

EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD DEL APARATO DE VICAT

CONFORMITY ASSESSMENT OF THE VICAT APPARATUS

F. BUZÓN^{a†} Y A. HERNÁNDEZ^{a†}

a) Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, Cuba; franb@inimet.cu, alehl@inimet.cu.

† autor para la correspondencia.

Palabras clave: metrology 06.20.-f; laboratory procedures 06.60.-c; measurement of mass 06.30.Dr; length measurements 06.30.Bp; materials testing and analysis 81.70.-q

INTRODUCCIÓN

Los aparatos de Vicat son utilizados por el Ministerio de la Construcción, en los laboratorios de ensayo, para la determinación de indicadores de calidad del cemento hidráulico, como el tiempo de fraguado y la consistencia normal. Cuando se construyen estructuras de hormigón, es importante determinar correctamente esos indicadores.

En Cuba está vigente la Norma NC-524:2007 [1] para la determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado por aguja Vicat, que establece los siguientes requisitos técnicos para los aparatos de Vicat:

Deberán consistir de un soporte A (Figura 1) para la barra móvil B, con un extremo C sumergible, y una aguja removible D en el otro; un anillo cónico rígido G, que descansa en el plato de base H, plano, cuadrado y no absorbente. Se recomienda que si el plato es de base circular, tenga como mínimo 100 mm de diámetro. La escala graduada, no deberá tener un error mayor que 0,25 mm cuando es comparada con una escala patrón, con una exactitud de 0,1 mm en todo el intervalo.

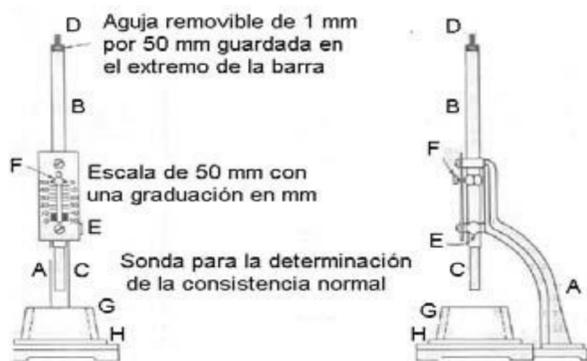


Figura 1. Aparato de Vicat dispuesto para la determinación de la consistencia normal

Además, deberá cumplir lo siguiente:

- Peso de la barra móvil: $(300,0 \pm 0,5)$ g.
- Diámetro del extremo sumergible de la barra: $(10,00 \pm 0,05)$ mm.
- Diámetro de la aguja D: $(1,00 \pm 0,05)$ mm.
- Longitud de la aguja D: 50 mm.
- Longitud de extremo C: al menos 50 mm.
- Diámetro interior del anillo G en la base: (70 ± 3) mm.
- Diámetro interior del anillo G en la circunferencia superior: (60 ± 3) mm.
- Altura del anillo G: (40 ± 1) mm.
- Longitud de plato H: al menos 100 mm.

La evaluación de la conformidad de los aparatos de Vicat se realiza en condiciones ambientales de referencia normales para los laboratorios de ensayo y calibración. Después de evaluar su aspecto exterior y funcionamiento, se determinan la masa de la barra móvil, los diámetros y las longitudes del extremo sumergible de la barra y de la aguja, la altura y los diámetros interiores superior e inferior del anillo, las dimensiones de la base circular o cuadrada, y el error de la medida con trazos en todo el intervalo [2].

Para satisfacer los requisitos de exactitud en todas las pruebas a los aparatos de Vicat, se emplean instrumentos de medición patrones con las siguientes características metroológicas:

- Comparador electrónico de masa, con valor de división de 0,001 g.
- Micrómetro de exterior de (0 a 25) mm, con valor de división 0,01 mm.
- Pie de rey universal de (0 a 200) mm, con valor de división 0,05 mm.

- Microscopio de lectura de 10X, con valor de división 0,05 mm.

ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES

La incertidumbre expandida de medición se expresa como la incertidumbre combinada de medición multiplicada por el factor de cobertura $k = 2$, la que para una distribución normal corresponde a un nivel de confianza del 95 %.

Entre la componente asociada a las observaciones repetidas y la resolución, se toma la mayor, y la otra se hace cero.

