



# Valoración de la aportación a la resistencia en compresión del concreto con adición de sílice obtenido de la cascarilla de arroz

*William David Tambo<sup>a</sup>  
Harold Andrés Romero<sup>b</sup>*

## Resumen

El presente trabajo se basa en el aporte de materiales desechados que contribuyan a la mejora de la propiedad mecánica del concreto, específicamente en la resistencia a la compresión. Esta investigación surge como un mecanismo de aprovechamiento de residuos industriales como la cascarilla de arroz, puesto que el sílice que se obtiene de este residuo puede ayudar a mejorar la resistencia a la compresión del concreto. En el desarrollo de esta investigación una de las principales conclusiones es que la adición de elementos puzolánicos como la ceniza de la cascarilla de arroz sí mejora las propiedades mecánicas y químicas del concreto: se puede sustituir parcialmente un 10 % de la masa significativa del concreto sin perder propiedades mecánicas. Para ello se realizaron las respectivas pruebas normativas desde el diseño de mezcla, curado y fallo de cilindros, para determinar resistencia a la compresión de estos y determinar una correlación de las resistencias respecto a las dos

resistencias diseñadas de los cilindros adicionales con sílice y sin el aditivo.

**Palabras clave:** cascarilla de arroz; ceniza de sílice; aditivos al concreto; resistencia a la compresión.

## Abstract

This current work is based on the contribution of discarded materials that allow for the improvement of the mechanical property of concrete, specifically the compressive strength. This research arises as a mechanism to take advantage of industrial waste such as rice husks, since the silica obtained from this waste can help to improve the compressive strength of concrete. In the development of this research, one of the main conclusions is that the addition of pozzolanic elements such as rice husk ash does improve the mechanical and chemical properties of concrete: 10 % of the significant mass of concrete can be partially substituted without losing mechanical properties. For this purpose,

---

a Programa de Ingeniería Civil, Universidad Antonio Nariño. Sede Bogotá, Colombia. [wtambo744@uan.edu.co](mailto:wtambo744@uan.edu.co)

b Programa de Ingeniería Civil, Universidad Antonio Nariño. Sede Bogotá, Colombia. [hromero180@uan.edu.co](mailto:hromero180@uan.edu.co)

the respective normative tests were carried out from the mix design, curing and failure of the cylinders, to determine their compressive strength and to determine a correlation of the strengths with respect to the two designed strengths of the cylinders added with silica and without the additive.

**Keywords:** rice husk; silica; ash; concrete; compressive strength.

## Introducción

Se ha observado que en procesos constructivos se pueden utilizar agregados o complementos para fabricar estructuras, donde se usa inicialmente la mezcla de hormigón compuesta por cemento, arena y piedras llamadas “chancadas o triturado”; en ellas se identifican componentes de durabilidad y resistencia con el fin de dar seguridad a las personas que permanecen o se albergan en estas edificaciones [1].

En la construcción de las edificaciones se han probado varios complementos en las composiciones que ayuden a dar resistencia, durabilidad [2], sismorresistencia y mejoras en el proceso constructivo que garanticen mayor sostenibilidad del mismo (Meritt, 1992). En ese sentido, la cascarilla de arroz se presenta como una alternativa interesante, puesto que corresponde hasta el 20% en peso del grano y además está compuesto en un 90 % en sílice; estos silicatos reaccionan químicamente en el concreto generando silicato dicálcico y tricálcico, componentes que pueden reducir la porosidad y la permeabilidad de la mezcla [4].

## Materiales y metodología

Con el propósito de examinar la resistencia en la presión o compresión de la mezcla adicionada con sílice de cascarilla de arroz, y con la es-

pera de la mejora de esta variable, se desarrolló el experimento de acuerdo con normatividad vigente y aplicable para cada tipo de ensayo [5]. Para ello, la Universidad Antonio Nariño cuenta con la máquina de ensayo de compresión que provee las velocidades de carga, los hornos y la mufla para la caracterización de la cascarilla. Por parte de los estudiantes se suministraron los materiales para las mezclas de concreto empleadas en los ensayos.

