

INTERLABORATORIO ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN

Alejandra Benítez¹, Adrián Ruiz¹, Angel Castro², Daniela Rodríguez Ierace², Fernando Perrone³

¹²Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)/ Departamento Tecnología del Hormigón
Departamento de Calidad en las Mediciones / Servicio Argentino de Interlaboratorios (SAI),
San Martín, Buenos Aires, abenitez@inti.gob.ar, aruiz@inti.gob.ar

³Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón(AATH), Buenos Aires, fperr@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es difundir la metodología, resultados, tratamiento y conclusiones obtenidas en el Programa de ensayo de aptitud por comparaciones interlaboratorios de compresión de probetas de hormigón PRO-03/2019, según norma IRAM 1546, organizado por el Servicio Argentino de Interlaboratorios (INTI SAI) [1] y el Departamento Tecnología del Hormigón en el marco de un Convenio de Cooperación Técnica con la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH). La firma de dicho convenio aspira a incorporar más laboratorios de la industria de la construcción, además de entidades que realicen controles de calidad. Desde hace 18 años estas prácticas han permitido evaluar el desempeño de laboratorios de ensayo, introduciendo mejoras según las condiciones vigentes. Conocer la situación de dichos laboratorios constituye una herramienta relevante para la implementación de controles confiables en la aceptación y rechazo del hormigón, constituyéndose en antecedente para el aseguramiento de la calidad y validación de la competencia de los participantes.

Palabras claves: comparaciones, interlaboratorio, ensayo, laboratorios, competencia.

INTRODUCCIÓN

El ensayo de determinación de la resistencia a la compresión de probetas de hormigón según la norma IRAM 1546 [2] es el ensayo más utilizado dada su significancia como metodología de control de calidad del hormigón. Dicho método, sus particularidades e influencias han sido exhaustivamente estudiados y son una herramienta para asegurar la comparabilidad y confiabilidad de sus resultados, habiendo sido objeto de trabajos anteriores [3] y numerosas notas de divulgación.

Debido a las exigencias de diferentes organismos, entidades regulatorias y usuarios en general, se requiere que los laboratorios de ensayo puedan demostrar la repetibilidad y confiabilidad de sus resultados. Asimismo, para aspirar a un sistema de calidad la norma ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” que en el punto 7.7 “Aseguramiento de la calidad”, inciso j [4], propone entre otras opciones la de participar en interlaboratorios. Esto también aplica a discrepancias entre las diferentes partes intervinientes en una obra en la operación de recibir el hormigón o de verificar las condiciones contractuales.

Es por eso que el programa “ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN” resulta interesante ya que permite tener información y verificar una evolución en el tiempo que mejore la utilidad de los resultados que brinda.

Teniendo en cuenta la necesidad de hacer énfasis en divulgar e incrementar la participación de instituciones, laboratorios privados y empresas elaboradoras de hormigón, en 2019 se estableció un acuerdo marco de cooperación técnica entre el INTI y la AATH, para el desarrollo y promoción de interlaboratorios referidos a ensayos de hormigones, firmado en fecha 30/08/2019, organizando un plan de trabajo conjunto y concretando un ejercicio con fecha 16/09/19.

El presente artículo resume el proceso de organización y las metodologías estadísticas aplicadas, la evaluación de los datos y las conclusiones obtenidas, a partir del último programa y de la experiencia adquirida de los anteriores.

Cabe aclarar que el INTI preserva la confidencialidad de los participantes mediante la asignación de un código único, aleatorio, que sólo es conocido por el interesado y el INTI. El tratamiento de los resultados y el informe de los mismos se realizan utilizando ese mismo número.

Si bien en cualquier interlaboratorio las herramientas estadísticas específicas son fundamentales para la discusión del desempeño, en este ensayo es crítica la aplicación de los criterios normativos y reglamentarios disponibles en el ámbito.

Por otra parte, se expone la importancia del trabajo conjunto de la AATH y del INTI en sus roles de contribuir a la implementación de la calidad a través de la tecnología del hormigón mejorando la seguridad de las construcciones civiles.

EJERCICIO 2019

A. Descripción

Todos los programas contaron con la participación de laboratorios del ámbito nacional e internacional, universitarios, empresas elaboradoras de hormigón, centros de asistencia técnica de fábricas de cemento y proveedores de servicios de ensayo y/o investigación tanto estatales como privados. Cabe destacar que se establece un cupo máximo de veinte participantes dada la cantidad importante de probetas necesarias y el escaso tiempo que se dispone para las operaciones en estado fresco y las respectivas determinaciones.

