

SISTEMA DE AUDITORÍA, INTERLABORATORIO PARA COMPRESIÓN DE PROBETAS, TESTIGOS Y FLEXIÓN DE HORMIGÓN

María Gabriela Duran¹, Isaac Rahmane², Luis Escobar³, Alejandra Navarro⁴

¹ Universidad Nacional de Córdoba, gduran@unc.edu.ar

² Camino de las Sierras S.A. Malagueño, irahmane@camsierras.com.ar

³ Camino de las Sierras S.A. Malagueño, lescobar@camsierras.com.ar

⁴ Caminos de la Sierras S.A. Malagueño, anavarro@camsierras.com.ar

RESUMEN

Caminos de las Sierras S.A. es una empresa con capital accionario mayoritario del Gobierno de la Provincia de Córdoba. Tiene entre sus funciones principales auditar la construcción, rehabilitación y mantenimiento de la red vial de acceso a Córdoba. Desde 2017 hasta la actualidad lleva adelante un plan de infraestructura que involucra aproximadamente 300.000 metros cúbicos de hormigón. Es sabido que el hormigón es un material compuesto principalmente por recursos no renovables que demandan gran cantidad de energía para su producción, lo que modifica el medio ambiente. Realizar hormigones de calidad es un objetivo relevante para garantizar la seguridad estructural, la durabilidad y disminuir el impacto ambiental. Para asegurar estos requisitos se han instalado laboratorios en las principales obras, que ensayan e informan regularmente parámetros del hormigón. En este trabajo se expone parte de un sistema de auditoría, que comprende: resultados, aspectos relevantes de las actividades de interlaboratorio instrumentadas con el objeto de intercambiar saberes e incrementar la confiabilidad en los informes realizados por los proveedores y los laboratorios del control, centrado en los parámetros más destacados del hormigón endurecido para las obras viales: resistencia a la compresión evaluada en testigos y en probetas y resistencia a la tracción por flexión.

Palabras claves: interlaboratorio, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por flexión.

INTRODUCCIÓN

Caminos de las Sierras es una sociedad anónima con una participación accionaria mayoritaria del Gobierno de la Provincia de Córdoba, que funciona dentro de la órbita del Ministerio de Obras Públicas y Financiamiento del Gobierno de la Provincia de Córdoba. Tiene entre sus funciones principales la construcción de nuevas obras, rehabilitación y mantenimiento de la red vial de acceso a Córdoba integrada por 600 km en 9 rutas. Durante los últimos años emprendió un ambicioso plan de obras de gran envergadura, con un monto total de inversión de quinientos millones de dólares, que demandó el máximo control para asegurar la calidad, entre las que se destacan: el cierre del anillo de la Avenida de Circunvalación de la Ciudad de Córdoba, puente en arco sobre el Lago San Roque y la duplicación de calzadas y puentes. Esto implica la utilización de cerca de 250.000 m³ de hormigón in situ, a los que se les suman vigas, dovelas, etc. de hormigón prefabricado para la construcción de 5.000 m de puentes. Sabido es que el hormigón es un material conformado principalmente por recursos no renovables, que demandan gran cantidad de

energía para su producción; la explotación de canteras ya sea para extraer la materia prima del cemento, o para producir agregados daña al medio ambiente, alterando la flora, la fauna, cuencas hídricas y generando efectos negativos en zonas turísticas relevantes para el desarrollo de la Provincia. Por lo que realizar hormigones de calidad, durables y con bajo costo de mantenimiento es un objetivo primordial. En muchos casos estas obras se encontraban alejadas de centros urbanos por lo que se instalaron, plantas y laboratorios en obra, que determinan e informaban regularmente parámetros del hormigón en estado fresco y en estado endurecido, cumpliendo la demanda de autocontrol especificada en los pliegos de licitación. Con el objetivo de instrumentar un sistema de confiabilidad para todas las etapas que implica el proceso de construcción de las obras, se organizaron interlaboratorio, el primero en el año 2017 [1] y el segundo a finales del 2018 y principios de 2019. Existen antecedentes a nivel mundial y en Argentina, de sistemas de calidad en donde se instrumentan interlaboratorio [2-3], incluso para evaluar la resistencia a la compresión de hormigón, mediante la aplicación de la Norma IRAM 1546 [4], ya que la resistencia a la compresión del hormigón es considerada muchas veces como la característica más relevante, aunque en muchos casos no lo sea, este parámetro da un panorama general de la calidad del hormigón, por estar directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento. En Muchos pliegos de especificaciones técnicas de uso vial tales como el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Pavimentos de Hormigón, Ediciones 1998 [5] y 2017 [6], la aceptación de un lote de obra, en relación a la resistencia del hormigón a los veintiocho (28) días, se debe realizar sobre testigos extraídos del pavimento, es decir se requiere determinar la resistencia efectiva del hormigón. Por otra parte, el control y seguimiento de la resistencia del hormigón colocado en obra, se realiza mediante la determinación de la resistencia potencial, o sea, la determinada en laboratorio mediante el ensayo de probetas en condiciones ideales de compactación y curado. Así mismo, para el diseño de pavimentos, los métodos utilizan el módulo de rotura (parámetro obtenido en el ensayo de tracción por flexión), ya que es un factor crítico en este tipo de estructuras. Es por esto que el objetivo general de este trabajo es, dar un sustento técnico a la necesaria demostración de comparabilidad, de los parámetros del hormigón, descriptos anteriormente obtenidos en los laboratorios involucrados en las obras auditadas por Caminos de las Sierras. Los objetivos particulares son:

