

# Informe de resultados Ronda Interlaboratorial 2016

---

## ENSAYOS AL CONCRETO

Actividad coordinada por:  
INSTITUTO COSTARRICENSE DEL CEMENTO Y EL CONCRETO



# Contenido

Introducción .....	3
Coordinación .....	3
Actividades subcontratadas .....	3
Confidencialidad .....	4
Descripción de los ensayos .....	5
Ejecución de los ensayos.....	5
Análisis estadísticos realizados.....	7
Documentos de referencia.....	7
Resultados .....	8
1. Resultados del análisis de datos del ensayo de resistencia a la compresión del concreto en cilindros de 100 mm x 200 mm. ....	8
1.1. Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) $f'c$ 100 mm x 200 mm .....	8
1.2. Prueba de Grubbs para valores inconsistentes $f'c$ 100 mm x 200 mm .....	9
1.3. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov $f'c$ 100 mm x 200 mm .....	9
1.4. Dispersión de los resultados $f'c$ 100 mm x 200 mm .....	9
1.5. Estadística robusta $f'c$ 100 mm x 200 mm .....	9
1.6. Puntaje z $f'c$ 100 mm x 200 mm .....	10
2. Resultados del análisis de datos del ensayo de resistencia a la compresión del concreto en cilindros de 150 mm x 300 mm. ....	11
2.1. Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) $f'c$ 150 mm x 300 mm .....	11
2.2. Dispersión de los resultados $f'c$ 150 mm x 300 mm .....	12
2.3. Estadística robusta $f'c$ 150 mm x 300 mm .....	12
2.4. Puntaje z $f'c$ 150 mm x 300 mm .....	13
3. Resultados del análisis de datos del ensayo de módulo de ruptura del concreto.....	14
3.1. Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) módulo de ruptura .....	14
3.2. Prueba de Grubbs para valores inconsistentes módulo de ruptura.....	15
3.3. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov módulo de ruptura .....	15
3.4. Dispersión de los resultados módulo de ruptura .....	15
3.5. Estadística robusta módulo de ruptura .....	15
3.6. Puntaje z módulo de ruptura .....	16
4. Resultados del análisis de datos del ensayo de asentamiento del concreto.....	17
4.1. Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) asentamiento .....	17
4.2. Prueba de Grubbs para valores inconsistentes asentamiento.....	18

4.3.	Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov asentamiento .....	18
4.4.	Dispersión de los resultados asentamiento .....	18
4.5.	Estadística robusta asentamiento .....	18
4.6.	Puntaje z asentamiento .....	19
5.	Resultados del análisis de datos del ensayo de temperatura del concreto. ....	20
5.1.	Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) temperatura.....	20
5.2.	Prueba de Grubbs para valores inconsistentes temperatura .....	21
5.3.	Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov temperatura .....	21
5.4.	Dispersión de los resultados temperatura.....	21
5.5.	Estadística robusta temperatura .....	21
5.6.	Puntaje z temperatura.....	22
6.	Resultados del análisis de datos del ensayo de contenido de aire del concreto.....	23
6.1.	Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) contenido de aire .....	23
6.2.	Prueba de Grubbs para valores inconsistentes contenido de aire.....	24
6.3.	Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov contenido de aire.....	24
6.4.	Dispersión de los resultados contenido de aire .....	24
6.5.	Estadística robusta contenido de aire .....	24
6.6.	Puntaje z contenido de aire .....	25
7.	Resultados del análisis de datos del ensayo de densidad del concreto.....	26
7.1.	Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) densidad .....	26
7.2.	Prueba de Grubbs para valores inconsistentes densidad.....	27
7.3.	Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov densidad.....	27
7.4.	Dispersión de los resultados densidad .....	27
7.5.	Estadística robusta densidad.....	27
7.6.	Puntaje z densidad.....	28
	Análisis de Resultados.....	29
	Comentarios del proveedor de ensayos, basados en los resultados de la ronda .....	31
	Anexo 1. Análisis de homogeneidad de la muestra.....	36
	Anexo 2. Pruebas estadísticas realizadas a los resultados de los laboratorios .....	37
	Anexo 3 Contactos.....	40

---

# RONDA DE COMPARACIÓN DE APTITUD INTERLABORATORIAL EN ENSAYOS AL CONCRETO

---

## Introducción

Este programa de comparación de aptitud interlaboratorial fue organizado por el Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto (ICCYC), e incluye ensayos al concreto en estado fresco y endurecido.

El objetivo de este programa, es proveer a los laboratorios que realizan ensayos físicos al concreto, un medio para participar en ensayos de aptitud interlaboratorial. Está dirigido tanto a laboratorios acreditados como no acreditados.

Este programa tiene como fin, mejorar la confiabilidad de los resultados de los diferentes laboratorios, hacer el seguimiento a métodos establecidos y proveer confianza adicional a sus clientes. También, se busca facilitar los criterios objetivos para los procesos de acreditación de los laboratorios, ya que el programa es aceptado por la Entidad Costarricense de Acreditación (ECA). Además, se busca promover este tipo de ensayos, como una herramienta para el aseguramiento interno de la calidad.

## Coordinación

La coordinación general de los ensayos, está a cargo del Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto (ICCYC), quien puede delegar tareas específicas a otras entidades especializadas.

Coordinadora de la ronda de aptitud interlaboratorial: Ing. Irene Campos Gómez, Directora Ejecutiva del ICCYC.

Persona que emite este informe: Ing. Gabriela Araya Mendoza, encargada por parte del ICCYC, de la organización de las actividades propias de la ronda de interlaboratoriales.

Fecha de emisión del informe final: **29 de agosto de 2016**

Número de informe: **033-2016**

Número de páginas: **40**

## Actividades subcontratadas

Dentro de las actividades subcontratadas para la ronda interlaboratorial se encuentran: el concreto premezclado, la ejecución de las pruebas de trabajabilidad y homogeneidad del concreto y el análisis estadístico. A continuación, se detalla sobre cada una de las actividades subcontratadas mencionadas.

**Concreto premezclado:**

El concreto utilizado para realizar las pruebas fue suministrado por Grupo Orosi.

**Pruebas homogeneidad del concreto:**

Según la norma INTE ISO/IEC 17043:2010, en toda prueba de aptitud interlaboratorial, se deben establecer criterios para la apropiada homogeneidad y estabilidad de diferentes factores, que puedan tener efecto sobre los resultados y la evaluación del desempeño de los participantes.

Se establecieron como parámetros dos propiedades físicas del concreto: la densidad y el contenido de aire. Se realizaron seis pruebas para determinar la variación de cada uno de los parámetros escogidos. Las pruebas se distribuyeron de manera uniforme a lo largo de la toma de muestra de los diferentes laboratorios, realizándose una prueba previa, una posterior y cuatro intercaladas en el muestreo de la totalidad de los laboratorios participantes. Esta actividad fue subcontratada al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (Lanamme UCR).

**Análisis estadístico:**

El análisis estadístico para los resultados de las pruebas y los de homogeneidad de la muestra, lo realizó, mediante subcontrato, el Lic. Eric Romero Blanco.

## **Confidencialidad**

Cada laboratorio participante, recibió un código por parte de ICCYC, para mantener la confidencialidad de los resultados. Se asignaron de manera aleatoria letras mayúsculas. Los códigos fueron entregados en sobres cerrados a cada laboratorio, de manera que la información quedara fuera del alcance del resto de participantes.

## Descripción de los ensayos

### Ensayos de comparación de aptitud interlaboratorial

Norma INTE	Norma ASTM	Título
INTE 06-01-05	ASTM C172	Norma para el muestreo de concreto recién mezclado
INTE 06-02-06	ASTM C1064	Método de ensayo para la medición de la temperatura de concreto con cemento hidráulico recién mezclado
INTE 06-02-03	ASTM C143	Método de ensayo para el asentamiento en el concreto del cemento hidráulico
INTE 06-02-01	ASTM C39	Método de ensayo para la resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto
INTE 06-02-37	ASTM C138	Método para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire en el concreto por el método gravimétrico.
INTE 06-02-04	ASTM C231	Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco por el método de presión
INTE 06-02-08	ASTM C78	Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (usando una viga simple con carga en los tercios medios)

### Ensayos para determinar la homogeneidad

Norma INTE	Norma ASTM	Título
INTE 06-02-37	ASTM C138	Método para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico
INTE 06-02-04	ASTM C231	Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco por el método de presión

## Ejecución de los ensayos

Se dio la indicación a los laboratorios de dar tratamiento a la muestra entregada como lo dan a cualquier otra muestra. Esto, con el propósito de que los resultados sean representativos de las labores diarias de los laboratorios.

Cada laboratorio utilizó su propio equipo para realizar los ensayos, tanto los de campo como los de laboratorio. El orden de los laboratorios para el muestreo fue aleatorio y se determinó en el momento previo a la entrega de la muestra, frente a los participantes. Debido a la naturaleza de la actividad, no se utilizó una muestra compuesta.

Una vez entregadas las muestras, cada laboratorio procedió a realizar los ensayos en los que participó, en un área de trabajo previamente asignada. Una vez moldeados los especímenes, se mantuvieron protegidos de la intemperie por un periodo de aproximadamente 24 horas, para luego ser retirados por los laboratorios. Todos los especímenes fueron fallados al cabo de 28 días.