### *Humedad representativa de la cascarilla*

Luego de obtener la cascarilla de arroz, se procede con el proceso de caracterización de la humedad: se utilizó una balanza de humedad (Figura 1) con tres muestras del mismo peso, cada una a 150°C; esta balanza debe contar con un rango de temperatura mínimo entre 100° a 105°, en donde determina la humedad representativa de acuerdo con un peso determinado de muestra, para este caso 2 gramos.



Fig. 1. Balanza de humedad.

### *Sólidos volátiles de la cascarilla*

Se puede consultar la norma ASTM D 1102-84 donde encontraremos el método más viable para la caracterización de este parámetro, a partir de una oxidación del material (cascarilla de arroz)

en estado seco a una temperatura de 550°C a 600°C para oxidar toda la materia orgánica y que las cenizas resultantes tengan un grado de pureza de un 95% a 100 %. Esta masa de cenizas puede emplearse para calcular los sólidos volátiles, dado los minerales que componen la cascarilla de arroz y que no combustionan [6].

Para ello, previamente se utiliza una balanza analítica que sea correctamente sensible a 0.0001 mg; en la Figura 26 se ilustra la precisión con dos pesos diferentes de muestras previo a la incineración. Es de tener en cuenta que los crisoles no tienen las mismas características de peso, así que toca pesarlos antes de realizar los ensayos.

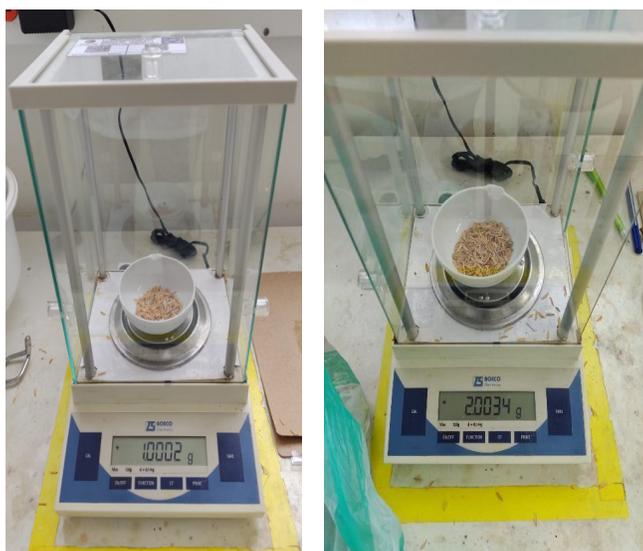


Fig. 2. Crisoles con cantidades similares de cascarilla de arroz en la balanza de precisión.

### *Obtención de ceniza de la cascarilla de arroz*

Para obtener este resultado se generaron procesos de quema caseros, en donde se colocaron dos libras de cascarilla alrededor de un tubo que actúa como respirador tipo chimenea para ser el núcleo de la combustión en la quema de la cascarilla y así mismo poder, por este mismo tubo, introducir aire controlado por medio de una pistola híbrida (gravedad) con 2.0 bar, lo que proporciona un flujo aproximado de aire de 350 litros por minuto, generando así avivamiento en la combustión interna de la quema para que se produzca la cascarilla de arroz. Este método se puede apreciar en la Figura 3.

### *Elaboración de especímenes de concreto con el sílice de la cascarilla*

Teniendo las cenizas de la cascarilla, y habiendo calculado las dosificaciones del diseño de mezcla, se procede a pesar el cemento, la arena, el material triturado (cenizas) y a medir el volumen del agua para realizar la mezcla en un trompo. Luego de formar los cilindros y su secado, se realiza el curado del espécimen por almacenamiento (48h) para garantizar la pérdida de humedad. Finalmente, los cilindros son dispuestos en la máquina de velocidad de carga de la Universidad Antonio Nariño (Figura 4) y se les aplica una velocidad de falla de 0.250 MPa/s,

se aplica la carga de compresión hasta que el indicador muestre que esta misma va decreciendo

y el espécimen muestra un patrón de fractura según la NTC 673 [7].



