

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL ENSAYO A COMPRESIÓN EN
PROBETAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y
REPRODUCIBILIDAD EN EL LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE
MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**



**HILDEBRANDO MORALES VANEGAS
DAVID LEONARDO SIERRA CARRILLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL ENSAYO A COMPRESIÓN EN
PROBETAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y
REPRODUCIBILIDAD EN EL LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE
MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**HILDEBRANDO MORALES VANEGAS
DAVID LEONARDO SIERRA CARRILLO**

Trabajo de grado en la modalidad de Investigación para optar por el título de
INGENIERO CIVIL

**DIRECTOR(A)
HEBENLY CELIS LEGUIZAMO
Magíster en Ingeniería Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2017**

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

A Dios, a la virgen y a mis padres que siempre estuvieron presentes en este proceso, gracias a ellos es posible la culminación de esta carrera.

A la directora del proyecto, ingeniera Hebenly Celis Leguizamo por su asesoría y dedicación durante el desarrollo del proyecto

A David Sierra por su paciencia y el todo el apoyo para cumplir la meta.

Hildebrando Morales Vanegas

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

A dios y la virgen

A la directora del proyecto, ingeniera Hebenly Celis Leguizamo por su asesoría y dedicación durante el desarrollo del proyecto.

A los profesores que hicieron parte de mi proceso de formación.

A mis padres y hermanos por sus palabras de aliento, por su cariño y su gran apoyo en mi vida.

A Katherine Chaves por su apoyo y motivación para esta etapa.

A María Angélica Camperos por su colaboración.

A Hildebrando por su paciencia y el todo el apoyo para cumplir la meta.

David Leonardo Sierra Carrillo

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. DEFINICIONES.....	17
1.1 REPETIBILIDAD	17
1.2 REPRODUCIBILIDAD	17
1.3 PRECISIÓN Y EXACTITUD.....	17
1.4 SESGO	18
1.5 TOLERANCIA.....	18
1.6 INCERTIDUMBRE	18
1.7 OPERADORES.....	19
2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES.....	19
3. DISEÑO DE LA MEZCLA Y REALIZACIÓN DE LAS PROBETAS	20
4. METODOLOGÍA APLICADA.....	22
4.1. REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD	22
4.2. PRUEBAS DE HIPÓTESIS.....	26
4.3. ACEPTABILIDAD A PARTIR DE LA NORMA NTC 673	28
4.4. INCERTIDUMBRE DE CADA OPERADOR	29
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	31
5.1 RESULTADOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD.....	31
5.1.1 Resultados operador A.....	31
5.1.2 Resultados operador B.....	32

5.1.3	Resultados operador A vs Resultados laboratorio externo.....	34
5.1.4	Resultados operador B vs Resultados laboratorio externo certificado por la ONAC.	36
5.1.5	Grafica de resultados.....	38
5.2	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE HIPÓTESIS	38
5.3	RESULTADOS DE ACEPTABILIDAD DE LA NORMA NTC 673.....	40
5.4	RESULTADOS DE INCERTIDUMBRE	43
6.	CONCLUSIONES	45
7.	RECOMENDACIONES	46
	CITAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	49
	ANEXOS	51

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Agregado grueso.	19
Tabla 2. Agregado fino.	20
Tabla 3. Proporciones de los materiales, diseño por metro cúbico.	20
Tabla 4. Parámetros k.	24
Tabla 5. Precisión del ensayo; en ensayos de cilindros de 150 mm por 300 mm y 100 mm por 200 mm.	28
Tabla 6. Valores percentiles para la distribución t-student.	30
Tabla 7. Resultados de ensayos a compresión. Operador A.....	31
Tabla 8. Partes de los resultados de los ensayos a compresión. OpA.	31
Tabla 9. Rango promedio de cada parte y promedio de los rangos promedios (OpA).	32
Tabla 10. Resultados de ensayos a compresión operador B.	33
Tabla 11. Partes de los resultados de los ensayos a compresión. OpB.....	33
Tabla 12. Rango promedio de cada parte y promedio de los rangos promedios (OpB).	33
Tabla 13. Resultados de los ensayos a compresión laboratorio externo certificado por la ONAC.....	34
Tabla 14. Promedio de cada parte de los ensayos de del operador A.	35
Tabla 15. Rangos del laboratorio externo obtenidos con la ecuación (5) para reproducibilidad.....	35
Tabla 16. Rangos del operador A para reproducibilidad obtenidos con la ecuación (5).	35
Tabla 17. Porcentaje de reproducibilidad ecuación (7) e interacción R&R ecuación (8).	36

Tabla 18. Promedio de cada parte de los ensayos del operador B.	36
Tabla 19. Rangos del operador B para reproducibilidad obtenidos con la ecuación (5).	37
Tabla 20. Porcentaje de reproducibilidad e interacción R&R.....	37
Tabla 21. Resultados de la prueba de hipótesis uno.	39
Tabla 22. Resultados de la prueba de hipótesis dos.	39
Tabla 23. Resultados de la prueba de hipótesis tres.	40
Tabla 24. Parámetros a comparar (operador A) con la tabla 5 (NTC 673).	41
Tabla 25. Parámetros a comparar (operador B) con la tabla 5 (NTC 673).	41
Tabla 26. Resultados a comparar con los parámetros de la norma NTC 673 numeral 10.1.3 para pruebas interlaboratorio con el operador A.	42
Tabla 27. Resultados a comparar con los parámetros de la norma NTC 673 numeral 10.1.3 para pruebas interlaboratorio con el operador B.	42

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Probetas falladas operador A.....	21
Figura 2. Probetas falladas operador B.....	22
Figura 3. Probetas falladas Laboratorio externo.	22
Figura 4. Comparación de resultados entre operadores.	38

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A: ENSAYO FISICO DE AGREGADOS	51
ANEXO B: INFORME DISEÑO DE MEZCLA	53
ANEXO C: INFORME DE RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN	54
ANEXO D: INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A COMPRESIÓN SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN LABORATORIO EXTERNO	56

RESUMEN

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL ENSAYO A COMPRESIÓN EN PROBETAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN EL LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTORES: HILDEBRANDO MORALES VANEGAS
DAVID LEONARDO SIERRA CARRILLO**

PALABRAS CLAVES: Repetibilidad, reproducibilidad, precisión, exactitud, sesgo, tolerancia, incertidumbre y operadores.

DESCRIPCIÓN

En el presente proyecto se determinó la calidad del ensayo de compresión inconfiada en probetas de concreto realizados en el laboratorio de materiales de la universidad industrial de Santander, haciendo estudios de repetibilidad y reproducibilidad por medio del método de promedios y rangos, confirmándolos con tres pruebas de hipótesis con diferentes parámetros de interés, y, parámetros de aceptación que estipula la norma NTC 673; se hizo un diseño y fabricación de mezcla para veinte probetas de concreto de resistencia de 21 MPA, se tuvo una elaboración y curado de los cilindros de hormigón con unas dimensiones de 100 mm de diámetro por 200 mm de alto, de las cuales, se realizaron 20 ensayos, 16 se fallaron en el laboratorio de la Universidad Industrial de Santander por dos operadores certificados y cuatro se fallaron en un laboratorio externo certificado; de tal forma obteniendo los resultados de los ensayos y poder realizar un análisis mediante los estudios que estipula la norma. De esta manera se evalúa la calidad del proceso de ensayo y se halla una incertidumbre para cada operador realizando sus respectivas conclusiones al respecto por medio de los objetivos propuestos y con ello se generan algunas recomendaciones al momento de realizar los ensayos.