Los resultados de los ensayos se reportaron en un formato previamente establecido y fueron recibidos por el ICCYC, por medio de correo electrónico en un archivo no modificable (.pdf). El ICCYC, entregó dichos resultados al profesional responsable del análisis estadístico.



Fotografía 1. Instalaciones donde se realizó la ronda interlaboratorial.



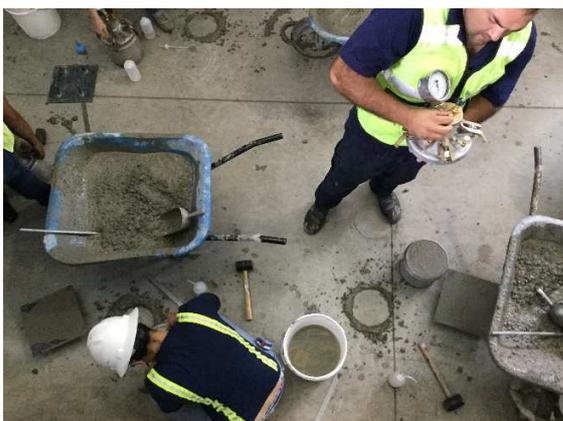
Fotografía 2. Entrega de la muestra.



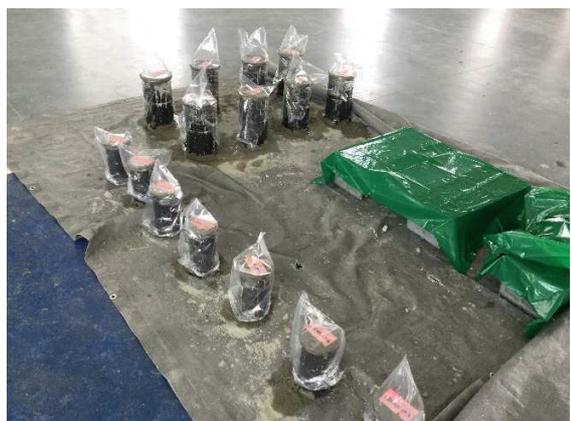
Fotografía 3. Área de trabajo asignada a un laboratorio.



Fotografía 4. Ensayo de asentamiento.



Fotografía 5. Pruebas de homogeneidad.



Fotografía 6. Protección de especímenes moldeados.

## Análisis estadísticos realizados

1. Análisis de consistencia de datos (prueba h de Mandel).
2. Análisis de datos extremos (prueba de Grubbs + prueba de normalidad).
3. Estimación del puntaje z.
4. Análisis de homogeneidad y de muestras.

## Documentos de referencia

1. Conformity assessment - General requirements for proficiency testing, ISO/IEC 17043:2010 (E).
2. Standard Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method, ASTM International, E 691-09.
3. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons, ISO 13528:2005.
4. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method, ISO 5725-2:1994 (E).

## Resultados

La información presentada a continuación, que incluye los resultados de las pruebas interlaboratoriales y su respectivo análisis estadístico, corresponde a una transcripción del informe presentado al ICCYC, por parte del responsable del análisis estadístico.

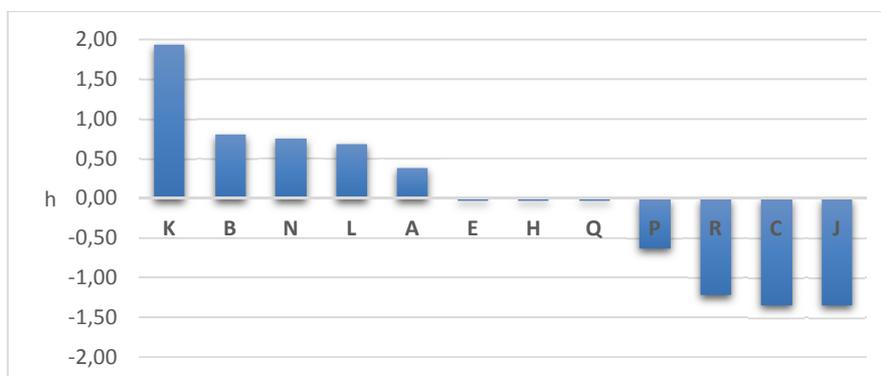
### 1. Resultados del análisis de datos del ensayo de resistencia a la compresión del concreto en cilindros de 100 mm x 200 mm.

#### 1.1. Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) $f'c$ 100 mm x 200 mm

**Tabla 1-1.** Prueba h de Mandel para el ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de cilindros de concreto de 100 mm x 200 mm, a los 28 días.

Laboratorio	$f'c$ 100x200 (MPa)	Desvío	h		
<b>K</b>	<b>38,8</b>	<b>3,26</b>	<b>1,94</b>	<b> h  &gt; h crítico</b>	Valor inconsistente
<b>B</b>	36,9	1,36	0,81	h  < h crítico	
<b>N</b>	36,8	1,26	0,75	h  < h crítico	
<b>L</b>	36,7	1,16	0,69	h  < h crítico	
<b>A</b>	36,2	0,66	0,39	h  < h crítico	
<b>E</b>	35,5	-0,04	-0,02	h  < h crítico	
<b>H</b>	35,5	-0,04	-0,02	h  < h crítico	
<b>Q</b>	35,5	-0,04	-0,02	h  < h crítico	
<b>P</b>	34,5	-1,04	-0,62	h  < h crítico	
<b>R</b>	33,5	-2,04	-1,21	h  < h crítico	
<b>C</b>	33,3	-2,24	-1,33	h  < h crítico	
<b>J</b>	33,3	-2,24	-1,33	h  < h crítico	

Promedio = 35.5 MPa  
Desv. Est. = 1.68 MPa  
CV = 4.73 %  
 $h_{\text{crít}}(0.05) = 1.83$



**Gráfico 1-1.** Prueba h de Mandel para el ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de cilindros de concreto de 100 mm x 200 mm, a los 28 días

### 1.2. Prueba de Grubbs para valores inconsistentes $f'c$ 100 mm x 200 mm

Laboratorio	$f'c$ (MPa)	Desvío	G	$G_{crit}(0.05)$	
<b>K</b>	38,8	3,26	1.94	2,29	$ G  < G_{crit}$ Valor no atípico

### 1.3. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov $f'c$ 100 mm x 200 mm

- $H_0$ : los resultados cumplen con una distribución normal.
- $H_1$ : los resultados no cumplen con una distribución normal.

Para la prueba de Kolmogorov-Smirnov se obtiene p-value > 0.150 (esto es > 0.05) por lo que se acepta  $H_0$  a un nivel de confianza del 95 %. Al realizar la prueba de normalidad no se consideró el valor inconsistente.

### 1.4. Dispersión de los resultados $f'c$ 100 mm x 200 mm



Gráfico 1-2. Dispersión de los resultados para el ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de cilindros de concreto de 100 mm x 200 mm, a los 28 días

### 1.5. Estadística robusta $f'c$ 100 mm x 200 mm

Promedio robusto =	35,5	MPa
Desv. Est. robusto =	1,79	MPa
CV robusto =	5,04	%

### 1.6. Puntaje z para $f'_c$ 100 mm x 200 mm

Tabla 1-2. Puntaje z para el ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de cilindros de concreto de 100 mm x 200 mm a los 28 días

Laboratorio	$f'_c$ 100x200 (MPa)	Desvío	Puntaje z	
K	38,8	3,30	1,84	Satisfactorio
B	36,9	1,40	0,78	Satisfactorio
N	36,8	1,30	0,73	Satisfactorio
L	36,7	1,20	0,67	Satisfactorio
A	36,2	0,70	0,39	Satisfactorio
E	35,5	0,00	0,00	Satisfactorio
H	35,5	0,00	0,00	Satisfactorio
Q	35,5	0,00	0,00	Satisfactorio
P	34,5	-1,00	-0,56	Satisfactorio
R	33,5	-2,00	-1,12	Satisfactorio
C	33,3	-2,20	-1,23	Satisfactorio
J	33,3	-2,20	-1,23	Satisfactorio

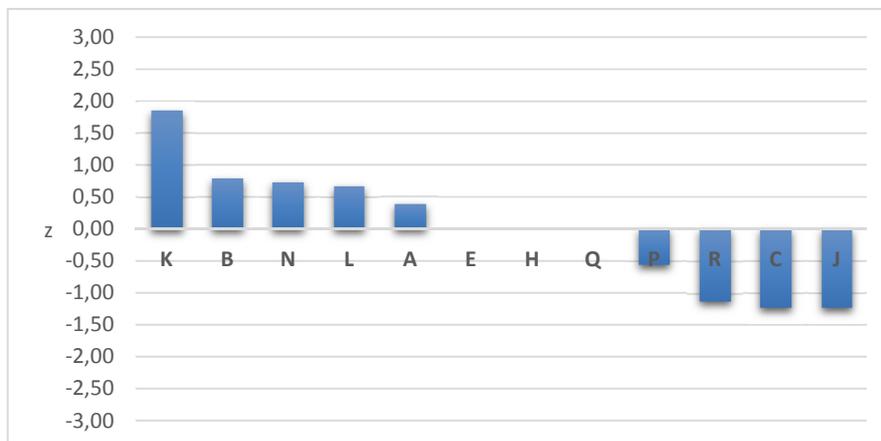


Gráfico 1-3. Puntaje z para el ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de cilindros de concreto de 100 mm x 200 mm, a los 28 días

## 2. Resultados del análisis de datos del ensayo de resistencia a la compresión del concreto en cilindros de 150 mm x 300 mm.