A continuación se muestran las tablas de presupuestos de incertidumbre:

Tabla I
Presupuesto de incertidumbre de la medición de la masa de la barra móvil para $m_m=300,089$ g

Nombre de la componente		Ecuación	Coef. de corr.	u (mg)
u_{rep}	Observaciones repetidas	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2}{n(n-1)}}$	0	0,27
u_{ba}	Balanza	$\sqrt{u_{res}^2 + u_E^2 + u_f^2}$	0	0,70
u_{res}	Resolución	$\frac{R}{2\sqrt{3}} \cdot f$	0	0,29
u_E	Excentricidad	$\frac{Exc}{10\sqrt{3}} \cdot f$	0	0,12
u_f	Factor de escala	$\left(\frac{\bar{B} \cdot u_f}{k}\right)$	0	0,63
u_c	Incertidumbre combinada			0,75
U	Incertidumbre expandida			1,5

Tabla II
Presupuesto de incertidumbre de la medición del diámetro del extremo sumergible para $\bar{D} = 10,03$ mm

Nombre de la componente		Ecuación	Coef. de corr.	u (μ m)
u_{res}	Resolución	$\left(\frac{R}{2\sqrt{3}}\right)$	0	2,9
u_{rep}	Observaciones repetidas	$t_s \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n(n-1)}}$	0	5,2

u_{ei}	Error de indicación	$\frac{EMP_{ei}}{\sqrt{3}}$	0	2,9
$u_{par.pu}$	Paralelismo	$\frac{EMP_{par.punt.}}{2}$	0	1,0
$u_{planic.punt.}$	Planicidad	$\frac{\sqrt{2} \cdot EMP_{planic.punt.}}{2}$	0	1,4
u_{v0}	Variación del punto cero	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n(n-1)}}$	0	0,18
u_{par}	Paralaje	$\left(\frac{R_D \cdot DO \cdot h}{\sqrt{3} \cdot \pi \cdot \theta \cdot DF}\right)$	0	0,59
u_{tr}	Temperatura	$\frac{0,1D \cdot \Delta T_{20}}{\sqrt{2}}$	0	0,024
u_{tpm}	Diferencia de temperatura	$\frac{D \cdot \Delta T}{\sqrt{2}}$	0	0,081
u_c	Incertidumbre combinada			6,2
U	Incertidumbre expandida			12

Tabla III
Presupuesto de incertidumbre de la medición de la longitud de la aguja para $\bar{L}_t - \bar{L}_c = 49,11$ mm.

Nombre de la componente		Ecuación	Coef. de corr.	u (μ m)
u_{Lt}	Longitud total	$\sqrt{(u_{res})^2 + (u_{repLt})^2 + (u_{ei})^2 + (u_{par})^2 + (u_{tr})^2 + (u_{tpm})^2 + (u_{Abbs})^2}$	0	33
u_{res}	Resolución	$\left(\frac{R}{2\sqrt{3}}\right)$	0	14
u_{repLt}	Observaciones repetidas	$t_s \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{ti} - \bar{L}_t)^2}{n(n-1)}}$	0	0
u_{ei}	Error de indicación	$\frac{EMP_{ei}}{\sqrt{3}}$	0	29

U_{par}	Paralaje	$\frac{DO \cdot a \cdot DM}{DF \cdot ev \cdot \sqrt{3}}$	0	0,49
U_{tr}	Temperatura	$\frac{0,1 L_{c_{nom}} \propto \Delta T_{20}}{\sqrt{2}}$	0	0,19
U_{tpm}	Diferencia de temperatura	$\frac{L_{c_{nom}} \propto \Delta T}{\sqrt{2}}$	0	0,64
U_{Abbe}	Error de Abbe	$\frac{h \cdot a}{l\sqrt{3}}$	0	5,1
U_{Lc}	Longitud del casquillo	$\sqrt{\begin{matrix} (u_{res})^2 + \\ (u_{replc})^2 + \\ (u_{ei})^2 + \\ (u_{par})^2 + \\ (u_{tr})^2 + \\ (u_{tpm})^2 + \\ (u_{Abbe})^2 \end{matrix}}$	0	36