*Trabajo de grado

* **Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de ingeniería civil. Director: Hebenly Celis Leguizamo, Magíster en Ingeniería Civil.

ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF QUALITY OF COMPRESSION TEST IN CONCRETE PROBES THROUGH REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY STUDIES AT THE MATERIAL CHARACTERIZATION LABORATORY OF THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER*

AUTHORS: HILDEBRANDO MORALES VANEGAS
DAVID LEONARDO SIERRA CARRILLO**

KEY WORDS: Repeatability, Reproducibility, Accuracy, Precision, Bias, Tolerance, Uncertainty and Operators.

DESCRIPTION

In this project, it was determined the quality of the unconfined compression test in concrete specimens made at the materials laboratory of the industrial university of Santander, performing studies of repeatability and reproducibility studies through the method of averages and ranges, confirming them with three tests of Hypotheses with different parameters of interest, and, parameters of acceptance that stipulates the NTC 673 norm; It was done a mix design for twenty pieces of concrete resistance of 21 MPa, It was made an elaboration and curing of the concrete cylinders with dimensions of 100 mm in diameter by 200 mm in height, of which, 20 trials were accomplished, 16 were tested at the laboratory of the Universidad Industrial de Santander by two certified operators and four more were done in a certified external laboratory; Thus obtaining the results of the tests and being able to perform an analysis through the studies stipulated by the standard. In this way the quality of the test process is evaluated and there is an uncertainty for each operator making their respective conclusions, through the proposed objectives and with this, some recommendations are generated at the time of the tests.

*Graduation project

**Physical-civil engineering faculty. Civil engineering department. Director: Hebenly Celis Leguiano, Master of Civil engineering.

INTRODUCCIÓN

Es de vital importancia verificar el ensayo de resistencia a compresión, para así demostrar que los resultados son verídicos y confiables, para ello se estudia el ensayo NTC 673, ya que por medio de este método se determina la resistencia que es un parámetro importante en el diseño estructural de edificios, adicionalmente estos resultados de ensayo son usados como base para el control de la calidad de las operaciones de dosificación, mezclado, colocación del concreto, determinación y cumplimiento de las especificaciones técnicas y el control para la evaluación de la efectividad de aditivos y usos similares.

La meta del artículo es arrojar un estudio analítico de que tan cerca están las mediciones del valor verdadero, la norma técnica NTC-ISO/IEC 17025 Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayos y calibración establece en el numeral 5.9 Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y de calibración, de esta manera, está diciendo que todo laboratorio de ensayo debe tener procedimientos de control de calidad para realizar el seguimiento de la validez de los ensayos [1]. Uno de los métodos más apropiados para determinar esto es el estudio de repetibilidad y reproducibilidad, los cuales cuantifican la variabilidad del sistema de medición. Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos a compresión se puede proceder a la siguiente fase para analizar los datos y determinar la calidad del ensayo.

1. DEFINICIONES

1.1 REPETIBILIDAD

Indica el grado de acuerdo entre resultados mutuamente independientes de un ensayo, obtenidos utilizando el mismo método, en idénticos materiales en el mismo laboratorio, por el mismo operador, usando el mismo equipo y en un corto intervalo de tiempo. La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados [2].

1.2 REPRODUCIBILIDAD

Se tienen resultados mutuamente independientes de un ensayo obtenidos con el mismo método, en idénticos materiales, en diferentes laboratorios, con diferentes operadores y utilizando distintos equipos. La reproducibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados [2].

1.3 PRECISIÓN Y EXACTITUD

La precisión se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión. La exactitud se refiere a cuan cerca del valor real se encuentra el valor medido [3].

1.4 SESGO

En estadística se llama sesgo de un estimador a la diferencia entre su esperanza matemática y el valor numérico del parámetro que estima. Un estimador cuyo sesgo es nulo se llama insesgado o centrado. El no tener sesgo es una propiedad deseable de los estimadores. Una propiedad relacionada con ésta es la de la consistencia: un estimador puede tener un sesgo, pero el tamaño de este converge a cero conforme crece el tamaño muestral [4].

1.5 TOLERANCIA

Esta depende de la fuerza máxima para la cual esta calibrada la máquina de ensayo, y de la fuerza máxima del ensayo realizado.

1.6 INCERTIDUMBRE

Se denomina incertidumbre a una circunstancia de desconocimiento acerca de lo que sucederá en el futuro. El término puede emplearse aludiendo a distintas situaciones, pero en general es común su uso en el plano estadístico y económico, en donde determinadas circunstancias hacen imposible realizar un diagnóstico certero de lo que sucederá [5].

En los ensayos las circunstancias que hacen que las medidas no sean exactas son el tamaño y forma del espécimen, dosificación, procedimientos de mezclado, moldeo, la fabricación, la edad, temperatura y las condiciones de humedad durante el curado [6].

Hay dos tipos de incertidumbre tipo A y tipo B, tipos A es aquella incertidumbre que se evalúa por métodos estadísticos, la tipo B es aquella incertidumbre que se evalúa por otros métodos, como datos de mediciones previas, experiencia, Conocimiento de materiales de referencia, especificaciones del fabricante y datos obtenidos de reportes de calibración [7].

1.7 OPERADORES

Estos ensayos se realizan por 2 operadores, se denomina como operador A y como operador B, y un tercer operador que se denomina como laboratorio externo.

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES

Como primer paso se obtienen los agregados pétreos: el agregado grueso, agregado fino, y el cemento gris. En la Tabla 1 y Tabla 2 se describen las especificaciones de los materiales (Ver Anexo A).

Tabla 1. Agregado grueso.

Composición agregado grueso	
Descripción y procedencia	Canteras Gironesas
Peso específico	2630[kg/m ³]
Peso unitario	1480[kg/ m ³]
Absorción Máxima	1[%]
Tamaño máximo Nominal	³ / ₄ [in]

Fuente: Resultados del diseño de mezcla realizado por el operador A.

Tabla 2. Agregado fino.

Composición agregado fino	
Descripción y procedencia	Canteras Gironesas
Peso específico	2630[kg/m ³]
Peso unitario	1500[kg/m ³]
Absorción Máxima	2[%]
Módulo de finura	3.45

Fuente: Resultados del diseño de mezcla realizado por el operador A.

3. DISEÑO DE LA MEZCLA Y REALIZACIÓN DE LAS PROBETAS

Se diseña y se realiza la mezcla de 21 MPa (ver Anexo B), a partir de las proporciones citadas en la Tabla 3, oficio que realiza el operador A.

Tabla 3. Proporciones de los materiales, diseño por metro cúbico.