### 2.1. Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) $f'c$ 150 mm x 300 mm

**Tabla 2-1.** Prueba h de Mandel para el ensayo para la resistencia a la compresión uniaxial de cilindros de concreto de 150 mm x 300 mm, a los 28 días

Laboratorio	$f'c$ 150x300 (MPa)	Desvío	h	
K	37,4	3,08	1,59	h  < h crítico
B	36,2	1,88	0,97	h  < h crítico
M	36,1	1,78	0,92	h  < h crítico
G	36,0	1,68	0,87	h  < h crítico
Q	36,0	1,68	0,87	h  < h crítico
L	35,3	0,98	0,51	h  < h crítico
S	35,3	0,98	0,51	h  < h crítico
H	35,2	0,88	0,45	h  < h crítico
E	34,6	0,28	0,15	h  < h crítico
P	34,4	0,08	0,04	h  < h crítico
N	34,3	-0,02	-0,01	h  < h crítico
F	34,0	-0,32	-0,16	h  < h crítico
J	32,4	-1,92	-0,99	h  < h crítico
O	32,4	-1,92	-0,99	h  < h crítico
D	31,7	-2,62	-1,35	h  < h crítico
C	31,3	-3,02	-1,55	h  < h crítico
R	30,8	-3,52	-1,81	h  < h crítico

Promedio= 34,3 MPa

Desv est = 1,94 MPa

CV= 5,66 %

$h_{crit}$ = 1,87

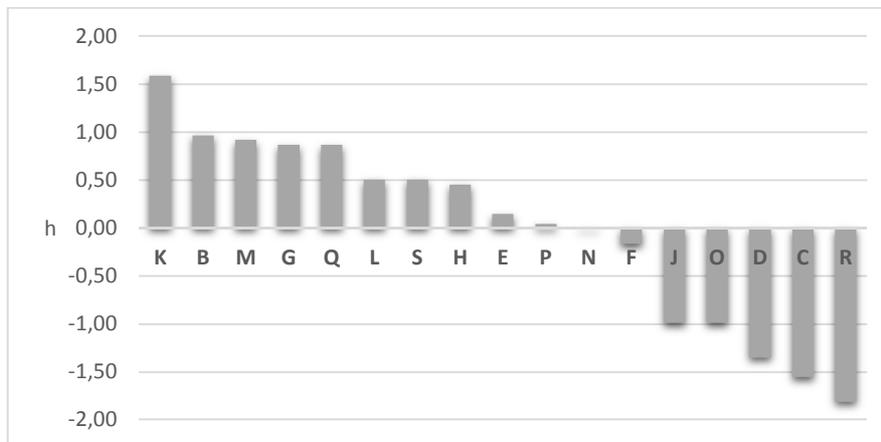


Gráfico 2-1. Prueba h de Mandel para el ensayo para la resistencia a la compresión uniaxial de cilindros de concreto de 150 mm x 300 mm, a los 28 días.

### 2.2. Dispersión de los resultados $f'_c$ 150 mm x 300 mm

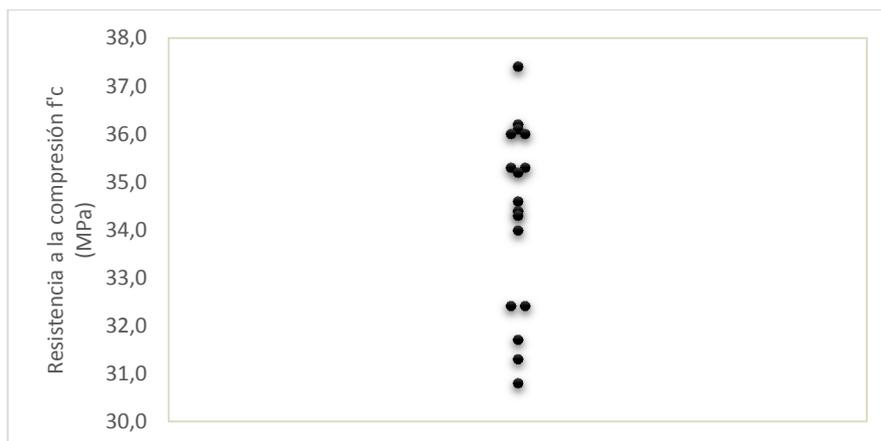


Gráfico 2-2. Dispersión de los resultados para el ensayo para la resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto de 150 mm x 300 mm, a los 28 días

### 2.3. Estadística robusta $f'_c$ 150 mm x 300 mm

Promedio robusto= 34,3 MPa

Desv. Est. robusta = 2,17 MPa

CV robusto= 6,33 %

### 2.4. Puntaje z f'c 150 mm x 300 mm

Tabla 2-2. Puntaje z para el ensayo para la resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto de 150 mm x 300 mm a los 28 días

Laboratorio	f'c 100x200 (MPa)	Desvío	z	
K	37,4	3,10	1,43	Satisfactorio
B	36,2	1,90	0,88	Satisfactorio
M	36,1	1,80	0,83	Satisfactorio
G	36,0	1,70	0,78	Satisfactorio
Q	36,0	1,70	0,78	Satisfactorio
L	35,3	1,00	0,46	Satisfactorio
S	35,3	1,00	0,46	Satisfactorio
H	35,2	0,90	0,41	Satisfactorio
E	34,6	0,30	0,14	Satisfactorio
P	34,4	0,10	0,05	Satisfactorio
N	34,3	0,00	0,00	Satisfactorio
F	34,0	-0,30	-0,14	Satisfactorio
J	32,4	-1,90	-0,88	Satisfactorio
O	32,4	-1,90	-0,88	Satisfactorio
D	31,7	-2,60	-1,20	Satisfactorio
C	31,3	-3,00	-1,38	Satisfactorio
R	30,8	-3,50	-1,61	Satisfactorio

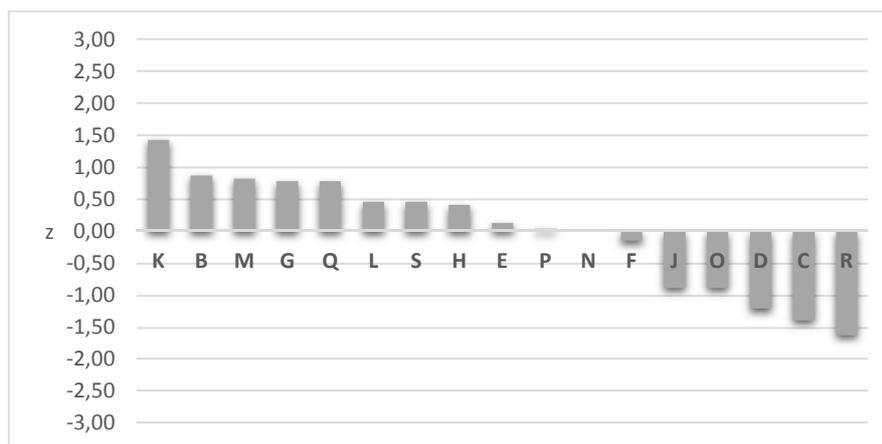


Gráfico 2-3. Puntaje z para el ensayo para la resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto de 150 mm x 300 mm, a los 28 días

### 3. Resultados del análisis de datos del ensayo de módulo de ruptura del concreto.

#### 3.1. Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) módulo de ruptura

Tabla 3-1. Prueba h de Mandel para el ensayo del módulo de ruptura de vigas de concreto, a los 28 días.

Laboratorio	MR (MPa)	Desvío	h		
<b>C</b>	<b>6,40</b>	<b>1,89</b>	<b>2,64</b>	<b> h  &gt; h crítico</b>	Valor inconsistente
N	4,70	0,19	0,26	h  < h crítico	
<b>H</b>	<b>4,60</b>	<b>0,09</b>	<b>0,12</b>	<b> h  &lt; h crítico</b>	
J	4,60	0,09	0,12	h  < h crítico	
<b>Q</b>	<b>4,60</b>	<b>0,09</b>	<b>0,12</b>	<b> h  &lt; h crítico</b>	
O	4,55	0,04	0,05	h  < h crítico	
<b>P</b>	<b>4,40</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,16</b>	<b> h  &lt; h crítico</b>	
R	4,30	-0,21	-0,30	h  < h crítico	
<b>A</b>	<b>4,00</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,72</b>	<b> h  &lt; h crítico</b>	
L	3,80	-0,71	-1,00	h  < h crítico	
<b>E</b>	<b>3,70</b>	<b>-0,81</b>	<b>-1,14</b>	<b> h  &lt; h crítico</b>	

Promedio= 4,51 MPa  
Desv est = 0,715 MPa  
CV= 15,84 %  
hcrít= 1,82

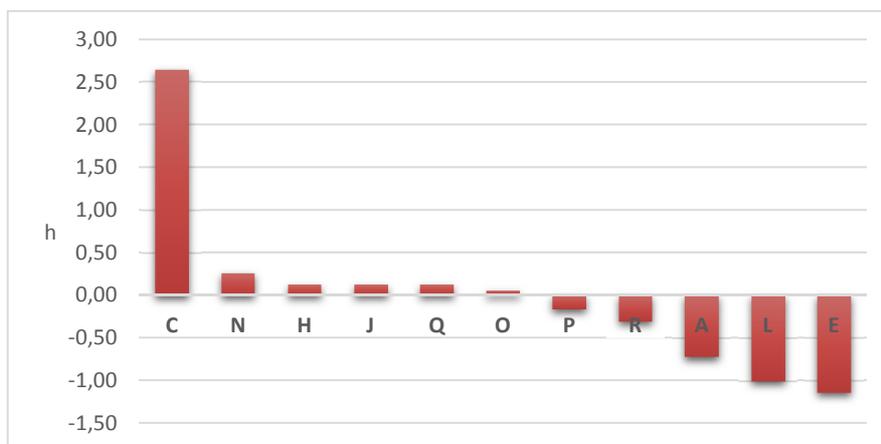


Gráfico 3-1. Prueba h de Mandel para el ensayo del módulo de ruptura de vigas de concreto, a los 28 días.