Fig. 3. Quema de la cascarilla de arroz por una chimenea casera.



Fig. 4. Máquina de velocidad de carga con cilindro ajustado para pruebas de resistencia. Antes del fallo (izq.) y luego del fallo (der.).

## Resultados

### *Humedad representativa de la cascarilla de arroz*

Para la humedad representativa de la cascarilla se realizó la prueba por triplicado: se evidenció que

el promedio fue de 4.83 %; los valores obtenidos en este ensayo se representan en la Tabla 1.

**TABLA 1.**  
VALORES OBTENIDOS DE HUMEDAD POR TRIPLICADO.

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% Pérdida	% Resultante
1	2	1,9	5	95
2	2	1,91	4,5	95,5
3	2	1,9	5	95,5
		% humedad :	4,83	

**Sólidos volátiles representativos de la cascarilla**

Para determinar los sólidos volátiles de la cascarilla, se realizó con una masa de 2 gramos por

dos periodos de dos horas hasta que la pérdida en masa no fuera mayor a 0.0001 g; el consolidado se muestra en las tablas 2 y 3.

**TABLA 2.**  
RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DE PARTÍCULAS VOLÁTILES, POR DOS HORAS.

PARTICULAS VOLATILES 2h									
Crisol	Peso crisol (g)	Peso muestra (g)	Peso Total (g)	Peso 1 2 h en mufla	Peso 2 2 h en mufla	Pérdida (g)	Peso después de quema	Volátiles (G)	Volátiles %
1	54,5676	2,0043	56,5719	54,8148	54,8138	0,001	1,7571	0,2472	12,33
2	53,4945	2,0028	55,4973	53,7556	53,7554	0,0002	1,7417	0,2611	13,04
3	67,0823	2,0041	69,0864	67,3437	67,3413	0,0024	1,7427	0,2614	13,04
						% Representativo Volátiles:			12,80

Se evidencia que la muestra de cascarilla de arroz tiene un valor de sólidos volátiles de 12.80 % en

promedio respecto a su masa inicial, para el experimento de dos horas.



**TABLA 3.**  
RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DE PARTÍCULAS VOLÁTILES, POR CUATRO HORAS.

Partículas volátiles 4 h								
Cri-sol	Peso crisol (g)	Peso mues-tra (g)	Peso Total (g)	Peso 4h en mufla	Pérdida (g)	Peso des-pués de quema	VOLÁTI-LES (g)	VOLÁTILES %
1	53,4953	1,0003	54,4956	53,6176	0,878	0,878	0,1223	12,23
2	54,5687	1,0001	55,5688	54,6929	0,8759	0,8759	0,1242	12,42
3	52,4976	1,0001	53,4977	52,6592	0,8385	0,8385	0,1616	16,16

Luego de cuatro horas el valor de sólidos volátiles fue 13.60 % en promedio respecto a su masa inicial. Además, se evidencia que la variación porcentual de la masa varía proporcionalmente al tiempo de quema de la cascarilla. La diferencia entre los volátiles con dos horas de incinerado de más es de 0.8 % respecto a su masa.

#### *Obtención de la ceniza de la cascarilla de arroz*

Se evidencia que de un 100 % (1000 gramos) se obtiene un 10 % de ceniza (100 gramos) quedando un 80 % (800 gramos) de cascarilla carbonizada y un 10 % (100 gramos) de partículas volátiles que se pierden en el proceso. Puede considerarse

la quema muy favorable, pues se obtuvo entre un 80% y 100 % de pureza de la ceniza (blanca tipo plateada), lo que nos permitió generar buen desempeño en la mezcla de concreto.

### **Pruebas resistencia a la compresión**

De acuerdo a lo mencionado en la metodología, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en edades de fallo de 7 y 28 días con cilindros de concreto adicionados con sílice. El valor promedio de los fallos y de los esfuerzos para las dos resistencias diseñadas se presenta en la Tabla 4.