Proporción de los materiales [m³]	
Agua	210 [kg]
Cemento	Tipo 1 400 [kg]
Agregado fino	800 [kg]
Agregado grueso	905[kg]
Proporciones [Nota]	1 cemento; 2.0 Arena; 2.3 triturado

Fuente: Informe diseño de mezcla realizado por el operador A. Nota: Datos en peso para 1m³ de hormigón con materiales secos.

Se fabrican las probetas, utilizando moldes de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, aplicando el procedimiento descrito en la norma NTC 550 llamada elaboración y curado de especímenes de concreto.

Se realiza el debido procedimiento de curado durante 28 días para que las probetas alcancen su máxima resistencia, posteriormente Se fallan las 20 probetas, como se

muestra en las Figuras 1 y 2, de las cuales 10 son realizadas por el operador A, 10 son realizadas por el operador B. Cada operador falla 8 probetas, para que de esta manera sobren 4 que se envían a un laboratorio externo certificado para ser falladas como se ve en la Figura 3.

De esta forma se obtienen los resultados que se analizan por medio de métodos estadísticos.

Figura 1. Probetas falladas operador A.



Figura 2. Probetas falladas operador B.



Figura 3. Probetas falladas Laboratorio externo.



4. METODOLOGÍA APLICADA

4.1. REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

Los estudios de repetibilidad y reproducibilidad, se realizarán aplicando el método de promedios y rangos.

Se calcula el rango de cada parte por medio de la ecuación (1):

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (1)$$

Posteriormente se determina el rango promedio de cada parte utilizando la ecuación (2):

$$Rp = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ri \quad (2)$$

n = Número de mediciones realizada por cada parte.

Se realiza el promedio de los rangos con la ecuación (3).

$$R = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Rp \quad (3)$$

m = Número de partes.

R = Promedio de todos los rangos.

Se calcula el porcentaje de repetibilidad de las mediciones utilizando la ecuación (4).

$$\% \text{ Repetibilidad} = \frac{K1 * R}{T} * 100 \quad (4)$$

$K1$ = Constante que depende del número de mediciones realizadas por cada operador y proporciona un intervalo de confianza del 99%, valores obtenidos de la Tabla 4.

T = Tolerancia de la característica medida, se calcula como el promedio de la carga mínima aceptable del equipo de ensayo, según el informe de calibración y la carga máxima que se refleja en el ensayo realizado.

Tabla 4. Parámetros k.

Parámetros k				
Número de ensayos K1	2 4.56	3 3.05	4 2.50	5 2.21
Número de operadores K2	2 3.65	3 2.70	4 2.30	5 2.08

Fuente: Artículo Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración.

Para hacer la reproducibilidad, se calcula el promedio de cada parte de los operadores de manera independiente con la siguiente ecuación (5).

$$x_{ip} = \frac{1}{nr} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

n = Número de ensayos por cada parte.

r = Partes a estudiar

Se calcula la diferencia entre el promedio mayor y el promedio menor entre las partes por medio de la ecuación (6).

$$xD = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}} \quad (6)$$

Posteriormente el porcentaje de la reproducibilidad por medio de la ecuación (7).

$$\%Reproducibilidad = \frac{\sqrt{(k2 * xD)^2 - \frac{(k1 * R)^2}{nr}}}{T} * 100 \quad (7)$$

$K2$ = Constante que depende del número de operadores y proporciona un intervalo de confianza del 99 %, valor obtenido de la Tabla 4.

xD = Diferencia entre las partes que interactúan.

Se calcula el porcentaje de relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad mediante la ecuación (8).

$$\%R\&R = \sqrt{(\%Repetibilidad)^2 + (\%Reproducibilidad)^2} \quad (8)$$

Se interpretan los resultados obtenidos, por medio de los siguientes criterios:

- Si $\% R\&R < 10\%$ El sistema de medición es óptimo.
- Si $10\% \leq R\&R \leq 30\%$ Puede ser aceptable, dependiendo de qué tan crítico es el grado de medición. (De cuantas fuentes de variabilidad puedan existir).

- %R&R>=30 % El sistema de medición es considerado como no aceptable y requiere de mejoras en cuanto al operador, equipo, método, condiciones, etc.

4.2. PRUEBAS DE HIPÓTESIS

Para confirmar los estudios de repetibilidad y reproducibilidad se realizan pruebas hipótesis, en donde se propone la sospecha de que las medias de dos muestras son iguales con cierto grado de significancia. Se aplica el método estadístico t-student debido a que se estudian muestras pequeñas.

En todas las hipótesis los pasos a seguir son los siguientes, primero se deben identificar los parámetros de interés, es decir las medias que se van a evaluar, luego se plantea la hipótesis nula e hipótesis alterna para después de obtener el resultado determinar cuál de estas es verdadera.

Para poder realizar los cálculos debemos determinar un nivel de significancia y grados de libertad, a partir de estos parámetros se consulta en la tabla t-student el valor teórico, con ese valor se determina la región de rechazo. Con las siguientes ecuaciones se determinan los grados de libertad: Se utiliza la ecuación (9) cuando las máquinas de ensayo son diferentes.

$$V = \frac{\left(\frac{S1^2}{n1} + \frac{S2^2}{n2}\right) 2}{\frac{\left(\frac{S1^2}{n1}\right)}{n1 + 1} + \frac{\left(\frac{S2^2}{n2}\right)}{n2 + 1}} - 2 \quad (9)$$

V = Grados de Libertad

s1 = Desviación estándar de la población 1.

s_2 = Desviación estándar de la población 2.

n_1 = Número de muestras de la población 1.

n_2 = Número de muestras de la población 2.

La ecuación (10) Cuando es la misma máquina de ensayo.

$$V = n_1 + n_2 - 2 \quad (10)$$

V = Grados de libertad

Para comparar los resultados y poder obtener la aceptación o rechazo de la prueba se calcula el estadístico muestral, el cual se realiza dependiendo del equipo de ensayo, si las dos muestras son falladas con la misma maquina se realiza con la ecuación (11) y ecuación (12).

$$t_{cal} = \frac{X_1 - X_2 - U_0}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (11)$$

Donde

x_1 = Media de la población 1.

x_2 = Media de la población 2.

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (12)$$

Si las pruebas se realizan con dos máquinas diferentes se realiza con la ecuación (13).

$$t_{cal} = \frac{X1 - X2}{\sqrt{\frac{S1^2}{n1} + \frac{S2^2}{n2}}} \quad (13)$$

Después de obtener los resultados de los estadísticos, tanto muestral, como los límites de aceptación se procede a comparar el t-student calculado con el t-student teórico; si el t-student calculado es menor al t-student teórico se acepta la hipótesis nula; si no, se rechaza la hipótesis y se acepta la hipótesis alterna.

4.3. ACEPTABILIDAD A PARTIR DE LA NORMA NTC 673

Como es un método normalizado la norma NTC 673 tiene unos parámetros de aceptación para mezclas correctamente realizadas como se expone en la Tabla 5.

Tabla 5. Precisión del ensayo; en ensayos de cilindros de 150 mm por 300 mm y 100 mm por 200 mm.