### 3.2. Prueba de Grubbs para valores inconsistentes módulo de ruptura

Laboratorio	f'c (MPa)	Desvío	G	G <sub>crit</sub> (0.05)	
<b>C</b>	6.40	1.89	2.64	<b>2,23</b>	G  > G <sub>crit</sub> Valor atípico

### 3.3. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov módulo de ruptura

- H<sub>0</sub>: los resultados cumplen con una distribución normal.
- H<sub>1</sub>: los resultados no cumplen con una distribución normal.

Para la prueba de Kolmogorov-Smirnov se obtiene p-value = 0.131 (> 0.05) por lo que se acepta H<sub>0</sub> a un nivel de confianza del 95 %. Al realizar la prueba no se consideró el valor inconsistente.

### 3.4. Dispersión de los resultados módulo de ruptura

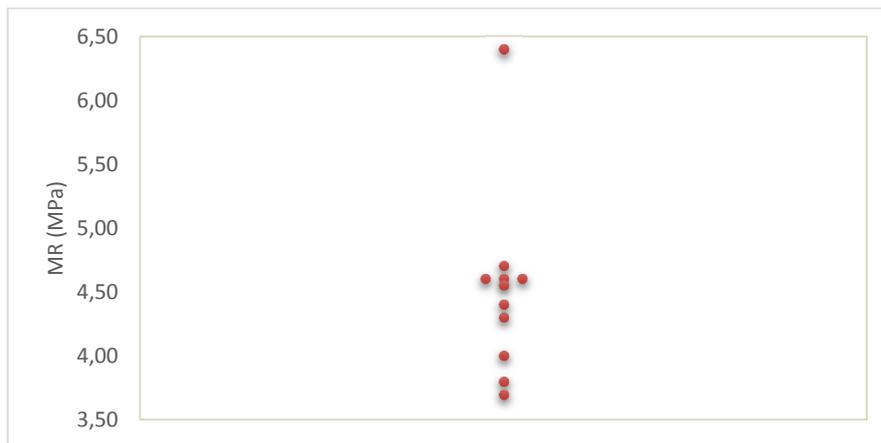


Gráfico 3-2. Dispersión de los resultados para el ensayo para determinar el módulo de ruptura de vigas de concreto, a los 28 días.

### 3.5. Estadística robusta módulo de ruptura

Promedio robusto =	4.39	MPa
Desv. Est. robusta =	0.475	MPa
CV robusto =	10.82	%

### 3.6. Puntaje z módulo de ruptura

Tabla 3-2. Puntaje z para el ensayo del módulo de ruptura de vigas de concreto, a los 28 días.

Laboratorio	MR (MPa)	Desvío	z	
<b>C</b>	<b>6,40</b>	<b>2,01</b>	<b>4,23</b>	<b>No satisfactorio</b>
N	4,70	0,31	0,65	Satisfactorio
H	4,60	0,21	0,44	Satisfactorio
J	4,60	0,21	0,44	Satisfactorio
Q	4,60	0,21	0,44	Satisfactorio
O	4,55	0,16	0,34	Satisfactorio
P	4,40	0,01	0,02	Satisfactorio
R	4,30	-0,09	-0,19	Satisfactorio
A	4,00	-0,39	-0,82	Satisfactorio
L	3,80	-0,59	-1,24	Satisfactorio
E	3,70	-0,69	-1,45	Satisfactorio

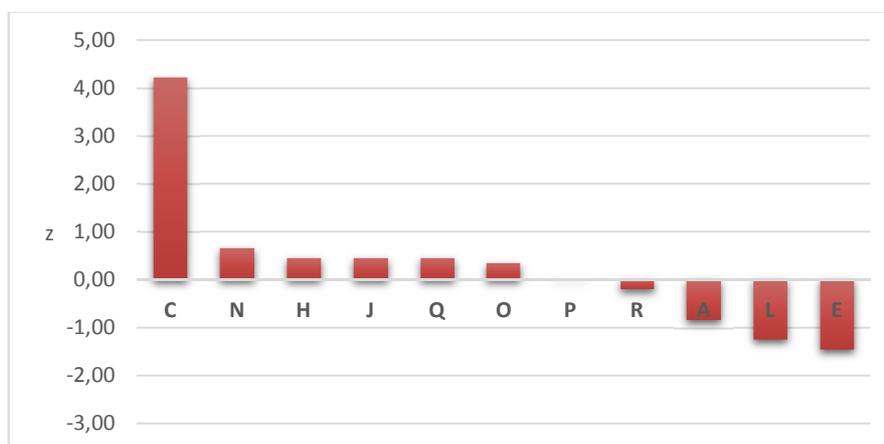


Gráfico 3-3. Puntaje z para el ensayo del módulo de ruptura de vigas de concreto, a los 28 días.

## 4. Resultados del análisis de datos del ensayo de asentamiento del concreto

### 4.1. Prueba *h* de Mandel (consistencia de resultados) asentamiento

Tabla 4-1. Prueba *h* de Mandel para el ensayo de revenimiento del concreto.

Laboratorio	Asentamiento (mm)	Desvío	<i>h</i>	
<b>P</b>	<b>230</b>	<b>28,9</b>	<b>2,07</b>	<b> h  &gt; h crítico</b>
<b>R</b>	220	18,9	1,35	h  < h crítico
<b>G</b>	215	13,9	1,00	h  < h crítico
<b>A</b>	210	8,9	0,64	h  < h crítico
<b>D</b>	210	8,9	0,64	h  < h crítico
<b>N</b>	210	8,9	0,64	h  < h crítico
<b>Q</b>	210	8,9	0,64	h  < h crítico
<b>C</b>	205	3,9	0,28	h  < h crítico
<b>E</b>	200	-1,1	-0,08	h  < h crítico
<b>I</b>	200	-1,1	-0,08	h  < h crítico
<b>J</b>	200	-1,1	-0,08	h  < h crítico
<b>K</b>	200	-1,1	-0,08	h  < h crítico
<b>M</b>	200	-1,1	-0,08	h  < h crítico
<b>H</b>	195	-6,1	-0,43	h  < h crítico
<b>O</b>	190	-11,1	-0,79	h  < h crítico
<b>F</b>	185	-16,1	-1,15	h  < h crítico
<b>S</b>	185	-16,1	-1,15	h  < h crítico
<b>B</b>	180	-21,1	-1,50	h  < h crítico
<b>L</b>	175	-26,1	-1,86	h  < h crítico

Valor inconsistente

Promedio = 201,1 mm  
Desv. Est. = 14,0 mm  
CV = 6,96 %  
 $h_{crit}(0.05) = 1.88$

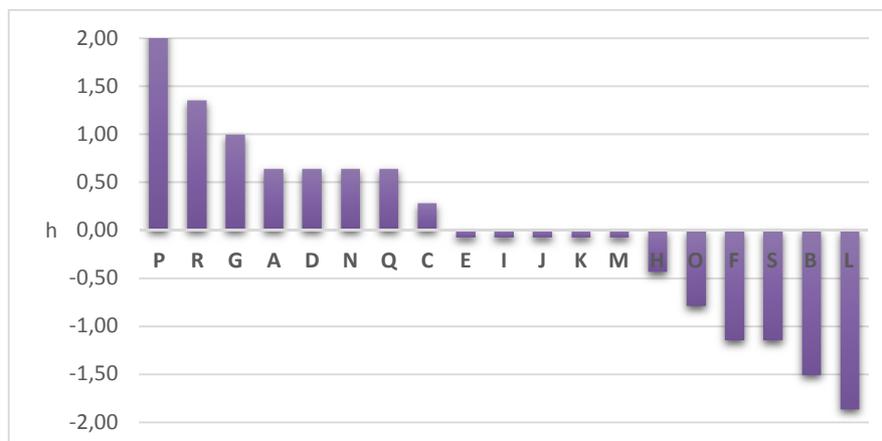


Gráfico 4-1. Prueba *h* de Mandel para el ensayo de asentamiento del concreto.

#### 4.2. Prueba de Grubbs para valores inconsistentes asentamiento

Laboratorio	Asentamiento (MPa)	Desvío	G	G <sub>crit</sub> (0.05)	
P	230	29.85	2.07	2,53	G  < G <sub>crit</sub> Valor no atípico

#### 4.3. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov asentamiento

- H<sub>0</sub>: los resultados cumplen con una distribución normal.
- H<sub>1</sub>: los resultados no cumplen con una distribución normal.