En la Figura 1 se observa la distribución de los participantes en función a su tipología. Cabe destacar que en general los porcentajes se han repartido en forma casi constante, considerando que se debería avanzar en la incorporación de mayor cantidad de empresas hormigoneras, para tender al aseguramiento de la calidad de los actores principales de la provisión a obras públicas y privadas que requieren un nivel de seguridad óptimo.



Figura 1: Distribución porcentual de participantes según su tipología.

B. Materiales y métodos

En la mayor parte de los interlaboratorios organizados, la preparación de las probetas se realizó con hormigones clase resistente H30 y asentamiento especificado 15 cm, provistos por empresas elaboradoras de hormigón en camiones motohormigoneros, y despachados hasta los laboratorios de INTI, donde se efectuó la preparación de las muestras de ensayo, a cargo del personal propio con el aporte de la AATH en 2019. El volumen de hormigón entregado fue de 2,0 m³ aproximadamente en cada caso.

Previamente al inicio de las operaciones, se efectuó el descarte de una cantidad de hormigón de 250 dm³, según norma IRAM 1541 [5] para minimizar fuentes de dispersión, ya que, dadas las características intrínsecas del material, las descargas inicial y final pueden no ser totalmente homogéneas y representativas del pastón en evaluación.

Luego se efectuaron dos descargas sucesivas en una bandeja metálica humedecida, homogeneizándolo manualmente con pala, obteniendo en cada caso una muestra para efectuar los ensayos en estado fresco, según normas IRAM 1536 [6], 1562 [7], 1893 [8] y 1602-2 [9].

Con el remanente, se procedió a iniciar el llenado y compactación de 64 moldes cilíndricos de 150x300 mm según norma IRAM 1534 [10] y 10 moldes de 100x200 mm. Los ensayos de caracterización mencionados fueron llevados a cabo para cada una de las muestras tomadas durante sendas descargas. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en el ejercicio 2019.

Tabla 1: Caracterización del hormigón y duración de las operaciones

Categoría	Muestra 1	Muestra 2
Hora de inicio y fin del moldeo [min]	11:00	11:45
Duración total [min]	45	
Asentamiento [cm]	11/11/11 *	11/10/7,5*
Temperatura del hormigón Inicial/Final [°C]	23,7 / 24,0	26,1 / 26,4
Aire incorporado [%]	2,6	2,5

En simultaneidad con la determinación de los parámetros citados, se efectuó el control de homogeneidad en las muestras identificadas como '1' y '2', de acuerdo con la norma IRAM 1876 [11]. Para ello también fue necesario determinar la densidad relativa del agregado grueso (ρ_{asssAG}) seco, saturado y superficie seca y su absorción. En la Tabla 2 se exhiben los resultados obtenidos y los cálculos de homogeneidad del pastón.

Tabla 2: Peso por unidad de volumen (PUV), contenido de aire y cálculo de homogeneidad según requisitos IRAM 1876.

Año	Muestra	PUV [kg/m ³]	Aire [%]	Δ AG [%]	ρ_{assAG} [kg/m ³]	ρ del mortero libre de aire [kg/m ³]	ρ_{prom} [kg/m ³]	$\Delta\rho$ del mortero libre de aire [%]
2019	1	2350	2,6	0,8	2720	2161	2166	0,45
	2	2347	2,5		2700	2170		
<i>Δcontenido de AG máximo admisible [%]</i>				6,0	<i>$\Delta\rho$ del mortero libre de aire máximo admisible [%]</i>			1,6

Las probetas moldeadas, fueron curadas hasta los 28 días según la norma IRAM 1534, en que fueron embaladas y retiradas por los participantes para proceder a su ensayo a los 35 días, edad estipulada para garantizar la recepción de todos los ítems en cada laboratorio. Previo a su embalaje fue observado el aspecto de las probetas y medidas.

También se evaluó la homogeneidad en estado endurecido a través del ensayo a la compresión con placas de elastómero de 10 probetas de 100x200 mm, obteniendo un promedio de 43,3 MPa para las 5 probetas de la Muestra '1' y 44,2 MPa para las 5 correspondientes a la Muestra '1' y un desvío estándar de 0,4 en ambos casos, existiendo una diferencia máxima entre valores extremos de 1 MPa.