Parámetros de aceptación			
	Coefficientes de Varianza	Rango Aceptable de f'c 2 Cilindros	Rango Aceptable de f'c 3 Cilindros
150mm por 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2.4%	6.6%	7.8%
Condiciones de obra	2.9%	8.0%	9.5%
100 mm por 200 mm			
Condiciones de laboratorio	3.2%	9.0%	10.6

Fuente: NTC 673.

Para condiciones interlaboratorio, se tiene en cuenta el siguiente apartado de la norma, el numeral 10.1.3: El coeficiente de varios laboratorios para los resultados de resistencia a la compresión de cilindros ha sido encontrado que es 5.0 %, por lo

tanto, los resultados en los ensayos apropiadamente realizados por dos laboratorios sobre especímenes preparados de la misma muestra de concreto, no se espera que difieran en más de un 14 % del promedio. El resultado de un ensayo de resistencia es el promedio de dos cilindros ensayados a la misma edad [6].

4.4. INCERTIDUMBRE DE CADA OPERADOR

La incertidumbre usada para cada operador es la tipo A.

Para una serie de medidas, efectuadas en condiciones de repetibilidad, compuesta de n medidas independientes, el valor estimado, del valor verdadero de una magnitud, viene dado por la media aritmética de los valores individuales medidos como lo muestra la ecuación (14) [8].

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (14)$$

Se halla la varianza experimental como lo muestra la ecuación (15).

$$s^2(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x - x_i)^2 \quad (15)$$

Finalmente se halla la incertidumbre tipo A teórica con la ecuación (16).

$$u(x) = \frac{s(x)}{\sqrt{n-1}} \quad (16)$$

Se tiene un número muy pequeño de mediciones, algo bastante común en mediciones industriales, por esta razón se debe considerar este efecto con la teoría de muestras pequeñas, aplicando la distribución t-student para hacer el intervalo de confianza de la siguiente forma: ecuación (17) [9].

$$x - tc \frac{s}{\sqrt{N-1}} < u < x + tc \frac{s}{\sqrt{N-1}} \quad (17)$$

N = Número de mediciones.

S = Desviación estándar de la muestra.

Tc = Factor t-student (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Valores percentiles para la distribución t-student.

Número de observaciones	Grados de libertad	Confianza		
		99,00	98,00	95,45
2.00	1.00	63.66	31.82	13.97
3.00	2.00	9.92	6.96	4.53
4.00	3.00	5.84	4.54	3.31
5.00	4.00	4.60	3.75	2.87
6.00	5.00	4.03	3.36	2.65
7.00	6.00	3.71	3.14	2.52
8.00	7.00	3.50	3.00	2.43

Fuente: libro estadística 3ª edición Murray R. Spiegel & Larry J. Stephens.

De esta manera se incrementa la incertidumbre, debido a que hay pocas mediciones. Este incremento hace referencia a la ausencia de información.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 RESULTADOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados por el operador A Y B.

5.1.1 Resultados operador A. La Tabla 7 presenta una media de 19.73 MPa, una desviación estándar de 0.64 MPa y una varianza de 0.41. Los resultados son cercanos al valor de diseño de mezcla de 21 MPa (ver Anexo C).

Tabla 7. Resultados de ensayos a compresión. Operador A.

Espécimen	Fc MPa	Espécimen	Fc MPa
Probeta#1	19.7	Probeta#5	18.9
Probeta#2	19.8	Probeta#6	20
Probeta#3	19.3	Probeta#7	19.1
Probeta#4	20.9	Probeta#8	20.1

Para el cálculo de repetibilidad los resultados de ensayo se dividen en 4 partes como se refleja en la Tabla 8.

Tabla 8. Partes de los resultados de los ensayos a compresión. OpA.

Operador A		
MPa		
Parte1	19.7	19.8
Parte2	19.3	20.9
Parte3	18.9	20
Parte4	19.1	20.1

Se halla el rango promedio de cada parte y el rango promedio de todos los rangos. Se calcula el porcentaje de repetibilidad de acuerdo con la ecuación (4), como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Rango promedio de cada parte y promedio de los rangos promedios (OpA).

Rangos promedios Operador A	
R1	0.05
R2	0.80
R3	0.55
R4	0.50
R PROMEDIO	0.48
%REPETIBILIDAD	7.05

Se obtiene un valor de repetibilidad de 7.05% valor que indica que los resultados son poco dispersos y precisos.

Aun no se realiza el R&R, por esta razón no se compara con los parámetros descritos previamente en la metodología.

5.1.2 Resultados operador B. La **Tabla 10** presenta una media de 25.65 MPa con una desviación estándar de 2.20 MPa y una varianza de 4.84. Los resultados están distanciados del valor de diseño para el cual se diseñó la mezcla de 21 MPa.

Tabla 10. Resultados de ensayos a compresión operador B.

Espécimen	MPa	Espécimen	MPa
Probeta#1	25.3	Probeta#5	28.3
Probeta#2	22.9	Probeta#6	23.8
Probeta#3	24.9	Probeta#7	23.9
Probeta#4	28.6	Probeta#8	27.5

Para el cálculo de repetibilidad los resultados de ensayo se dividen en 4 partes como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Partes de los resultados de los ensayos a compresión. OpB.

Operador B		
MPa		
Parte1	25.30	22.90
Parte2	24.90	28.60
Parte3	28.30	23.80
Parte4	23.90	27.50

Se halla el rango promedio de cada parte y el rango promedio de todos los rangos. Se calcula el porcentaje de repetibilidad de acuerdo con la ecuación (4), como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Rango promedio de cada parte y promedio de los rangos promedios (OpB).

Rangos promedios Operador B	
R1	1.20
R2	1.85
R3	2.25
R4	1.80
R PROMEDIO	1.78
%REPETIBILIDAD	21.49

La repetibilidad es de 21.49 un resultado deficiente teniendo en cuenta que hasta aquí no se ha realizado la interacción con el laboratorio externo certificado (R&R). Además, se evidencia que el operador B realiza mal el proceso de ensayo, debido a que sus ensayos no son precisos ni exactos esta afirmación se evidencia con el porcentaje de repetibilidad.

5.1.3 Resultados operador A vs Resultados laboratorio externo. Se evidencia en la Tabla 13 que los resultados del operador A son semejantes a los resultados del operador B (ver Anexo D), lo que plantea la hipótesis de que el operador B realiza mal el proceso de ensayo y que el factor de fabricación no es una fuente de variabilidad muy grande en estos ensayos.

Tabla 13. Resultados de los ensayos a compresión laboratorio externo certificado por la ONAC.

Laboratorio externo certificado	
	MPa
Probeta#1 Operador A	21.20
Probeta#2 Operador A	19.40
Probeta#3 Operador B	20.10
Probeta#4 Operador B	19.80

Se promedian las partes expuestas en la Tabla 8 como se muestra en la Tabla 14 esto Se hace para comparar igual número de muestras. La norma NTC 673 permite tomar como el resultado de un ensayo el promedio de dos cilindros.

Tabla 14. Promedio de cada parte de los ensayos de del operador A.