Para la prueba de Kolmogorov-Smirnov se obtiene p-value = 0.102 (> 0.05) por lo que se acepta H<sub>0</sub> a un nivel de confianza del 95 %. Al realizar la prueba no se consideró el valor inconsistente.

#### 4.4. Dispersión de los resultados asentamiento

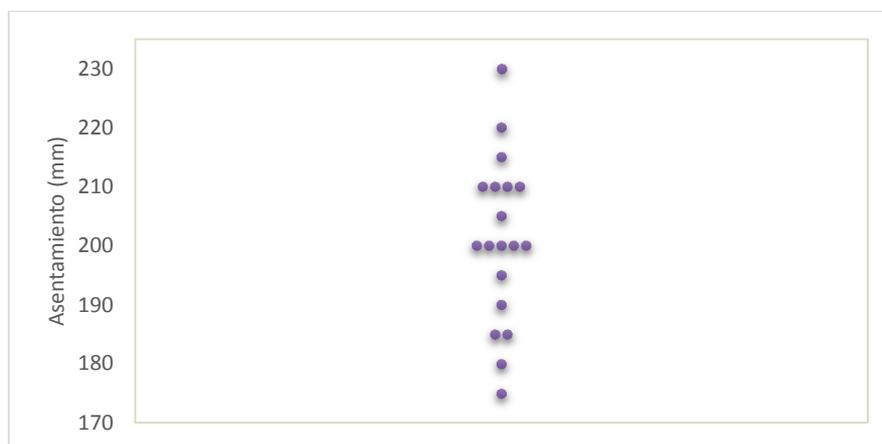


Gráfico 4-2. Dispersión de los resultados para el ensayo de asentamiento del concreto.

#### 4.5. Estadística robusta asentamiento

Promedio robusto=	200,9	mm
Desv. Est. Robusta=	14,6	mm
CV robusto=	7,27	%

#### 4.6. Puntaje z asentamiento

Tabla 4-2. Puntaje z para el ensayo de asentamiento del concreto.

Laboratorio	Asentamiento (mm)	Desvío	z	
P	230	29,10	1,99	Satisfactorio
R	220	19,10	1,31	Satisfactorio
G	215	14,10	0,97	Satisfactorio
A	210	9,10	0,62	Satisfactorio
D	210	9,10	0,62	Satisfactorio
N	210	9,10	0,62	Satisfactorio
Q	210	9,10	0,62	Satisfactorio
C	205	4,10	0,28	Satisfactorio
E	200	-0,90	-0,06	Satisfactorio
I	200	-0,90	-0,06	Satisfactorio
J	200	-0,90	-0,06	Satisfactorio
K	200	-0,90	-0,06	Satisfactorio
M	200	-0,90	-0,06	Satisfactorio
H	195	-5,90	-0,40	Satisfactorio
O	190	-10,90	-0,75	Satisfactorio
F	185	-15,90	-1,09	Satisfactorio
S	185	-15,90	-1,09	Satisfactorio
B	180	-20,90	-1,43	Satisfactorio
L	175	-25,90	-1,77	Satisfactorio

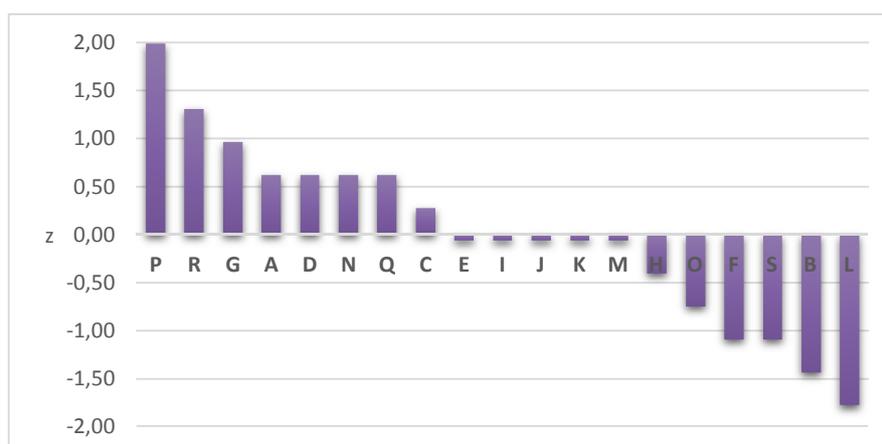


Gráfico 4-3. Puntaje z para el ensayo de asentamiento del concreto.

## 5. Resultados del análisis de datos del ensayo de temperatura del concreto.

### 5.1. Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) temperatura

Tabla 5-1. Prueba h de Mandel para el ensayo temperatura del concreto.

Laboratorio	Temperatura (°C)	Desvío	h	
B	28,0	0,58	1,04	h  < h crítico
G	28,0	0,58	1,04	h  < h crítico
H	28,0	0,58	1,04	h  < h crítico
J	28,0	0,58	1,04	h  < h crítico
A	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
D	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
E	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
F	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
I	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
K	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
M	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
N	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
Q	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
R	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
S	27,5	0,08	0,14	h  < h crítico
L	27,0	-0,42	-0,75	h  < h crítico
O	27,0	-0,42	-0,75	h  < h crítico
P	27,0	-0,42	-0,75	h  < h crítico
C	25,5	-1,92	-3,43	h  > h crítico

Valor inconsistente

Promedio= 27,4 °C  
Desv est = 0,56 °C  
CV= 2,04 %  
h<sub>crít</sub>= 1,88

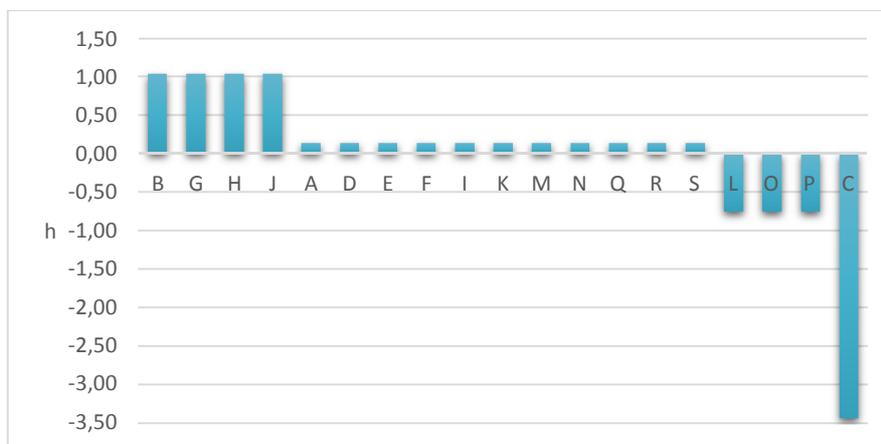


Gráfico 5-1. Prueba h de Mandel para el ensayo de temperatura del concreto.

### 5.2. Prueba de Grubbs para valores inconsistentes temperatura

Laboratorio	Temperatura °C	Desvío	G	G <sub>crit</sub> (0.05)	
C	25.5	-1.92	-3.43	2,53	G >Gcrit Valor atípico

### 5.3. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov temperatura

En este caso el resultado de la prueba de normalidad no es válido -y no aplica- debido a la concentración de los resultados en cuatro posibles valores. No obstante se procede con la prueba de Grubbs debido a que al analizar visualmente la distribución de los resultados, se determina un comportamiento simétrico -cercano al normal- con la presencia de un resultado que se aleja de la tendencia general.

### 5.4. Dispersión de los resultados temperatura

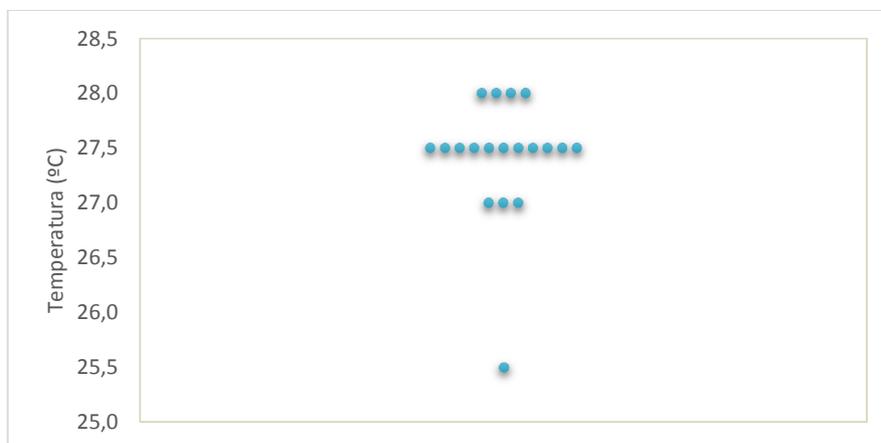


Gráfico 5-2. Dispersión de los resultados para el ensayo de temperatura del concreto

### 5.5. Estadística robusta temperatura

Promedio robusto=	27,5	°C
Desv. Est. robusto=	0,37	°C
CV robusto=	1,35	%

### 5.6. Puntaje z temperatura

Tabla 5-2. Puntaje z para el ensayo de temperatura del concreto.

