ejecutados en función del estado de la apreciación técnica.

Tabla 5 – Guía para la determinación de los ensayos a ser realizados para aprobación de modelo, para verificación inicial y verificación subsiguiente

Masas o colecciones ensayadas	Ensayo	Densidad (ρ)			Rugosidad Superficial		
		E	F	M	E	F	M
Todos las masas de la colección	Clase	E	F	M	E	F	M
	PA	EE	EE	EE	EE	EE	EE
	IV	NA	NA	NA	V	V	V
	SV	NA	NA	NA	V	V	V

Susceptibilidad Magnética (χ)			Magnetización permanente (μ ₀ M)			Masa convencional (mc)		
E	F	M	E	F	M	E	F	M
EE	EE	NA	EE	EE	EE	EE	EE	EE
EE	EE	NA	EE	EE	EE	EE	EE	EE
NA	NA	NA	NA	NA	NA	EE	EE	EE

Tabla 5. (continuación)

Leyenda:

- PA = Aprobación de Modelo
- IV = Verificación Inicial
- SV = Verificación Subsiguiente
- NA = Examen No Aplicable
- V = Solamente ensayo Visual
- EE = Ensayo Exigido

Con relación a los resultados presentados en este trabajo, para la Rugosidad superficial y para la Masa convencional de las pesas patrón clase F2, podemos concluir que las pesas ensayadas se encuentran con los requisitos metrológicos obligatorios dentro de la margen de tolerancia establecida por la Recomendación R 111 de la OIML, por tanto cualificadas para la función a que se destinan.

Con lo respecto a los ensayos de la densidad, la susceptibilidad magnética y la magnetización permanente se encuentran en fase de implantación.

REFERENCIAS

- [1] OIML, Draft Revision of R 111: Weights of class E1, E2, F1, F2, M1, M2, M3. Part 1: Metrological and technical requirements, France, 2004;
- [2] INMETRO, Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM), 1995;
- [3] INMETRO, Vocabulário de Metrologia Legal (VIM Legal), 1988;
- [4] OIML, International Document 20 "Initial and Subsequent Verification of Measuring Instruments and Processes", 1988.