C. Resultados

Para calcular el valor medio interlaboratorio se calculó un promedio robusto de los resultados informados por los participantes y se estimó la desviación estándar interlaboratorio robusta (s^*) utilizando el Algoritmo A que se describe en la norma ISO 5725 (1994) Parte 5 [12]. La incertidumbre del valor asignado es $u_x = 1,25 \cdot s^* / \sqrt{p}$, donde p es el número de participantes.

Los resultados del análisis estadístico con los valores de todos los participantes en general y los obtenidos con mortero de azufre según norma IRAM 1553 [13] y con placas de elastómero no adheridas según norma IRAM 1709 [14], pueden observarse en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados obtenidos para resistencia a la compresión

Tipo de tratamiento de las bases	% casos	Resistencia a la compresión Valor medio interlaboratorio [MPa]	Desviación estándar interlaboratorio [MPa]	Desviación estándar relativa [%]	Incertidumbre Valor medio interlaboratorio [MPa]
Todos	100	39,4	1,3	3,4	0,8
Mortero de azufre	21	38,8	1,1	3,0	1,4
Placas de elastómero	79	39,7	1,4	3,6	0,9

La evaluación del desempeño de los laboratorios participantes se realizó utilizando como criterio el cálculo del parámetro "z", definido de la siguiente manera:

$$z = (x - x_{\text{ref}}) / s^*$$

Donde:

x: promedio para cada laboratorio,

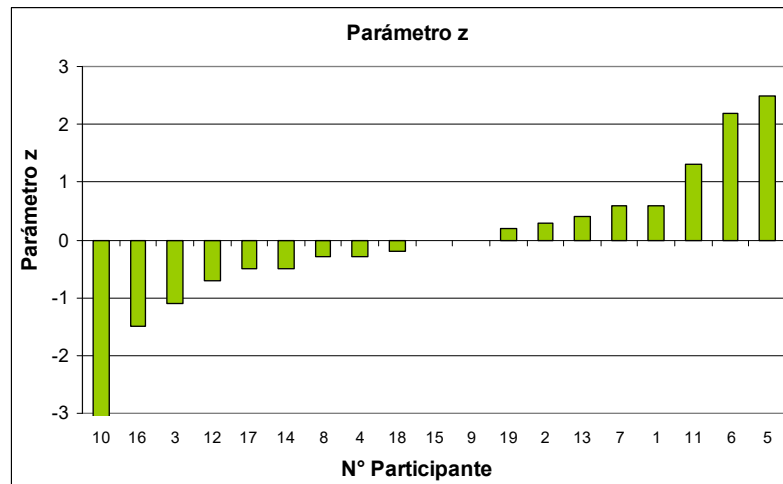
x_{ref} : valor de consenso asignado al parámetro,

s^* : desviación estándar de reproducibilidad entre laboratorios.

La calificación del desempeño de los laboratorios se considera según el criterio del “parámetro z” donde $|z| < 2$ es satisfactorio, $2 < |z| < 3$ es cuestionable y $|z| > 3$ es no satisfactorio. Los valores z obtenidos son los indicados en la Tabla 4 y en la Figura 2.

Tabla 4: Desempeño de los laboratorios participantes según el parámetro “z”.

N° part.	z	N° part.	z
1	0,6	11	1,3
2	0,3	12	-0,7
3	-1,1	13	0,4
4	-0,3	14	-0,5
5	2,5	15	0,0
6	2,2	16	-1,5
7	0,6	17	-0,5
8	-0,3	18	-0,2
9	0,0	19	0,2
10	-4,8		



Valor que excede los límites del gráfico

Participante	z
10	-4,8

Figura 2: Desempeño de los laboratorios participantes

D. Discusión de los resultados

Luego de la evaluación mediante el parámetro “z”, se puede concluir que, con excepción de tres participantes del ejercicio 2019, los laboratorios obtuvieron resultados satisfactorios. Entre los tres laboratorios observados, dos presentan un desempeño “cuestionable” y, el restante, exhibe un desempeño ‘no satisfactorio’, apreciándose que todos sus resultados son sensiblemente menores al valor de referencia del programa.

Es importante aclarar que en todos los casos se cumplió con el criterio del Reglamento CIRSOC 201:2005 [15], 4.1.6.2 que establece que “Se debe adoptar como *resultado de un ensayo (f'ci)* al valor que se obtiene como promedio de las resistencias de, como mínimo, *dos (2) probetas cilíndricas normales, moldeadas con la misma muestra de hormigón y ensayadas a la misma edad.* Se debe cumplir que la diferencia entre las resistencias extremas del grupo que constituye cada ensayo, sea menor del 15 % de la resistencia media de las probetas que constituyen el grupo. Si dicho valor resultara mayor, se debe rechazar el ensayo correspondiente y se deben investigar los procedimientos de moldeo,

curado y ensayo de las probetas, con el objeto de analizar si los mismos se están realizando en un todo de acuerdo con las normas.” En este caso la diferencia máxima entre probetas fue del 10 % y la mínima del 1 %.