**TABLA 4.**  
CONSOLIDADO RESISTENCIAS A COMPRESIÓN.

Edad del cilindro en días	3000 psi		4000 psi	
	Sin ceniza (MPa)	Con ceniza (MPa)	Sin ceniza (MPa)	Con ceniza (MPa)
7	11,16	12,83	13,55	15,58
28	22,13	26,97	30,44	36,74

Como se puede evidenciar el concreto que contiene la adición de ceniza obtuvo una mayor resistencia a la compresión respecto al concreto que no tiene la dosificación de la ceniza de la cascarilla de arroz. Vale recordar que la adición de cenizas de la cascarilla de arroz fue de 10 % respecto a la masa del cemento. Para las dos diferentes presiones empleadas se evidencia que una mayor resistencia con la adición de la ceniza en mezcla.

Para el análisis de resultado, se elaboró una gráfica de resistencia contra edades de fallo de la mezcla de menor resistencia, tal y como se ilustra en la Figura 5. Cabe resaltar que, para hacer este procedimiento bajo la normatividad para este tipo de ensayos, se debió tomar medidas de los cilindros fallados previamente, así como la configuración de la máquina a una velocidad de falla de 0.25 MPa/s.

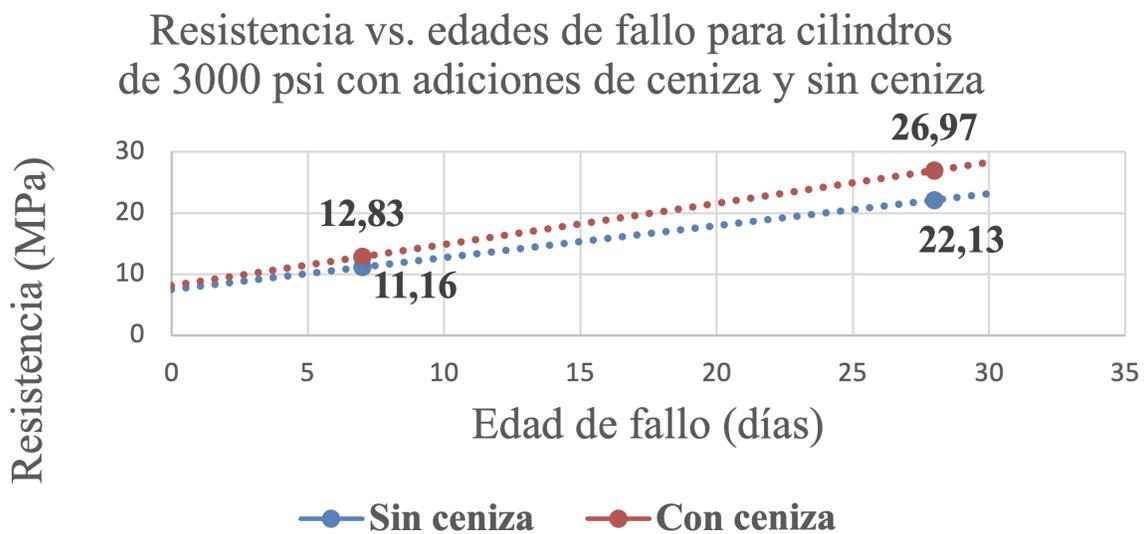


Fig. 5. CoMParación de muestras de la evolución de la resistencia 3000 psi.

Para la resistencia de 3000 psi se muestra una evolución de resistencia representativa, ya que a los siete días hay una variación positiva de resistencia de 1.67 MPa, y al cabo de los 28 días se presenta una variación de 4.84 MPa, confirmándose así la teoría de que el sílice de cualquier procedencia ayuda a mejorar la resistencia del concreto [5]; igualmente se puede destacar que el

curado del concreto mejora la resistencia en función del tiempo; para este caso se evidencia que el concreto ganó alrededor del 28% de su resistencia patrón en el curado luego de 48 h.