- Sociabilizar la aplicación de las metodologías descriptas en las siguientes normas:
 - Hormigón de cemento. Método de ensayo a compresión. Norma IRAM 1546.
 - Hormigón de cemento pórtland. Ensayo de tracción por flexión. norma IRAM 1547 [7].
 - Hormigón de cemento pórtland. Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido IRAM 1551 [8]
- Obtener correlaciones entre la resistencia efectiva, potencial y el módulo de rotura del hormigón más utilizado en obra.
- Intercambiar saberes con los actores involucrados en la calidad de las obras.

DESARROLLO

Se realizó un encuentro con los actores involucrados, tecnólogos de las empresas, entes de control y proveedores, para acordar la fecha, lugar y procedimiento de hormigonado de un paño de calzada, de donde se extrajeron posteriormente los testigos de hormigón, tres mínimos por participante. Además, se confeccionaron probetas y vigas, tres mínimos por cada participante, para determinar las resistencias a la compresión y el módulo de rotura. Los procedimientos se sintetizan a continuación:

- Calibración de todas las prensas por el mismo Ente, con una antigüedad menor a doce meses antes de los ensayos.

- Asignación de una letra identificadora a cada participante, con el fin de preservar la identidad.
- El hormigón utilizado correspondió al más empleado en las obras en cuestión, H 35, T_{máx} 19 mm asentamiento 7±2 cm, que proveyó la empresa Hormiblock, luego de descargar 0,5 m³ se moldearon 51 probetas.
- La homogeneidad del pastón se evaluó mediante, la determinación de la densidad del hormigón fresco (IRAM 1562) [9], constatando que la diferencia máxima en valor absoluto sea menor o igual que 16 kg/m³.
- Para la preparación y curado de las probetas se aplicó la Norma IRAM 1524 [10], utilizando cilindros de diámetro nominal 150 mm y altura 300 mm, que proveían los participantes. Durante las primeras 24±8 h se almacenaron en el mismo lugar, cubiertas con una bolsa plástica. Luego las empresas las retiraron y curaron en las cámaras propias hasta (28 días) fechas de ensayos.
- Cumplida la fecha de ensayo, cada laboratorio interviniente ensayaba según lo estipulado en la norma IRAM 1546, con el encabezado normalizado IRAM 1709 [11] se les suministro una planilla a los participantes en donde debían indicar: probeta, altura, determinación de dos diámetros y el promedio, peso, edad de rotura, velocidad de ensayo, carga última, tipo de rotura, resistencia y observaciones.
- Para la preparación y curado de las probetas prismáticas se aplicó la Norma IRAM 1680 [12] se utilizaron vigas prismáticas, tres como mínimo por cada participante. La forma de compactación fue manual. Durante las primeras 24±8 h se almacenaron en el mismo lugar, cubiertas con una bolsa plástica, luego las empresas las retiraron, desmoldaron y curaron en las cámaras propias hasta (28 días) fechas de ensayos.
- Cumplida la fecha de ensayo, cada laboratorio interviniente ensayo según lo estipulado en la norma IRAM 1547.
- A los 22 días de hormigonado, se procedió a la extracción de los testigos para la determinación de la resistencia a compresión, el ensayo de resistencia y la corrección de los resultados por esbeltez, se realizó según la norma IRAM 1551. El ensayo a compresión se realizó según la norma IRAM 1546. Además, se confeccionó un plano con coordenadas para identificar la posición de los testigos y analizar las posibles implicancias.