U_{res}	Resolución	$\left(\frac{R}{2\sqrt{3}}\right)$	0	14
U_{replc}	Observaciones repetidas	$t_s \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{c_i} - \bar{L}_c)^2}{n(n-1)}}$	0	21
U_{ei}	Error de indicación	$\frac{EMP_{ei}}{\sqrt{3}}$	0	29
U_{par}	Paralaje	$\frac{DO \cdot e \cdot DM}{DF \cdot ev \cdot \sqrt{3}}$	0	0,49
U_{tr}	Temperatura	$\frac{0,1 L_{c_{nom}} \propto \Delta T_{20}}{\sqrt{2}}$	0	0,072
U_{tpm}	Diferencia de temperatura	$\frac{L_{c_{nom}} \propto \Delta T}{\sqrt{2}}$	0	0,24
U_{Abbe}	Error de Abbe	$\frac{h \cdot a}{l\sqrt{3}}$	0	5,1
U_c	Incertidumbre combinada			49
U	Incertidumbre expandida			98

Para una explicación más detallada sobre las componentes de incertidumbre, ver [2].

La ecuación 1 muestra los componentes de la incertidumbre típica combinada de la medición de los diámetros, alturas y longitudes, si se sustituye D_i por las alturas medidas A_i o las longitudes medidas L_i .

$$u_d = \sqrt{u_{res}^2 + u_{rep}^2 + u_{par}^2 + u_{tr}^2 + u_{tpm}^2 + u_{Abbe}^2} \quad (1)$$

Es importante no contabilizar dos veces la incertidumbre por definición del mensurando, definida como la incertidumbre inherente a una especificación cuando es aplicada a una pieza real [3], como es el caso de la variación del diámetro del extremo sumergible y las variaciones en la longitud del plato de vidrio. Si una componente de incertidumbre procedente de un efecto particular se obtiene mediante una evaluación Tipo B, no debe introducirse como componente independiente en el cálculo de la incertidumbre típica combinada del resultado de medida, salvo, si acaso, la parte de efecto que no contribuye a la variabilidad de las observaciones, porque ya está incluida en la componente de incertidumbre obtenida mediante análisis estadístico (Tipo A) [4].

Tabla IV
Presupuesto de incertidumbre de la medición de la distancia entre los trazos
Dist = 0,90 mm

Nombre de la componente		Ecuación	Coef. de corr.	u (μm)
U_{res}	Resolución	$\left(\frac{R}{2\sqrt{3}}\right)$	0	14
U_{ei}	Error de indicación	$\frac{EMP_{ei}}{\sqrt{3}}$	0	12
u_{tr}	Temperatura	$\frac{Dist_{nom}(\alpha \Delta T_{20})}{\sqrt{2}}$	0	0,024
u_c	Incertidumbre combinada			18
U	Incertidumbre expandida			37

EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD

Según la JCGM 106:2012 [5], en una evaluación de conformidad la incertidumbre de la medición debe ser considerada y juzgada como aceptable según el propósito que se desee. Una consideración es que la incertidumbre expandida U_c , para un factor de cobertura $k = 2$, debe satisfacer:

$$U \leq U_{max} = \frac{E_{max}}{3} \quad (2)$$

Donde E_{max} es la tolerancia del valor de referencia y U_{max} es la máxima incertidumbre expandida aceptable [5].

Como se muestra en la Figura 2, las incertidumbres de las mediciones realizadas satisfacen este requerimiento.

La no conformidad o el rechazo pueden ser probados con un nivel de confianza de al menos 97,5 %, cuando el resultado de la medición cae fuera de una banda de resguardo, equivalente a la zona de tolerancia de la característica medida, incrementada

en ambos lados por la incertidumbre expandida U [6].