Con relación al modo de rotura observado en cada probeta ensayada, se calcularon los porcentajes de los tipos fracturas según lo informado, discriminando además por tipo de preparación de las bases. El 56 % de los laboratorios que ensayaron con placas de elastómero no adheridas informaron un tipo de rotura N° 5 y el 31 % Tipo N° 2, siendo bajos los porcentajes para los demás tipos de rotura. En el caso de mortero de azufre el 50 % presentó rotura Tipo N° 2, el 25 % Tipo N° 1 y el restante 25 % Tipo N° 4.

Todos los laboratorios que prepararon las bases con mortero de azufre informaron la fecha de verificación de la resistencia del compuesto.

El 4 % de los participantes cuenta con procedimiento de verificación de planitud y perpendicularidad de las bases y el 25 % de los que preparan las bases con mortero termoplástico no informa la verificación del espesor y su calidad.

Con respecto a la máquina de ensayo no fue solicitado el tipo de accionamiento de la misma, es decir si es manual o eléctrica. La norma IRAM 1546:2013 Mod. N° 1: 2017, 3.1.1 “Sistema de regulación de aplicación de cargas” establece como requisito que “la máquina debe proveer un sistema de regulación de aplicación de cargas tal, que éstas puedan aumentarse en forma continua y sin saltos bruscos entre los límites indicados en 5.2.1”. Esto indicaría que una máquina de accionamiento manual no cumpliría con dicho requerimiento sin embargo no se encuentra explícito.

Todos los laboratorios informaron la fecha de calibración de la máquina dentro del año de efectuados los ensayos. El 58 % de los laboratorios participantes poseen una máquina de ensayo que puede controlar la velocidad de carga en forma automática, el 32 % no posee dicho control y el 11 % no informa. La fecha de última verificación de la velocidad de carga fue informada por el 37 % de los laboratorios.

Para la medición del diámetro de las probetas el 53 % de los laboratorios informa el uso de calibre y el 47 % no da información al respecto.

Destacamos que el 47 % de las muestras (27 de 57 probetas) fueron reportadas como satisfactorias en lo que respecta a su estado general, y el resto de ellas con algún defecto.

Para la medición de la altura de las probetas el 26 % de los laboratorios informa el uso de calibre, el 11 % el uso de regla metálica de 40 cm, el 52 % no informa y el 11 % utiliza el dispositivo de medición de altura que cumple con la norma IRAM 1574 [16] referido en la norma IRAM 1546.

RESULTADOS DE EJERCICIOS HISTORICOS

Se realizó un análisis de los resultados de ejercicios históricos y su evolución con el objeto de establecer un plano de referencia mínimo para futuros programas.

En los últimos 6 ejercicios que se llevaron a cabo, el 89 % de los participantes tuvo un resultado calificado como “satisfactorio” en términos de parámetro “z”, lo cual marca un nivel de desempeño aceptable por parte de los participantes. Los porcentajes en cada uno de los ejercicios se muestran en la Figura 3.

Con cada ejercicio se fue perfeccionando la información y técnicas de evaluación, pudiendo observar parámetros con variabilidad de bajo impacto en los resultados y destacando

necesidades de estandarización como la incorporación de tipos de rotura y la expresión de los resultados al 0,1 MPa incorporada en la última versión de la normativa.



Figura 3: Evolución en el desempeño de los participantes.

CONCLUSIONES GENERALES

Una característica presentada por los laboratorios radica en la diferente cantidad de cifras significativas utilizadas para informar los resultados de medición, ensayo y cálculo. Las mismas quedan determinados por la incertidumbre de medición del parámetro en cuestión. Dado que ella depende del método y de las condiciones en que fue realizada la medición, es importante que cada laboratorio evalúe sus propias fuentes de incertidumbre y realice el cálculo de la misma.

Los ejercicios históricos de ensayos de interlaboratorio a compresión realizados demuestran un alto nivel de cumplimiento en relación a la competencia técnica para la realización de los ensayos que permiten a su vez detectar casos de calificaciones cuestionables o no satisfactorios.