RESULTADOS

Luego de desmoldar las probetas, a cada una se le determinó el diámetro y la masa, el tratamiento estadístico de estos valores se muestra en la Tabla 1.

Cada laboratorio registró e informo tres veces al día la temperatura durante el periodo de curado. En la Tabla 2 se muestran los valores máximos y mínimos de las temperaturas de cada laboratorio.

Para determinar los resultados inconsistentes, tanto para los valores informados de la resistencia a la compresión de probetas, de testigos y la resistencia a la tracción por flexión, se aplicó la prueba C de Cochran y de Grubbs.

La competencia de los laboratorios para cada propiedad evaluada, se calculó mediante el parámetro "Z", ecuación (1), y se interpreta según los criterios establecidos en la Norma ISO 13528 [13], el valor de "Z", se define como:

$$Z = \frac{X_{im} - \text{Valor de referencia}}{S} \quad (1)$$

Siendo:

Z: parámetro.

X_{im} : valor medio de cada laboratorio participante.

Valor de referencia: valor medio del interlaboratorio.

S: desviación estándar interlaboratorio.

La interpretación convencional del parámetro “Z” es:

$ Z \leq 2$	Aceptable
$2 < Z < 3$	Cuestionable
$3 \leq Z $	No Aceptable

Tabla 1: Tratamiento estadístico de la masa de las probetas.

Promedio [g]	12885,5
Desvío Estándar [g]	75,9
Coefficiente de variación %	0,6
Valor máximo [g]	13026,0
Valor mínimo [g]	12660,0
Diferencia máxima [g]	366,0

Tabla 2: Temperaturas máximas y mínimas de las piletas de curado.

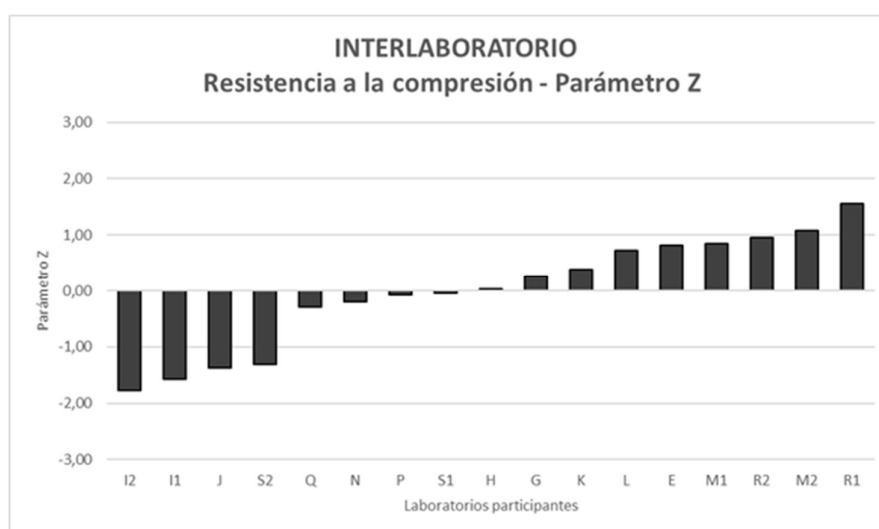
Laboratorio participante	T min[°C]	T max[°C]
L	16,0	27,0
O	18,5	28,2
R	22,6	25,8
S	21,7	22,4
Q	22,2	26,0
N	24,0	29,0
J	Sin datos	Sin datos
P	Sin datos	Sin datos
H	Sin datos	Sin datos
C	Sin datos	Sin datos
I	Sin datos	Sin datos
K	Sin datos	Sin datos
M	Sin datos	Sin datos
E	Sin datos	Sin datos
A	Sin datos	Sin datos

Ensayos de Compresión en probetas

Los resultados del ensayo de probetas sometidas a compresión, se muestran en la Tabla 3, además se muestra los resultados de la aplicación de la prueba de Cochran (95 % de confianza) y la de Grubbs (Confianza 97,5 %) para detectar valores inconsistentes. En la Figura 1 se muestran los valores de Z.