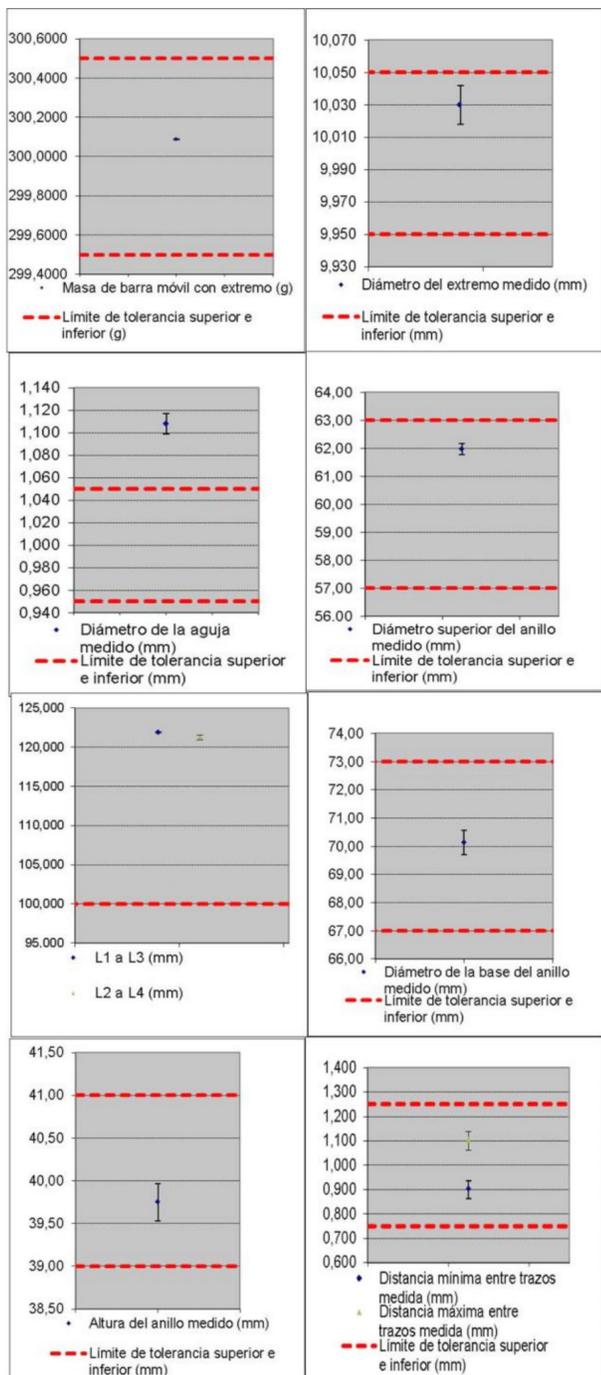


Figura 2. Resultados de las mediciones con sus incertidumbres expandidas, respecto a sus tolerancias.

Cuando existe un solo límite de tolerancia, el intervalo de aceptación quedaría como se observa en la Figura 3. En caso de dos límites: Figura 4.

Debe quedar claro que no se utiliza el muestreo de aparatos de Vicat de un lote determinado, pues cuando las conclusiones

deben ser sobre el lote en general, los efectos primarios de muestreo se vuelven importantes y, con frecuencia, mucho más grandes que la incertidumbre asociada a la medición de un solo instrumento traído al laboratorio.

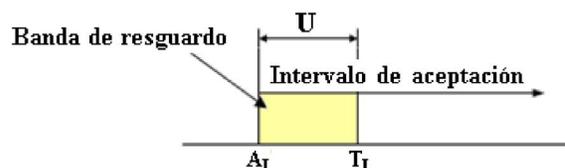


Figura 3. Un límite de aceptación inferior A_I fuera de un límite de tolerancia T_I define un intervalo de aceptación.

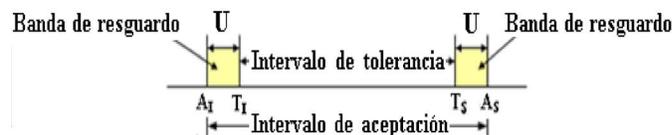


Figura 4. Dos límites de aceptación fuera de los límites de tolerancia definen un intervalo de aceptación.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se realizaron 690 mediciones de los componentes del aparato de Vicat, en los Laboratorios de Dimensionales y de Masa del INIMET, y las incertidumbres expandidas de medición fueron apropiadas para una evaluación de conformidad, excepto para el diámetro de una aguja.

Se fundamenta el establecimiento de un programa de pruebas para la evaluación de la conformidad de los componentes de los aparatos de Vicat en uso.

[1] NC- 524: 2007 "Cemento hidráulico-Método de ensayo-Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado por aguja Vicat".

[2] F. Buzón, A. Hernández, Determinación de las características técnicas y metrológicas del Aparato de Vicat (2013), Boletín Científico Técnico del INIMET, ISSN versión impresa: 0138-857, ISSN versión electrónica: 2070-8508.

[3] ISO/TS 17450-2:2002(E) "Geometrical Product Specifications (GPS) – General concepts-Part 2: "Basic tenets, specifications, operators and uncertainties".

[4] JCGM 100:2008 "Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement".

[5] JCGM 106:2012 "Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment".

[6] EURACHEM / CITAC Guide – 1st edition 2007 Use of Uncertainty Information in Compliance Assessment.