Operador A	
	MPa
Promedio parte 1.	19.75
Promedio parte 2.	20.10
Promedio parte 3.	19.45
Promedio parte 4.	19.60

Por cada ensayo del laboratorio externo expuestos en la Tabla 13 se determina un valor x_i , para posteriormente hacer una sumatoria como se manifiesta en la tabla 15.

Tabla 15. Rangos del laboratorio externo obtenidos con la ecuación (5) para reproducibilidad.

Laboratorio externo	
x_{i1}	2.65
x_{i2}	2.43
x_{i3}	2.51
x_{i4}	2.48
Xisuma	10.06

Por cada promedio del operador A expuestos en la Tabla 14 se determina un valor x_i para posteriormente hacer una sumatoria como se manifiesta en la Tabla 16.

Tabla 16. Rangos del operador A para reproducibilidad obtenidos con la ecuación (5).

Operador A	
x_{i1}	2.47
x_{i2}	2.51
x_{i3}	2.43
x_{i4}	2.45
Xisuma	9.86

Las Tablas 15 y 16 permiten hacer la relación de reproducibilidad, que se expone en la Tabla 17.

Tabla 17. Porcentaje de reproducibilidad ecuación (7) e interacción R&R ecuación (8).

Operador A vs laboratorio Externo	
Xd ecuación (6)	0.20
%Reproducibilidad	1.37
R&R	7.19

La interacción con el laboratorio muestra un resultado favorable con una reproducibilidad de 1.37 % y un porcentaje de interacción (R&R) de 7.19 %, menor al 10%, lo cual afirma que el ensayo se hace en condiciones óptimas, de acuerdo a los parámetros citados previamente en la metodología.

5.1.4 Resultados operador B vs Resultados laboratorio externo certificado por la ONAC. Se promedian las partes expuestas en la Tabla 11 como se expone en la Tabla 18 esto Se hace para comparar igual número de muestras. La norma NTC 673 permite tomar como el resultado de un ensayo el promedio de dos cilindros.

Tabla 18. Promedio de cada parte de los ensayos del operador B.

Operador B	
	MPa
Promedio parte1	24.10
Promedio parte 2	26.75
Promedio parte 3	26.05
Promedio parte 4	25.70

Por cada promedio de las partes de los ensayos del operador B expuestos en la Tabla 18 se determina un valor x_i , para posteriormente hacer una sumatoria como se manifiesta en la Tabla 19.

Tabla 19. Rangos del operador B para reproducibilidad obtenidos con la ecuación (5).

Operador B	
xi1	3.01
xi2	3.34
xi3	3.26
xi4	3.21
xisuma	12.83

Los datos de la tabla 20 interactúan con los rangos del laboratorio externo expuestos en la Tabla 15 para finalmente obtener el % de reproducibilidad y R&R como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Porcentaje de reproducibilidad e interacción R&R.

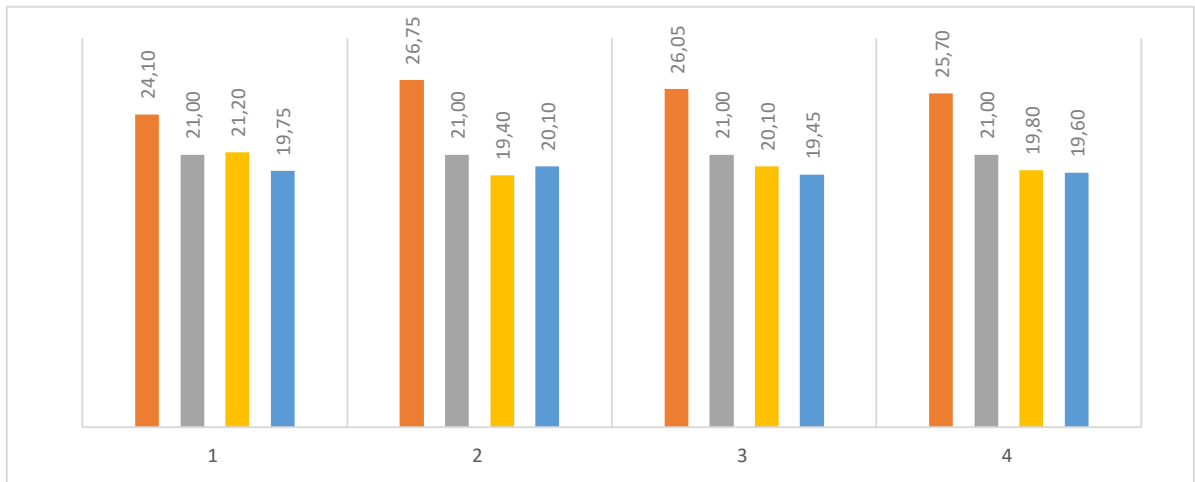
Operador B vs laboratorio Externo	
xd	2.76
%reproducibilidad	48.43
R&R	52.98

El porcentaje de reproducibilidad es de 52.98 %, demasiado mayor con respecto al 30 % de aceptabilidad, de esta manera se confirma lo evidenciado previamente, donde se afirma que el operador B realiza incorrectamente el proceso de ensayo.

5.1.5 Grafica de resultados. Se evidencia en la “Figura 4” que los resultados del operador A y el laboratorio externo certificado son similares al valor de diseño de mezcla de 21 MPa. Lo que no se refleja con el operador B donde se puede apreciar que sus ensayos están muy alejados del valor de 21 MPa.

Denominaciones de barras; *barra gris*: valor del diseño de mezcla, *barra naranja*: promedio de las partes de los ensayos del operador B, *barra azul*: promedio de las partes de los ensayos del operador A Y barra amarilla: resultados de ensayo laboratorio externo certificado por la ONAC.

Figura 4. Comparación de resultados entre operadores.



5.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE HIPÓTESIS

Hipótesis 1, la media del operador A es igual a la media del operador B. (Ver Tabla 21).

Tabla 21. Resultados de la prueba de hipótesis uno.

Prueba de hipótesis uno.	
Desviación estándar la muestra 1	0.638
Desviación estándar la muestra 2	2.2
Número de muestra 1	8
Número de muestra 2	8
Nivel de significancia	0.05
Grados de libertad	14
Sp	0.767
t-student teórico	2.14
t-student calculado	8.712

Con un nivel de significancia de 0.05 se rechaza la hipótesis nula de que la media de los ensayos del operador A es igual a la media de los ensayos del operador B, con un porcentaje de diferencia entre el valor s-student teórico y valor s-student calculado del 75%.

Hipótesis 2, la media del operador A es igual a la media del laboratorio externo certificado. (Ver Tabla 22).

Tabla 22. Resultados de la prueba de hipótesis dos.

Prueba de hipótesis dos.	
Desviación estándar la muestra 1	0.771
Desviación estándar la muestra 2	0.638
Numero de muestra 1	4
Número de muestra 2	8
Nivel de significancia	0.05
grados de libertad	7
t-student teórico	2.36
t-student calculado	0.504

Con un nivel de significancia de 0.05 se acepta la hipótesis nula de que la media de los ensayos del operador A es igual a la media de los ensayos del laboratorio externo

certificado con un porcentaje de diferencia entre el valor s-student teórico y valor s-student calculado del 78%.