Tabla 3: Resistencia a la Compresión de probetas

Lab.	Resistencia a la compresión [MPa]				Detección de valores atípicos		Z
	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Promedio	P. Cochran	P. Grubbs	
M1	41,80	42,60	42,20	42,20	No	No	0,85
M2	41,90	43,10	42,70	42,57	No	No	1,08
I1	37,80	39,21	37,90	38,30	No	No	-1,58
I2	37,30	38,71	38,00	38,00	No	No	-1,77
R1	41,81	44,37	43,81	43,33	No	No	1,55
R2	41,75	42,92	42,45	42,37	No	No	0,96
J	38,21	38,84	38,83	38,63	No	No	-1,38
H	40,20	41,40	41,10	40,90	No	No	0,04
P	40,50	40,85	40,80	40,72	No	No	-0,08
N	40,41	40,56	40,56	40,51	No	No	-0,21
K	40,93	42,43	40,98	41,45	No	No	0,38
E	41,91	42,61	41,91	42,14	No	No	0,81
Q	40,30	40,42	40,40	40,37	No	No	-0,29
L	41,80	42,20	42,00	42,00	No	No	0,72
G	40,85	41,57	41,35	41,26	No	No	0,26
S1	39,94	42,36	40,02	40,77	No	No	-0,04
S2	37,57	39,42	39,24	38,74	No	No	-1,31
Resistencia Promedio [MPa]				40,84			
Desviación estándar [MPa]				1,60	Coeficiente de variación 3,9%		

**Figura 1.** Valores del parámetro “z”, ensayo de resistencia a la compresión de probetas

Ensayos de tracción por flexión

Los resultados de los ensayos, se muestran en la Tabla 4, además se muestra la aplicación de la prueba de Cochran (95 % de confianza) y la de Grubbs (Confianza 97,5 %) para detectar valores inconsistentes y del parámetro “Z”.

Tabla 4: Resistencia a la tracción por flexión

Lab.	Resistencia a la flexión [MPa]				Detección de valores atípicos		Z
	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Promedio	P. Cochran	P. Grubbs	
M	7,22	6,97	7,16	7,12	No	No	1,52
R	6,89	6,89	6,75	6,84	No	No	1,30
A	5,00	5,20	4,15	4,78	No	No	-0,35
P	6,75	6,72	5,45	6,31	No	No	0,87
N	4,30	5,30	5,10	4,90	No	No	-0,26
Q	4,80	4,00	4,53	4,44	No	No	-0,62
S	3,51	3,70	3,59	3,60	No	No	-1,30
K	3,71	4,07	4,25	4,01	No	No	-0,97
I	4,70	5,60	4,7	5,00	No	No	-0,18
Módulo de Rotura Promedio [MPa]				5,22	Coeficiente de Variación		
Desviación estándar [MPa]				1,25	23,9 %		

Los resultados tienen una gran dispersión y concuerdan con lo señalado en la bibliografía especializada, de la cual destacamos, lo expresado por Neville [14]:

“La prueba de flexión no es conveniente para propósitos de control de calidad o de cumplimiento, dado que las probetas de prueba son pesadas y se dañan fácilmente, También el resultado de la prueba de flexión es afectado de manera importante por las condiciones de humedad de la probeta y la variabilidad del módulo de rotura es grande”.

El módulo de rotura promedio obtenido, equivale al 12,8 % del valor de resistencia a la compresión promedio de las probetas evaluadas, relación mayor a la propuesta por AASHTO [15] para el diseño de pavimentos rígidos.

En la Figura 2, se muestra los laboratoristas, la preparación de los moldes en el día de prueba.



Figura 2: Día de hormigonado.

Ensayos de Testigos a la compresión

Los resultados de los ensayos, la aplicación de la prueba de Cochran (95% de confianza) y la de Grubbs (Confianza 97,5 %) y el valor del parámetro "Z" para detectar valores inconsistentes, se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Resistencia a la compresión de testigos.

Lab.	Resistencia a la compresión de Testigos [MPa]				Detección de valores atípicos		Z
	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Promedio	P. Cochran	P. Grubbs	
C	27,07	27,37	29,43	27,96	No	No	-0,80
P	30,60	29,97	30,18	30,25	No	No	0,49
R	31,67	24,12	31,70	29,16	SI	No	-0,12
K	27,54	30,47	28,89	28,97	No	No	-0,23
Q	29,60	26,24	27,27	27,70	No	No	-0,94
J	32,50	31,90	31,60	32,00	No	No	1,48
Valor Promedio* [MPa]				29,38	Coeficiente de Variación		
Desviación estándar [MPa]				1,78	6,0 %		
*(Eliminando valor rechazado)							