La metodología resulta válida y práctica para lograr una primera evaluación de capacidad que sirva como antecedente a futuras acreditaciones o certificaciones a implementar en la industria, tanto para laboratorios que realicen este ensayo a solicitud, como para empresas que realicen el autocontrol acorde a lo requerido por las normativas vigentes tales como la Norma IRAM 1666 [17] de reciente aprobación y el Reglamento CIRSOC 201:2005.

Se considera relevante la continuidad y el apoyo de las empresas del medio para reeditar este programa e instalarlo como práctica rutinaria para el monitoreo de la competencia de los laboratorios, la detección de los factores que más inciden en los resultados, la evaluación interna de las capacidades técnicas y ofreciendo una garantía de confianza adicional a los usuarios, en beneficio mutuo con la industria del hormigón elaborado.

PROPUESTAS A FUTURO

El ejercicio se podría posicionar como un antecedente y requisito para la validación de competencia técnica de los laboratorios, pudiendo establecerse en base a su calificación redes regionales que faciliten el acceso al ensayo, disminuir costos y tiempos de traslado.

En esta oportunidad no se solicitó la información sobre el tipo de verificación sobre los discos de elastómero (con o sin certificado del proveedor del tipo de elastómero, dimensiones, dureza, calificación) como así tampoco la evaluación de los aros de retención. Estos datos se considerarán en próximos ejercicios.

La metodología permite incluir en futuros ejercicios la individualización de factores que influyan en el ensayo, medir su impacto y variabilidad que fundamenten futuras revisiones de la norma. Como ejemplo se podría recomendar la unificación de criterios para los informes de ensayo (tipologías, unidades, cantidad de datos mínimos, etc), basada en las condiciones indicadas en la norma.

Se propone a partir de esta primera colaboración entre la AATH y el INTI, expandir el ejercicio a un mayor número de participantes, reeditando más de un ejercicio anual.

REFERENCIAS

- [1] ENSAYO DE APTITUD "ROTURA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN" PRO-03/2019 INFORME FINAL Fecha de emisión: Junio de 2020
- [2] Norma IRAM 1546:2013 Modificación N° 1: 2017. Norma IRAM 1546:2013 Mod. N° 1 2017. "Hormigón de cemento pórtland. Método de ensayo de compresión".
- [3] Agnello J, Benítez A, Polzinetti M, Civitillo P, Puglisi C, Forastieri S, Castro L, "Aseguramiento de la calidad: programa de comparación interlaboratorio del ensayo de compresión de probetas de hormigón" (T-105). V Congreso Internacional - 19° Reunión Técnica "Ing. Oscar R. Batic" Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, (2012), 103-110.
- [4] Norma ISO/IEC 17025:2017 "Requisitos para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración"
- [5] Norma IRAM 1541:2020. Hormigón de cemento pórtland. Hormigón fresco. Muestreo.
- [6] Norma IRAM 1536:1978. "Hormigón de cemento pórtland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono".
- [7] Norma IRAM 1562:2012. "Hormigón fresco de cemento. Método para la determinación de la densidad (masa de la unidad de volumen) y el cálculo del rendimiento y del contenido de aire (gravimétrico)."
- [8] Norma IRAM 1893:2018 – "Hormigón de cemento. Método de ensayo para la determinación de la temperatura del hormigón en estado fresco."
- [9] Norma IRAM 1602-2:1988. "Hormigón de cemento pórtland. Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas de hormigones y morteros. Método B."
- [10] Norma IRAM 1534:2004. "Hormigón de cemento pórtland. Preparación y curado de probetas para ensayos en laboratorio".
- [11] Norma IRAM 1876:2004. "Hormigón. Métodos de ensayo para determinar la homogeneidad de una mezcla de hormigón."
- [12] Norma ISO 5725-5:1994. Accuracy (trueness and precisión) of measurement methods and results). Part 5: Alternative methods for the determination of the precisión of standard measurement method.
- [13] Norma IRAM 1553:2008. "Hormigón de cemento pórtland. Preparación de las bases de probetas cilíndricas y testigos cilíndricos para ensayo de compresión".
- [14] Norma IRAM 1709:2016 – "Hormigón de cemento. Método y requisitos para el uso de placas de elastómero no adheridas, empleadas para la determinación de la resistencia a la compresión de probetas y testigos cilíndricos de hormigón endurecido."
- [15] Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. CIRSOC 201:2005.
- [16] Norma IRAM 1574:1990. Hormigones. Método para la determinación del espesor de testigos y de la altura de probetas de hormigón endurecido.
- [17] Norma IRAM 1666:2020. Hormigón elaborado. Requisitos y control de la producción.