Hipótesis 3, la media del operador B es igual a la media del laboratorio externo certificado. (Ver Tabla 23).

Tabla 23. Resultados de la prueba de hipótesis tres.

Prueba de hipótesis tres.	
Desviación estándar la muestra 1	0.771
Desviación estándar la muestra 2	2.2
Número de muestra 1	4
Número de muestra 2	8
Nivel de significancia	0.05
Grados de libertad	11
t teórico	2.2
t calculado	3.589

Con un nivel de significancia de 0.05 se rechaza la hipótesis nula de que la media de los ensayos del operador B y el laboratorio externo certificado son iguales, con un porcentaje de diferencia entre el valor s-student teórico y valor s-student calculado del 39%.

5.3 RESULTADOS DE ACEPTABILIDAD DE LA NORMA NTC 673

A continuación, se presenta el coeficiente de variación y rango de diferencia con respecto al valor de diseño de mezcla de 21 MPa. (Ver Tabla 24).

Tabla 24. Parámetros a comparar (operador A) con la tabla 5 (NTC 673).

Parámetros de aceptabilidad – Operador A	
Promedio	19.7[MPa]
Coefficiente de variación%	3.2%
Rango de diferencia %	6.1%

Se compara el coeficiente de variación de la Tabla 24 con el coeficiente de variación de aceptabilidad de la Tabla 5. El coeficiente de variación es igual al 3.2% que se encuentra en el límite de aceptación.

El porcentaje de diferencia con respecto al valor del diseño de mezcla de 21 MPa es de 6.1 %, el cual es menor al valor del 9.0 % que se expone en la Tabla 5 de la norma NTC 673, lo cual evidencia que es aceptable.

Tabla 25. Parámetros a comparar (operador B) con la tabla 5 (NTC 673).

Parámetros de aceptabilidad - Operador B	
Promedio	25,65 [MPa]
Coefficiente de variación%	8.58%
Rango de diferencia %	22.14%

La comparación con los parámetros de la norma NTC 673, son deficientes mostrando un coeficiente de variación de 8.58 % muy por encima del 3.2 % que acepta la norma en la Tabla 5.

La diferencia en cuanto al valor del diseño de mezcla es de 22.14% muy elevado comparado con el 9.0 % que acepta la norma NTC 673.

A continuación, se presenta la Tabla 26 y Tabla 27 que hace referencia a los parámetros usados para la aceptabilidad entre dos laboratorios.

Tabla 26. Resultados a comparar con los parámetros de la norma NTC 673 numeral 10.1.3 para pruebas interlaboratorio con el operador A.

Interlaboratorio - Operador A	
Máximo lab. externo	21.20 [MPa]
Mínimo operador A	18.90 [MPa]
%Diferencia 1	10.85%
Máximo operador A	20.10 [MPa]
Mínimo lab externo	19.40[MPa]
%Diferencia 2	3.48 %

Según la norma NTC 673 para pruebas interlaboratorio la diferencia no puede exceder el 14 %, los estudios realizados en la Tabla 26 muestran datos de diferencia de 10.85% y 3.48% menores al 14%, de tal manera que los ensayos realizados por el operador A son aceptables.

Tabla 27. Resultados a comparar con los parámetros de la norma NTC 673 numeral 10.1.3 para pruebas interlaboratorio con el operador B.

Interlaboratorio - Operador A	
Máximo lab externo	21.20 [MPa]
Mínimo operador B	22.90 [MPa]
%Diferencia 1	8.02%
Máximo operador B	28.60 [MPa]
Mínimo lab externo	19.40 [MPa]
%Diferencia 2	32.17 %

Se compara con los parámetros exigidos por la norma NTC 673, demostrando así un resultado deficiente con un porcentaje de diferencia de 32.17 %, por encima del 14 % permitido, de este modo se prueba que los ensayos del operador B no son aceptables.

5.4 RESULTADOS DE INCERTIDUMBRE

- El rango de la media del laboratorio externo según la distribución t-student debe estar entre 19.08 MPa y 21.17 MPa con una confiabilidad del 90% y una incertidumbre de 1.047 MPa.
- El rango de la media del operador A según la distribución t-student debe estar entre 19.27 y 20.18 con una confiabilidad del 90% y una incertidumbre de 0.456 MPa.
- El rango de la media del operador B según la distribución t-student debe estar entre 24.04 y 27.26 con una confiabilidad del 90% y una incertidumbre de 1.572 MPa.
- En el rango de incertidumbre del laboratorio externo certificado por la ONAC, está el valor del diseño de mezcla de 21 MPa, con una incertidumbre de 1.047 debido a que el tamaño de la muestra es de 4.
- En el rango de incertidumbre del operador A se ausenta el valor del diseño de mezcla de 21 MPa, pero está cercano con una incertidumbre de 0.456 menores a la del laboratorio externo debido a que el tamaño de la muestra es de 8.
- El rango de incertidumbre del operador B está alejado del valor de diseño de mezcla de 21 MPa, además sus datos son muy dispersos arrojando una incertidumbre de 1.572 cercana a la del laboratorio externo que es de 1.047. Esto se debe a que el número de muestras del laboratorio externo es de 4 y el número

de muestras del operador B es de 8. Entre menor sea el número de muestras mayor es la incertidumbre calculada.

6. CONCLUSIONES

- El porcentaje de repetibilidad del operador A de 7.05%, demuestra la precisión de los datos. Asimismo, el porcentaje de reproducibilidad de 1.37% demuestra la similitud con los resultados del laboratorio externo certificado por la ONAC.
- El porcentaje de repetibilidad del operador B de 21.49% demuestra la dispersión de los datos. Asimismo, el porcentaje de reproducibilidad de 48.43% demuestran la gran diferencia con los resultados del laboratorio externo certificado por la ONAC.
- Los estudios R&R del operador A evidenciaron un porcentaje de 7.19%, menor al 10% lo cual evidencia que el sistema de medición es óptimo.
- Los estudios R&R del operador B evidenciaron un porcentaje de 52.98% mayor al 30%, de este modo se constata que los ensayos requieren de revisión y mejoras.
- Los estudios estadísticos demostraron por los tres métodos: R&R, Pruebas de hipótesis y parámetros de aceptación de la norma NTC 673, que los ensayos del operador A y los ensayos del laboratorio externo certificado por la ONAC, se realizan en condiciones óptimas. Asimismo, demostró que los ensayos del operador B requieren de revisión y mejoras.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda capinar (refrenado de las tapas del cilindro con materiales como yeso o mezclas compuestas de azufre) los cilindros de concreto. Generalmente esta superficie es áspera y no plana, lo cual puede llevar a concentraciones de esfuerzo que disminuyen considerablemente la resistencia real del concreto. El capinado se debe realizar como mínimo 2 horas antes del ensayo.