CONCLUSIONES

- El Interlaboratorio II, se desarrolló en un clima de entusiasmo y colaboración, permitiendo a los participantes demostrar su aptitud técnica, comparar resultados con sus pares, disminuir la incertidumbre, mejorar las mediciones realizadas y evaluar sus métodos de medición y calibración.
- En función de los valores del parámetro "Z" determinados en el análisis de los resultados, en los ensayos de resistencia a la compresión de probetas, resistencia a la compresión de testigos y resistencia a la tracción por flexión, se concluye que todos los participantes en todos los ensayos obtuvieron resultados aceptables.
- Los coeficientes de variación obtenidos al procesar resultados de la resistencia a la compresión probetas (3,9 %) resulta menor, en relación con el coeficiente de variación obtenido en los resultados de resistencia a la compresión en testigos (6,0%) y el de los resultados de resistencia a la tracción por flexión (23,9 %), lo que es coherente con la cantidad de parámetros difícil de controlar en la evaluación de la resistencia de los testigos y la resistencia de tracción por flexión, tales como compactación, paralelismo entre caras, etc. en relación a la evaluación de la resistencia en las probetas de hormigón.
- La resistencia a la compresión promedio evaluada en testigos resulta ser del 71,9 % de la resistencia a la compresión promedio obtenida en probetas.
- El módulo de rotura promedio resulta equivalente al 12,8 % de la resistencia a la compresión promedio determinada en probetas.
- Dada la relevancia de las resistencias a compresión efectiva y potencial y la de tracción por flexión del hormigón en las obras viales, resulta conveniente determinar una correlación para cada mezcla y obra, cuando las características de la obra lo ameriten, para lograr un control efectivo.

AGRADECIMIENTOS:

A la empresa Hormiblock por facilitar las instalaciones para llevar adelante este trabajo, al Ing. Jorge Pagliero, Micaela Villareal y Marcó Ana Clara por su colaboración y entusiasmo.

REFERENCIAS

- [1] Duran MG, Rahmane I, Escobar L, Navarro A, "Sistema de confiabilidad para auditar la calidad de los hormigones en obra". VIII Congreso Internacional y 22° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón: en el Centenario del primer despacho de cemento portland; compilado por Edgardo F. Irassar - 1a ed.. - Buenos Aires: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, (2018), 209-311.
- [2] INTI, "Ensayo interlaboratorio: Rotura por compresión de probetas de hormigón". Disponible online en: www.inti.gov.ar/interlaboratorios.
- [3] Di Tomaso et al, "Gestión de ensayos de aptitudes por comparaciones interlaboratorio en compresión de probetas de hormigón", 16ª Reunión Técnica de la AATH, (2006), 503-509.
- [4] Norma IRAM 1546, "Hormigón de Cemento. Método de ensayo a compresión", (2013).
- [5] https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/dnv_petq_1998_0.pdf.
- [6] <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/vialidad-nacional/licitaciones/pliegos-de-especificaciones-tecnicas>.
- [7] Norma IRAM 1547, "Hormigón de cemento pórtland. Ensayo de tracción por flexión", (1992).
- [8] Norma IRAM 1551, "Hormigón de cemento pórtland. Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido", (2000).
- [9] Norma IRAM 1562, "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)", (2012).
- [10] Norma IRAM 1524, "Hormigón de cemento. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y tracción por compresión diametral.", (2015).
- [11] Norma IRAM 1709, "Hormigón de cemento. Método y requisitos para el uso de placas de elastómeros no adheridas, empleadas para la determinación de la resistencia a la compresión de probetas y testigos cilíndricos de hormigón endurecido.", (2016).
- [12] Norma IRAM 1680 Hormigones Preparación y curado en obra de sondas prismáticas para ensayos de resistencia a la flexión, (2016).
- [13] ISO 13528, "Statiscal methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison", (2015)
- [14] Neville A, Brooks J, "Tecnología del Concreto", Trillas, México, (1998), 77-98.
- [15] Aashto (1993). Aashto Guide For Design Of Pavement Structures.: [Https://Habib00ugm.Files.Wordpress.Com/2010/05/Aashto1993.Pdf](https://Habib00ugm.Files.Wordpress.Com/2010/05/Aashto1993.Pdf)
- [16] ISO 5725, "Parts 1-6 Accuracy (Trueness and precision) of measurement methods and results", (1994).
- [17] Report ACI Committee 214, "Recommended Practice for Evaluation of Stregth Test Results of Concrete", ACI International, (2018), 214-1.