Laboratorio	Temperatura (°C)	Desvío	z	
B	28,0	0,50	1,35	Satisfactorio
G	28,0	0,50	1,35	Satisfactorio
H	28,0	0,50	1,35	Satisfactorio
J	28,0	0,50	1,35	Satisfactorio
A	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
D	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
E	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
F	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
I	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
K	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
M	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
N	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
Q	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
R	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
S	27,5	0,00	0,00	Satisfactorio
L	27,0	-0,50	-1,35	Satisfactorio
O	27,0	-0,50	-1,35	Satisfactorio
P	27,0	-0,50	-1,35	Satisfactorio
C	25,5	-2,00	-5,41	No satisfactorio



Gráfico 5-3. Puntaje z para el ensayo de temperatura del concreto.

## 6. Resultados del análisis de datos del ensayo de contenido de aire del concreto.

### 6.1. Prueba *h* de Mandel (consistencia de resultados) contenido de aire

Tabla 6-1. Prueba *h* de Mandel para el ensayo de temperatura del concreto recién mezclado.

Laboratorio	Contenido de aire (%)	Desvío	<i>h</i>		
<b>R</b>	<b>1,6</b>	<b>0,52</b>	<b>2,23</b>	<b> h  &gt; h crítico</b>	Valor inconsistente
B	1,3	0,22	0,95	h  < h crítico	
L	1,3	0,22	0,95	h  < h crítico	
A	1,2	0,12	0,52	h  < h crítico	
E	1,1	0,02	0,10	h  < h crítico	
N	1,1	0,02	0,10	h  < h crítico	
I	1,0	-0,08	-0,33	h  < h crítico	
J	1,0	-0,08	-0,33	h  < h crítico	
P	1,0	-0,08	-0,33	h  < h crítico	
Q	1,0	-0,08	-0,33	h  < h crítico	
H	0,9	-0,18	-0,75	h  < h crítico	
C	0,8	-0,28	-1,18	h  < h crítico	
O	0,7	-0,38	-1,60	h  < h crítico	

Promedio = 1,1 %  
 Desv. Est. = 0,24 %  
 CV = 21,83 %  
 $h_{crit}(0.05) = 1,84$

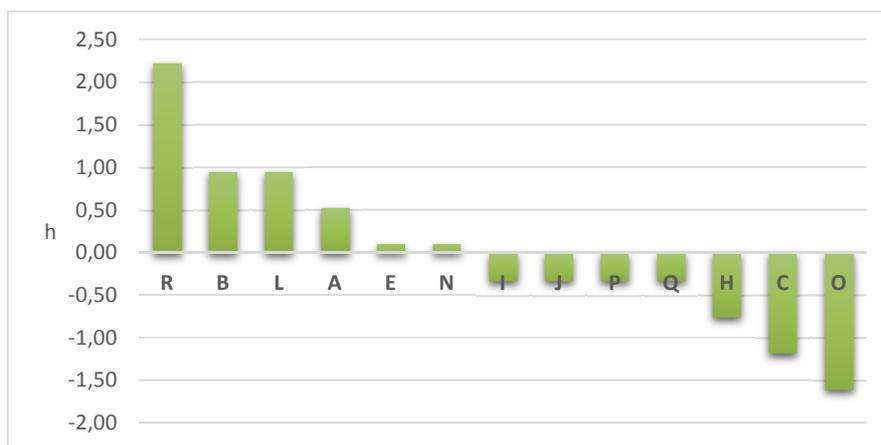


Gráfico 6-1. Prueba *h* de Mandel para el ensayo de contenido de aire del concreto.

### 6.2. Prueba de Grubbs para valores inconsistentes contenido de aire

Laboratorio	Contenido de aire %	Desvío	G	G <sub>crit</sub> (0.05)	
<b>R</b>	1.6	0.52	2.23	2,33	G  < G <sub>crit</sub> Valor no atípico

### 6.3. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov contenido de aire

- H<sub>0</sub>: los resultados cumplen con una distribución normal.
- H<sub>1</sub>: los resultados no cumplen con una distribución normal.

Para la prueba de Kolmogorov-Smirnov se obtiene p-value > 0.05 por lo que se acepta H<sub>0</sub> a un nivel de confianza del 95 %. Al realizar la prueba no se consideró el valor inconsistente.

### 6.4. Dispersión de los resultados contenido de aire



Gráfico 6-2. Dispersión de los resultados del ensayo de contenido de aire del concreto.

### 6.5. Estadística robusta contenido de aire

Promedio robusto =	1,1	%
Desv. Est. robusto =	0,23	%
CV robusto =	21,23	%

### 6.6. Puntaje z contenido de aire

Tabla 6-2. Puntaje z para los resultados del ensayo de contenido de aire.

Laboratorio	Contenido de aire (%)	Desvío	z	
<b>R</b>	1,6	0,54	2,40	Cuestionable
<b>B</b>	1,3	0,24	1,07	Satisfactorio
<b>L</b>	1,3	0,24	1,07	Satisfactorio
<b>A</b>	1,2	0,14	0,62	Satisfactorio
<b>E</b>	1,1	0,04	0,18	Satisfactorio
<b>N</b>	1,1	0,04	0,18	Satisfactorio
<b>I</b>	1,0	-0,06	-0,27	Satisfactorio
<b>J</b>	1,0	-0,06	-0,27	Satisfactorio
<b>P</b>	1,0	-0,06	-0,27	Satisfactorio
<b>Q</b>	1,0	-0,06	-0,27	Satisfactorio
<b>H</b>	0,9	-0,16	-0,71	Satisfactorio
<b>C</b>	0,8	-0,26	-1,16	Satisfactorio
<b>O</b>	0,7	-0,36	-1,60	Satisfactorio



Gráfico 6-3. Puntaje z para los resultados del ensayo de contenido de aire.

## 7. Resultados del análisis de datos del ensayo de densidad del concreto.

### 7.1. Prueba h de Mandel (consistencia de resultados) densidad

Tabla 7-1. Prueba h de Mandel para los resultados del ensayo densidad del concreto.

Laboratorio	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Desvío		h	
<b>O</b>	<b>2604</b>	<b>240,2</b>	<b>3,29</b>	<b> h  &gt; h crítico</b>	Valor inconsistente
<b>E</b>	2360	-3,8	-0,05	h  < h crítico	
<b>I</b>	2353	-10,8	-0,15	h  < h crítico	
<b>J</b>	2351	-12,8	-0,18	h  < h crítico	
<b>N</b>	2351	-12,8	-0,18	h  < h crítico	
<b>R</b>	2350	-13,8	-0,19	h  < h crítico	
<b>Q</b>	2348	-15,8	-0,22	h  < h crítico	
<b>L</b>	2346	-17,8	-0,24	h  < h crítico	
<b>H</b>	2344	-19,8	-0,27	h  < h crítico	
<b>P</b>	2340	-23,8	-0,33	h  < h crítico	
<b>A</b>	2337	-26,8	-0,37	h  < h crítico	
<b>C</b>	2326	-37,8	-0,52	h  < h crítico	
<b>B</b>	2320	-43,8	-0,60	h  < h crítico	

Promedio= 2364 kg/m<sup>3</sup>  
 Desv est = 73,0 kg/m<sup>3</sup>  
 CV= 3,09 %  
 h<sub>crít</sub>= 1,84

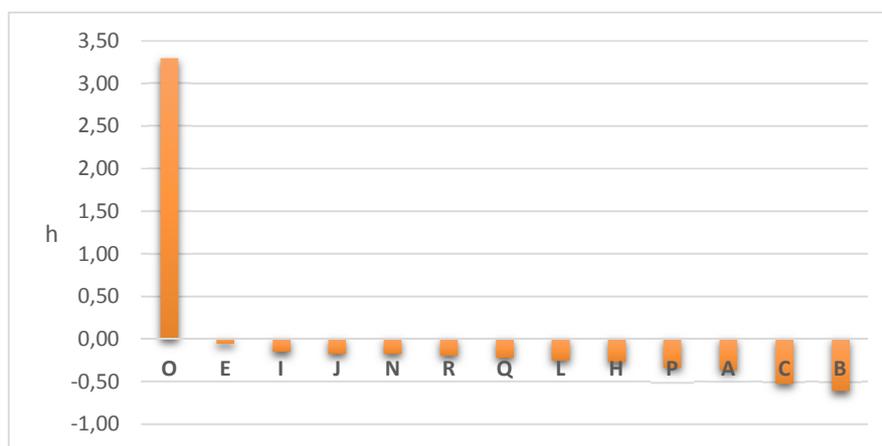


Gráfico 7-1. Prueba h de Mandel para los resultados del ensayo para determinar la densidad del concreto

### 7.2. Prueba de Grubbs para valores inconsistentes densidad

Laboratorio	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Desvío	G	G <sub>crit</sub> (0.05)	
0	2604	240,15	3,29	2,33	G  > G <sub>crit</sub> Valor atípico

### 7.3. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov densidad

- H<sub>0</sub>: los resultados cumplen con una distribución normal.
- H<sub>1</sub>: los resultados no cumplen con una distribución normal.

Para la prueba de Kolmogorov-Smirnov se obtiene p-value > 0.05 por lo que se acepta H<sub>0</sub> a un nivel de confianza del 95 %. Al realizar la prueba no se consideró el valor inconsistente.