Se recomienda que los operadores A y B revisen bien el proceso de ensayo de la NTC 673 debido a que se observó una falencia cuando se tomaban los datos característicos de área de cada probeta, los operadores asumían que el área es igual para todas las probetas, tomando el área del molde de los cilindros. La norma NTC 673 estipula que se debe medir el diámetro de cada probeta antes de fallarla.

Se recomienda que los operadores A y B, discutan sobre su proceso de ensayo para poder distinguir sus diferencias y corregirlas.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] LLAMOSA R, Luis Enrique; MEZA C., Luis G y BOTERO, Marcela. Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad Utilizando El Método De Promedios Y Rangos Para El Aseguramiento De La Calidad De Los Resultados De Calibración De Acuerdo Con La Norma Técnica NTC-ISO/IEC 17025. *Revista Scientia et Technica Año XIII*. 2007, nro. 35. pp. 1-6. ISSN 0122-1701

[2] RUIZ CARREÑO, Juan Carlos y MONTAÑÉS G., Robinson. Validación De La Repetibilidad Y Reproducibilidad Del Ensayo Bajo Carga Monotonía En Mezclas Asfálticas. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Bucaramanga, Santander: Universidad Industrial De Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. 2011. 140p

[3] CHAVARRIA IZUS, Amílcar Ricardo. Exactitud y Precisión Química. Trabajo del curso química general y analítica uno. Panamá: Universidad de Panamá. 2011. [En Línea], Junio, 23. Recuperado en 2017-01-05. Disponible en: <http://exactitudyprecision.blogspot.com.co/2011/06/exactitud-y-precision-quimica.html>.

[4] SESGO ESTADÍSTICO Y APUNTAMIENTO. Sesgo Estadístico. [En Línea]. <https://es.scribd.com/document/324001581/Sesgo-Estadístico-y-Apuntamiento>. [Citado el 05 de Enero 2017].

[5] DEFINICIÓN. Definición de Incertidumbre. [En Línea] <http://www.definicion.mx/incertidumbre/>. [Citado el 20 de Diciembre 2016].

[6] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Requisitos. NTC 673. Bogotá D.C.: El Instituto, 2010. 13p

[7] SCHMID, Wolfgang A. y LAZOS MARTÍNEZ, Ruben J. Guía Para Estimar La Incertidumbre De La Medición. México: Centro Nacional de Metrología. 2004 [En Línea], Abril. Recuperado en 2016-12-10. Disponible en: http://publicaciones.ops.org.ar/publicaciones/cursos_virtuales/OAA/Material/Gu%C3%ADa%20para%20estimar%20incertidumbre.pdf.

[8] Murray R., Spiegel y Larry J., Stephens. Estadística. 4 Ed. México: Mc graw Hill, 2009. 541p. ISBN 9789701068878

[9] LA INCERTIDUMBRE EN LAS MEDIDAS. Introducción a la Incertidumbre De Medidas. [En Línea] http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/introduccion-a-la-incertidumbre-de-medidas [Citado el 05 de Diciembre 2016].

BIBLIOGRAFÍA

CHAVARRIA IZUS, Amílcar Ricardo. Exactitud y Precisión Química. Trabajo del curso química general y analítica uno. Panamá: Universidad de Panamá. 2011. [En Línea], Junio, 23. Recuperado en 2017-01-05. Disponible en: <http://exactitudyprecision.blogspot.com.co/2011/06/exactitud-y-precision-quimica.html>.

DEFINICIÓN. Definición de Incertidumbre. [En Línea] <http://www.definicion.mx/incertidumbre/>. [Citado el 20 de Diciembre 2016].

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Requisitos. NTC 673. Bogotá D.C.: El Instituto, 2010. 13p

LA INCERTIDUMBRE EN LAS MEDIDAS. Introducción a la Incertidumbre De Medidas. [En Línea] http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/introduccion-a-la-incertidumbre-de-medidas [Citado el 05 de Diciembre 2016].

LLAMOSA R, Luis Enrique; MEZA C., Luis G y BOTERO, Marcela. Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad Utilizando El Método De Promedios Y Rangos Para El Aseguramiento De La Calidad De Los Resultados De Calibración De Acuerdo Con La Norma Técnica NTC-ISO/IEC 17025. *Revista Scientia et Technica Año XIII*. 2007, nro. 35. pp. 1-6. ISSN 0122-1701.

Murray R., Spiegel y Larry J., Stephens. Estadística. 4 Ed. México: Mc graw Hill, 2009. 541p. ISBN 9789701068878


RUIZ CARREÑO, Juan Carlos y MONTAÑÉS G., Robinson. Validación De La Repetibilidad Y Reproducibilidad Del Ensayo Bajo Carga Monotonía En Mezclas Asfálticas. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Bucaramanga, Santander: Universidad Industrial De Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. 2011. 140p

SCHMID, Wolfgang A. y LAZOS MARTÍNEZ, Ruben J. Guía Para Estimar La Incertidumbre De La Medición. México: Centro Nacional de Metrología. 2004 [En Línea], Abril. Recuperado en 2016-12-10. Disponible en: http://publicaciones.ops.org.ar/publicaciones/cursos_virtuales/OAA/Material/Gu%C3%ADa%20para%20estimar%20incertidumbre.pdf.

SESGO ESTADÍSTICO Y APUNTAMIENTO. Sesgo Estadístico. [En Línea]. <https://es.scribd.com/document/324001581/Sesgo-Estadístico-y-Apuntamiento>. [Citado el 05 de Enero 2017].

ANEXOS

ANEXO A: ENSAYO FISICO DE AGREGADOS



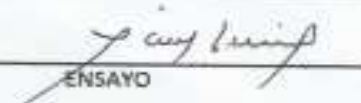
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO FISICOS DE LOS AGREGADOS

SOLICITANTE :		PROYECTO ESTUDIANTES	SEPTIEMBRE 15 2016		
MATERIAL, PROCEDENCIA, DESCRIPCION :					
GRAVEDADES ESPECIFICAS					
	A FINO	A GRUESO		A FINO	A GRUESO
REAL	2,68	2,62	PESO UNITARIO SUELTO	1450Kg/m3	1415Kg/m3
APARENTE	2,51	2,5	PESO UNITARIO COMPACTO	1500Kg/m3	1480Kg/m3
APARENTE SSS	2,63	2,6	ABSORCION	2%	1%
			PORCENTAJE DE VACIO	38%	39%
MATERIA ORGANICA	FINO # 1		NORMAS M T C - 77 - 117 - 92 - 176 - 217		

	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
	A. FINO	4	109,4	10,94	10,94
8		255,8	25,58	36,52	63,48
16		166,1	16,61	53,13	46,87
30		144,8	14,48	67,61	32,39
50		157,8	15,78	83,39	16,61
100		100,5	10,05	93,44	6,56
FONDO		65	6,5	99,94	0,06
TOTAL	999,4	99,94	Peso muestra		1000gr

MODULO DE FINURA	3,45	TAMANO EFECTIVO	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD
1 1/2			
1			
3/4			
1/2	8427	76,61	76,61
3/8	1695	15,41	92,02
# 4	878	7,98	100
FONDO			
TOTAL	11000		PESO MUESTRA 11000gr
TAMANO MÁXIMO (TAMANO NOMINAL)	3/4	TAMANO EFECTIVO	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD
	3/4		

OBSERVACIONES


 ENSAYO

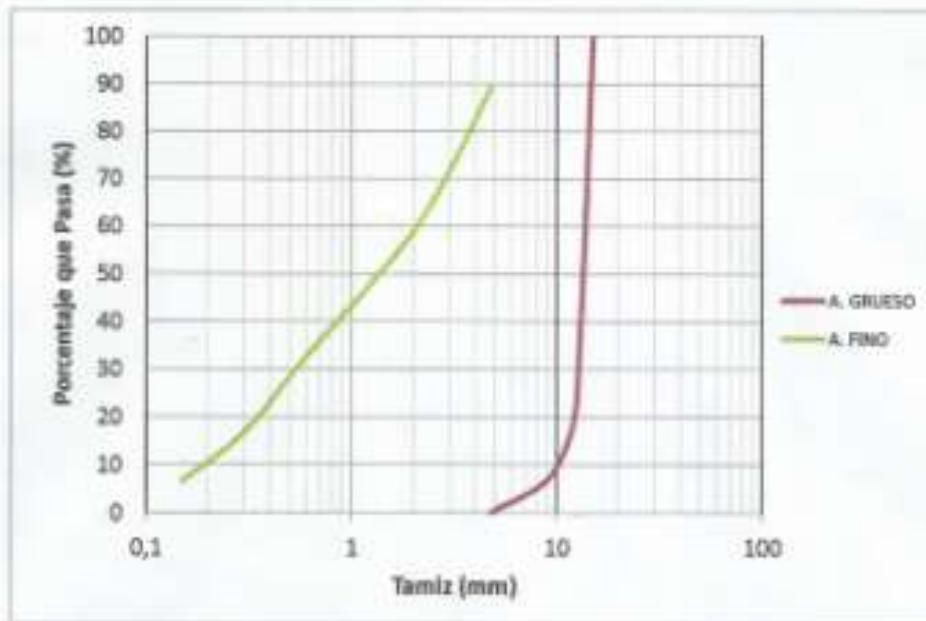
Director Esc. Ing. Civil



LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION

ENSAYO FISICOS DE LOS AGREGADOS

SOLICITANTE :		PROYECTO ESTUDIANTES	SEPTIEMBRE 15 2020	
MATERIAL/PROCEDENCIA/DESCRIPCION:				
GRAVEDADES ESPECIFICAS				
	A FINO	A GRUESO		
REAL	2,68	2,62	PESO UNITARIO SUELTO	A FINO 1450Kg/m ³ A GRUESO 1415Kg/m ³
ARIMATE	2,51	2,5	PESO UNITARIO COMPACTO	1500Kg/m ³ 1480Kg/m ³
ARIMATE 100	2,63	2,6	ABSORCION	2% 1%
MATERIA ORGANICA FINO & 1			PORCENTAJE DE VACIO 38% 39%	
			NORMAS R T C - 77	



OBSERVACIONES

[Handwritten Signature]

ENSAYO

ctor Esc. Ing. Civil

ANEXO B: INFORME DISEÑO DE MEZCLA



LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION INFORME DISEÑO MEZCLAS DE HORMIGON

SOLICITANTE : PROYECTO ESTUDIANTES FECHA SEPTIEMBRE 19 2016
 RESISTENCIA SOLICITADA 3000 P.S.I 210 Kg/Cm2
 CONSISTENCIA REQUERIDA 3 PULGADAS DE SLUMP

RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AGREGADOS

AGREGADO GRUESO Material Aida
 descripción y procedencia

Peso específico (SSS)	<u>2630</u>	<u>Kg/m3</u>
Peso unitario (SSS)	<u>1480</u>	<u>Kg/m3</u>
Absorción máxima	<u>1</u>	<u>%</u>
Tamaño máximo Nominal	<u>1</u>	<u>pulgadas</u>

AGREGADO FINO Material Aida
 descripción y procedencia

Peso específico (SSS)	<u>2630</u>	
Peso unitario (SSS)	<u>1500</u>	<u>Kg/m3</u>
Absorción máxima	<u>2</u>	
Modulo de finura	<u>3,45</u>	

DISEÑO POR METRO CUBICO DE CONCRETO

	Peso Kg	Volumen Ltrs
Agua	<u>210</u>	<u>210</u>
Cemento, Portland, tipo I	<u>400</u>	<u>138</u>
Agregado Fino	<u>800</u>	<u>304</u>
Agregado grueso	<u>905</u>	<u>348</u>

Proporciones 1 DE CEMENTO 2,0 ARENA 2,3 TRITURADO

NOTA : DATOS EN PESO PARA 1m3 DE HORMIGON CON MATERIALES SECOS.

CEMENTO BOYACA HOLCIM, PESO ESPECIFICO 2.9, RELACION A/c .53

OBRA : _____

DISEÑO

Director Esc. Ing. Civil

INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SOBRE CILINDROS DE CONCRETO

COMPANIA:	DAVID LEONARDO SIERRA CARRILLO	PLANTA:	Trabajo de Grado
UBICACION:	Bucaramanga, Colombia	UBICACION:	---
DIRECCION:	Carrera 31 No 21 - 28	DIRECCION:	---
CONTACTO:	Sr. David Leonardo Sierra	TELEFONO:	---
TELEFONO:	3208965753		

FECHA DE RECEPCION:	2016-10-20	FECHA DE RESULTADO:	2016-10-24
ORDEN DE TRABAJO:	15091	INFORME No	904-16

Ensayo de resistencia a la compresión de especimenes cilindricos de concreto. NTC 673 : 2010-02-17.

LABORATORIO DEL CONCRETO

Cilindro No	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Área (mm ²)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Relación L/D	Factor de Corrección L/D	Resistencia de Rotura		Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Eficiencia (%)	Tipo de Fractura
		Longitud	Diámetro										(MPa)	(kg/cm ²)			
1	Muestra de Concreto # 1	211	104,3	8535,8	4,082	2270	16-09-21	16-10-21	31	180,95	2,02	1,00	21,2	212,0	210,9	115	5
2	Muestra de Concreto # 1	212	104,7	8609,6	4,180	2290	16-09-21	16-10-21	31	167,02	2,03	1,00	19,4	199,0	210,9	94	5
3	Muestra de Concreto # 1	212	104,0	8486,7	4,139	2300	16-09-21	16-10-21	31	170,58	2,04	1,00	20,1	201,0	210,9	65	3
4	Muestra de Concreto # 1	213	104,7	8609,6	4,147	2260	16-09-21	16-10-21	31	170,47	2,04	1,00	19,8	198,0	210,9	60	3
5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
9	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
11	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
12	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
13	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
14	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
16	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
17	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
19	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
21	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
22	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
23	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
26	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
27	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
28	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
29	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
30	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
31	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
32	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
33	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
34	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
35	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
36	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
37	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
38	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
39	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
40	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
41	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
42	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
43	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
44	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
45	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
46	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
47	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
48	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
49	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

OBSERVACIONES: Ninguna.