### 7.4. Dispersión de los resultados densidad

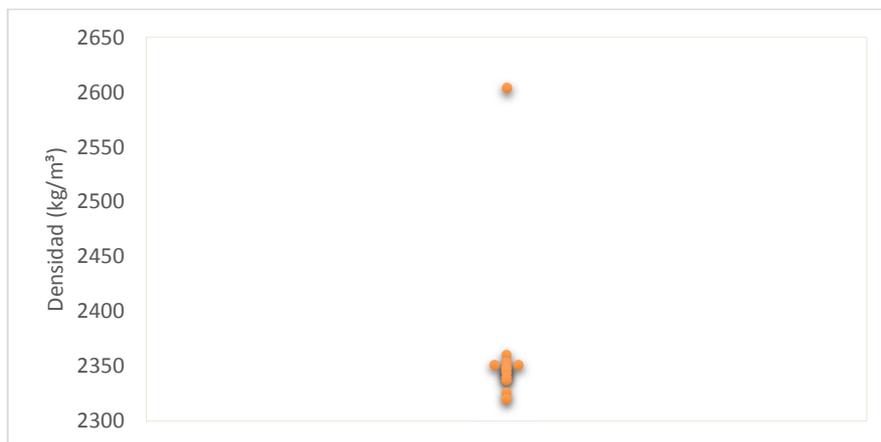


Gráfico 7-2. Dispersión de los resultados del ensayo para determinar la densidad del concreto

### 7.5. Estadística robusta densidad

Tabla 7-2. Estadística robusta para los resultados del ensayo para la determinación de la densidad del concreto.

Promedio robusto =	2346	kg/m <sup>3</sup>
Desv. Est. robusto =	13,0	kg/m <sup>3</sup>
CV robusto =	0,55	%

### 7.6. Puntaje z densidad

Tabla 7-3. Puntaje z para los resultados del ensayo para la determinación de la densidad del concreto.

Laboratorio	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Desvío	z	
<b>O</b>	<b>2604</b>	<b>258,0</b>	<b>19,85</b>	<b>No satisfactorio</b>
<b>E</b>	2360	14,0	1,08	Satisfactorio
<b>I</b>	2353	7,0	0,54	Satisfactorio
<b>J</b>	2351	5,0	0,38	Satisfactorio
<b>N</b>	2351	5,0	0,38	Satisfactorio
<b>R</b>	2350	4,0	0,31	Satisfactorio
<b>Q</b>	2348	2,0	0,15	Satisfactorio
<b>L</b>	2346	0,0	0,00	Satisfactorio
<b>H</b>	2344	-2,0	-0,15	Satisfactorio
<b>P</b>	2340	-6,0	-0,46	Satisfactorio
<b>A</b>	2337	-9,0	-0,69	Satisfactorio
<b>C</b>	2326	-20,0	-1,54	Satisfactorio
<b>B</b>	2320	-26,0	-2,00	Satisfactorio

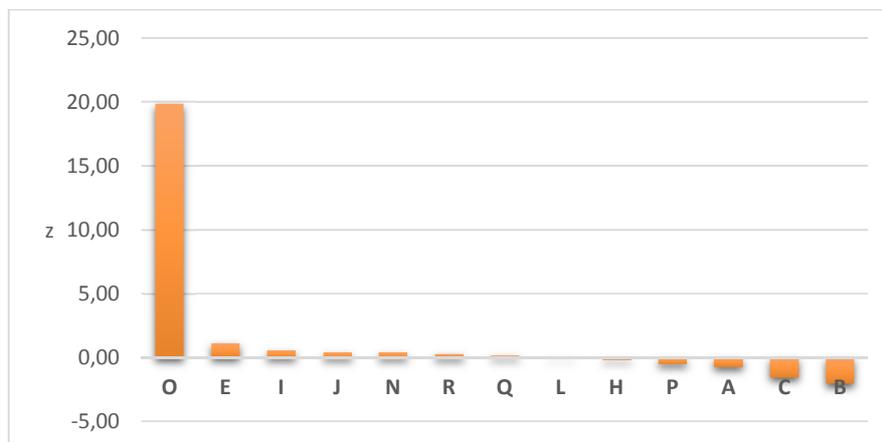


Gráfico 7-3. Puntaje z para los resultados del ensayo para la determinación de la densidad del concreto.

## Análisis de Resultados

La información presentada a continuación, que incluye el análisis de los resultados de las pruebas interlaboratoriales, corresponde a una transcripción textual del informe presentado al ICCYC, por parte del responsable del análisis estadístico.

### 1. Ensayo para la resistencia a la compresión uniaxial a los 28 días de especímenes cilíndricos de concreto (100 mm x 200 mm):

Mediante la prueba h de Mandel, se determinó que el resultado reportado por el laboratorio identificado con el código **K** es un valor inconsistente y de manera presuntiva un valor atípico.

Al aplicar la prueba de Grubbs se descarta que la desviación de este resultado sea significativa y por lo tanto no debe ser considerado como un valor atípico.

Lo anterior se verificó por medio del cálculo del puntaje z, el cual establece que todos los resultados reportados por los laboratorios participantes pueden clasificarse como satisfactorios y se encuentran distribuidos de forma simétrica alrededor del valor por consenso (promedio robusto).

### 2. Ensayo para la resistencia a la compresión uniaxial a los 28 días de especímenes cilíndricos de concreto (150 mm x 300 mm):

Para este ensayo, el estadístico h de Mandel mostró que todos los resultados reportados por los laboratorios se encuentran distribuidos de forma consistente alrededor del promedio, sin que se detecte la posible presencia de resultados atípicos.

Por su parte, el puntaje z calculado establece que todos los resultados reportados por los laboratorios participantes pueden clasificarse como satisfactorios y se encuentran distribuidos de forma simétrica alrededor del valor por consenso (promedio robusto).

### 3. Ensayo para el módulo de ruptura promedio a los 28 días de vigas de concreto:

Mediante la prueba h de Mandel, se determinó que el resultado reportado por el laboratorio identificado con el código **C** es un valor inconsistente y de manera presuntiva un valor atípico.

La presencia de este valor atípico se confirmó al aplicar la prueba de Grubbs.

Lo anterior se verificó mediante el puntaje z, el cual permitió identificar este valor como **no satisfactorio**. Para los demás laboratorios participantes los resultados reportados se confirman como satisfactorios.

### 4. Ensayo para el asentamiento en el concreto del cemento hidráulico:

Mediante la prueba h de Mandel, se determinó que el resultado reportado por el laboratorio identificado con el código **P** es un valor inconsistente y de manera presuntiva un valor atípico.

Al aplicar la prueba de Grubbs se descarta que la desviación de este resultado sea significativa y por lo tanto no debe ser considerado como un valor atípico.

Lo anterior se verificó por medio del cálculo del puntaje  $z$ , el cual establece que todos los resultados reportados por los laboratorios participantes pueden clasificarse como satisfactorios y se encuentran distribuidos de forma simétrica alrededor del valor por consenso (promedio robusto).

#### 5. Ensayo para la medición de temperatura del concreto recién mezclado con cemento hidráulico:

Mediante la prueba  $h$  de Mandel, se determinó que el resultado reportado por el laboratorio identificado con el código **C** es un valor inconsistente y de manera presuntiva un valor atípico.

La presencia del valor atípico se confirmó al aplicar la prueba de Grubbs.

Lo anterior se verificó mediante el cálculo del puntaje  $z$ , el cual permitió identificar este valor como **no satisfactorio**. Para los demás laboratorios participantes los resultados reportados se clasifican como satisfactorios.

#### 6. Ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto:

Mediante la prueba  $h$  de Mandel, se determinó que el resultado reportado por el laboratorio identificado con el código **R** es un valor inconsistente y de manera presuntiva un valor atípico.

Al aplicar la prueba de Grubbs se descarta que la desviación de este resultado sea significativa para ser considerado como un valor atípico.

Mediante el cálculo del puntaje  $z$ , se determina que este resultado debe ser clasificado como cuestionable. Por otro lado, el cálculo de este puntaje establece que los resultados reportados por los otros laboratorios participantes pueden clasificarse como satisfactorios y se encuentran distribuidos de forma simétrica.

#### 7. Ensayo para la determinación de la densidad del concreto:

Mediante la prueba  $h$  de Mandel, se determinó que el resultado reportado por el laboratorio identificado con el código **O** es un valor inconsistente y de manera presuntiva un valor atípico.

La presencia del valor atípico se confirmó al aplicar la prueba de Grubbs.

Lo anterior se verificó mediante el puntaje  $z$ , el cual permitió identificar este valor como **no satisfactorio**. Para los demás laboratorios participantes los resultados reportados se comportaron como satisfactorios y distribuidos alrededor del valor por consenso (promedio robusto) de manera simétrica.

# Comentarios del proveedor de ensayos, basados en los resultados de la ronda

## Homogeneidad de muestra

Se considera que la homogeneidad de la muestra que fue entregada a los participantes de la ronda fue la adecuada. Esto, debido a que el coeficiente de variación (CV) de los resultados de los ensayos de densidad y contenido de aire del concreto fresco, es menor que el “coeficiente de variación robusto” de los resultados de los participantes para cada uno de los ensayos. Tomando esto en cuenta, se descarta que la variabilidad de los resultados de los laboratorios en cada uno de los ensayos, se deba a efectos de heterogeneidad de la muestra. En el Anexo 1 se presentan los resultados de los ensayos de homogeneidad.

## Resultados de la ronda

A continuación, se presenta de manera resumida el desempeño de cada laboratorio.

Cuadro 1. Resultado del desempeño de los laboratorios en la ronda interlaboratorial.

Laboratorio	Desempeño			
	Ensayo	H de mandel	Prueba de Grubbs	Puntaje z
A	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio
B	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio
C	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor inconsistente	Valor atípico	No satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor inconsistente	Valor atípico	No satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio

Laboratorio	Desempeño			
	Ensayo	H de mandel	Prueba de Grubbs	Puntaje z
D	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
E	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio
F	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
G	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
H	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio
I	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio
J	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio

Laboratorio	Desempeño			
	Ensayo	H de mandel	Prueba de Grubbs	Puntaje z
<b>K</b>	f'c 100 x 200	Valor inconsistente	Valor no atípico	Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
<b>L</b>	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio
<b>M</b>	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
<b>N</b>	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio
<b>O</b>	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor inconsistente	Valor atípico	No satisfactorio
<b>P</b>	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor inconsistente	Valor no atípico	Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio

Laboratorio	Desempeño			
	Ensayo	H de mandel	Prueba de Grubbs	Puntaje z
<b>Q</b>	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor consistente		Satisfactorio
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio
<b>R</b>	f'c 100 x 200	Valor consistente		Satisfactorio
	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Módulo ruptura	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio
	Contenido de Aire	Valor inconsistente	Valor no atípico	Cuestionable
	Densidad	Valor consistente		Satisfactorio
<b>S</b>	f'c 150 x 300	Valor consistente		Satisfactorio
	Asentamiento	Valor consistente		Satisfactorio
	Temperatura	Valor consistente		Satisfactorio

Como se puede observar en el cuadro anterior, en todos los métodos de ensayo se presenta algún valor inconsistente. De los 19 laboratorios participantes, cuatro (**K**, **O**, **P**, **R**) reportaron un valor inconsistente, y un laboratorio (**C**) reportó dos valores inconsistentes. El laboratorio **R** reportó un valor cuestionable, según su puntaje z. El laboratorio **O** tuvo un desempeño no satisfactorio en el método de ensayo para determinar la densidad, mientras que el laboratorio **C** tuvo un desempeño no satisfactorio en los métodos para determinar el módulo de ruptura y la temperatura del concreto. Los valores de puntaje z para los dos casos no satisfactorios, se alejan considerablemente del valor límite.

En los métodos de ensayo en los que se presentaron valores inconsistentes, se aplicó la prueba estadística Kolmogorov-Smirnov para determinar la distribución normal de los datos. En todos los casos de presencia de datos inconsistentes, se aceptó la hipótesis de que los resultados reportados cumplen con una distribución normal, con excepción del ensayo de temperatura, en el cual los resultados se concentraban en muy pocos posibles valores. Para este caso, se procedió al análisis visual del gráfico de dispersión de los resultados, para verificar la tendencia general.

### Desempeño de los laboratorios

Con respecto al desempeño de los laboratorios, cabe destacar la anuencia a colaborar en la mejor ejecución de la actividad.

Dentro de los aspectos a mejorar, se puede mencionar, que algunos de los laboratorios reportaron valores, que no coinciden con el criterio de reporte establecido en las normas incluidas en el alcance de la ronda. Además, se identificó equipo, que a simple vista podría no cumplir con la normativa especificada.

Para prevenir este tipo de inconsistencias y un desempeño no satisfactorio, se recomienda a los laboratorios revisar las normas de los ensayos, y verificar por una parte, que el equipo cumpla con la normativa y por otra, seguir estrictamente el procedimiento y criterios detallados en las citadas normas de ensayo.

También instamos a los laboratorios que han participado en este programa en ocasiones anteriores, a que comparen su desempeño con el de otras rondas, en búsqueda de patrones o inconsistencias.

-----U.L.-----

---

Ing. Irene Campos Gómez  
Directora Ejecutiva ICCYC  
Coordinadora de la ronda interlaboratorial

## Anexo 1. Análisis de homogeneidad de la muestra

Datos para el análisis de homogeneidad. Mediciones realizadas por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LANAME-UCR

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	
2337	Promedio = 2336 kg/m <sup>3</sup>
2316	Desv. Est. = 16.6 kg/m <sup>3</sup>
2323	% CV = 0.71 %
2362	
2346	
2331	

Aire (%)	
1.2	Promedio = 1.2 %
1.1	Desv. Est. = 0.06 %
1.2	% CV = 5.3 %
1.3	
1.2	
1.2	

Datos de los resultados de los laboratorios.

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	
Promedio participantes =	2364 kg/m <sup>3</sup>
Desv. Est. participantes =	73.0 kg/m <sup>3</sup>
% CV participantes =	3.09 %

Aire (%)	
Promedio participantes =	1.1 %
Desv. Est. participantes =	0.24 %
% CV participantes =	21.83 %

## Anexo 2. Pruebas estadísticas realizadas a los resultados de los laboratorios

### Prueba h de Mandel

La prueba h Mandel permite analizar la variabilidad de los resultados bajo condiciones de reproducibilidad. Determina la consistencia de los resultados en lo referente a su distribución alrededor del promedio. El valor del estadístico h para cada laboratorio se obtiene mediante la expresión:

$$h = \frac{d}{s}$$
$$d = x - X$$

$d$  = desviación del laboratorio con respecto del promedio.

$s$  = desviación estándar del promedio de todos los laboratorios.

$X$  = promedio de los resultados de todos los laboratorios.

La máxima dispersión de los resultados permitida alrededor del promedio se define en términos del parámetro  $h_{crit}$  para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  (95% de confianza), para lo cual:

$|h| < h_{crit}$  : el resultado es consistente alrededor del promedio a un 95% de confianza.

$|h| > h_{crit}$  : el resultado no es consistente alrededor del promedio a un 95% de confianza, indicando la posible presencia de un valor extremo.

La consistencia general de todos los laboratorios se confirma si se presenta un número similar de estadísticos h positivos y negativos entre los laboratorios.

### Prueba de Grubbs

La prueba de Grubbs permite confirmar para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  (95% de confianza), la presencia de resultados extremos (no consistentes o insatisfactorios). El valor del estadístico G (de Grubbs) para la valoración de un posible resultado extremo, se obtiene mediante la expresión:

$$G = \frac{|X - x_{ext}|}{s}$$

$X$  = promedio de los resultados de todos los laboratorios (incluyendo el posible resultado inconsistente).

$s$  = desviación estándar del promedio de todos los laboratorios (incluyendo el posible resultado inconsistente).

$x_{ext}$  = posible resultado extremo.

El valor del estadístico  $G$  se compara contra el valor del parámetro  $G_{crit}$  para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  (95% de confianza), para lo cual:

$G < G_{crit}$  : el resultado no es extremo para un 95% de confianza.

$G > G_{crit}$  : el resultado es extremo para un 95% de confianza.

## Estadística Robusta

La estadística robusta permite el cálculo del valor promedio y desvío estándar mediante un algoritmo que extrae el posible efecto de los valores extremos existentes. Estos valores se conocen como “promedio robusto” y “desvío estándar robusto”:

Cálculo de valores iniciales:

$X$  = mediana de todos los resultados de los laboratorios ( $x_i$ ).

$S$  = 1,483 veces la mediana de los desvíos de todos los laboratorios con respecto de la mediana.

Actualizar los valores de  $X$  y  $S$ :

$$\delta = 1,5S$$

$$x_i = \begin{cases} X - \delta, & \text{si } x_i < X - \delta \\ X + \delta, & \text{si } x_i > X + \delta \\ x_i, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$X = \frac{\sum x_i}{p}, \quad \text{para } p = \text{número de laboratorios}$$

$$S = 1,134 \sqrt{\frac{\sum (x_i - X)^2}{p-1}}$$

El cálculo se realiza de forma iterativa hasta que los valores de  $X$  (“promedio robusto”) y  $S$  (“desvío estándar robusto”) converjan.

### Puntaje z

El puntaje z permite ordenar y clasificar los resultados de los laboratorios en función de su desvío normalizado con respecto del valor central (promedio).

Para cada laboratorio el puntaje z se calcula de acuerdo con:

$$z = \frac{x - X}{S}$$

$x$  = resultado del laboratorio.

$X$  = “promedio robusto” (valor asignado) de los resultados de los laboratorios.

$S$  = “desviación estándar robusto” del “promedio robusto” de los laboratorios.

La clasificación de los laboratorios se realiza de acuerdo con:

**Si  $|z| \leq 2,0$ :** el resultado o desempeño es “satisfactorio”

**Si  $3,0 > |z| > 2,0$ :** el resultado o desempeño es “cuestionable”.

**Si  $|z| \geq 3,0$ :** el resultado o desempeño es “no satisfactorio”

El desempeño general de todos los laboratorios se confirma si se presenta un número similar de valores positivos y negativos del puntaje z para los laboratorios.

## Anexo 3 Contactos

Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto

Página web: [iccy.com](http://iccy.com)

Teléfono: 2283-0111

Ing. Irene Campos Gómez

Correo electrónico: [irene\\_campos@iccy.com](mailto:irene_campos@iccy.com)

Teléfono: 2283-0111

Ing. Gabriela Araya Mendoza

Correo electrónico: [gabriela\\_araya@iccy.com](mailto:gabriela_araya@iccy.com)

Teléfono: 2283-0111