Para el análisis de resultado de las muestras de 4000 psi, se realizó una gráfica de resistencia contra edades de fallo de la mezcla de menor resistencia, tal y como se ilustra en la Figura 6.

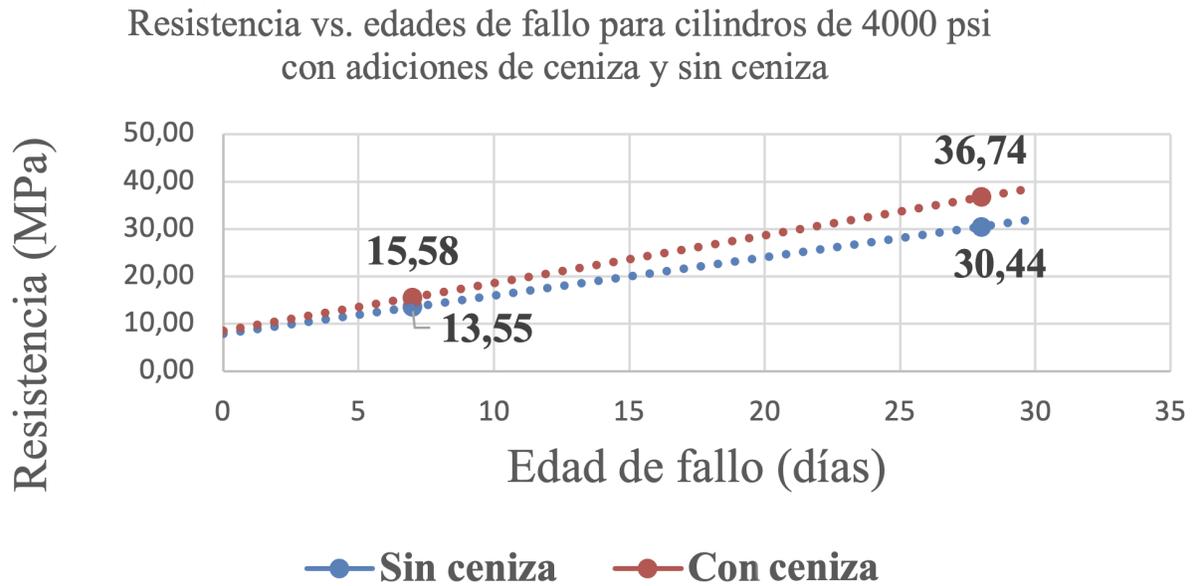


Fig. 6. CoMParación de muestras de la evolución de la resistencia 3000 psi.

Para el experimento a 4000 psi se muestra una evolución de resistencia representativa, ya que a los siete días hay una variación positiva de resistencia de 2.03 MPa, y al cabo de los 28 días se presenta una variación de 6.83 MPa, confirmándose así la teoría de que el sílice de cualquier procedencia ayuda a mejorar la resistencia del concreto, también confirmando que el curado del concreto mejora la resistencia en función del tiempo; para este caso se evidencia que el concreto ganó alrededor del 38 % de su resistencia patrón en el curado a los 28 días. Sin embargo, el estado del conocimiento nos indica que se ha comprobado que los aumentos de resistencia van desde el 10 % de su resistencia patrón al 30 %.

Para el análisis de resultado de las muestras de 4000 psi y 3000 psi, se realizó una gráfica de resistencia contra edades de fallo de la mezcla de menor resistencia, tal y como se ilustra en la Figura 7.

Durante todo el proceso que se realizó en los ensayos a compresión de los cilindros de concreto, se pudo ver la ganancia de resistencia; se evidencia que también la evolución de la resistencia es más rápida en los primeros días alcanzando entre el 40 % y el 50 % de esta, la cual sigue evolucionando con el tiempo, pero más lentamente. La gráfica también nos muestra que la resistencia varía más en concretos de mayores resistencias con la adición de sílice; en promedio la ganancia de resistencia para este trabajo de investigación fue de un 30 % respecto a los dos especímenes.

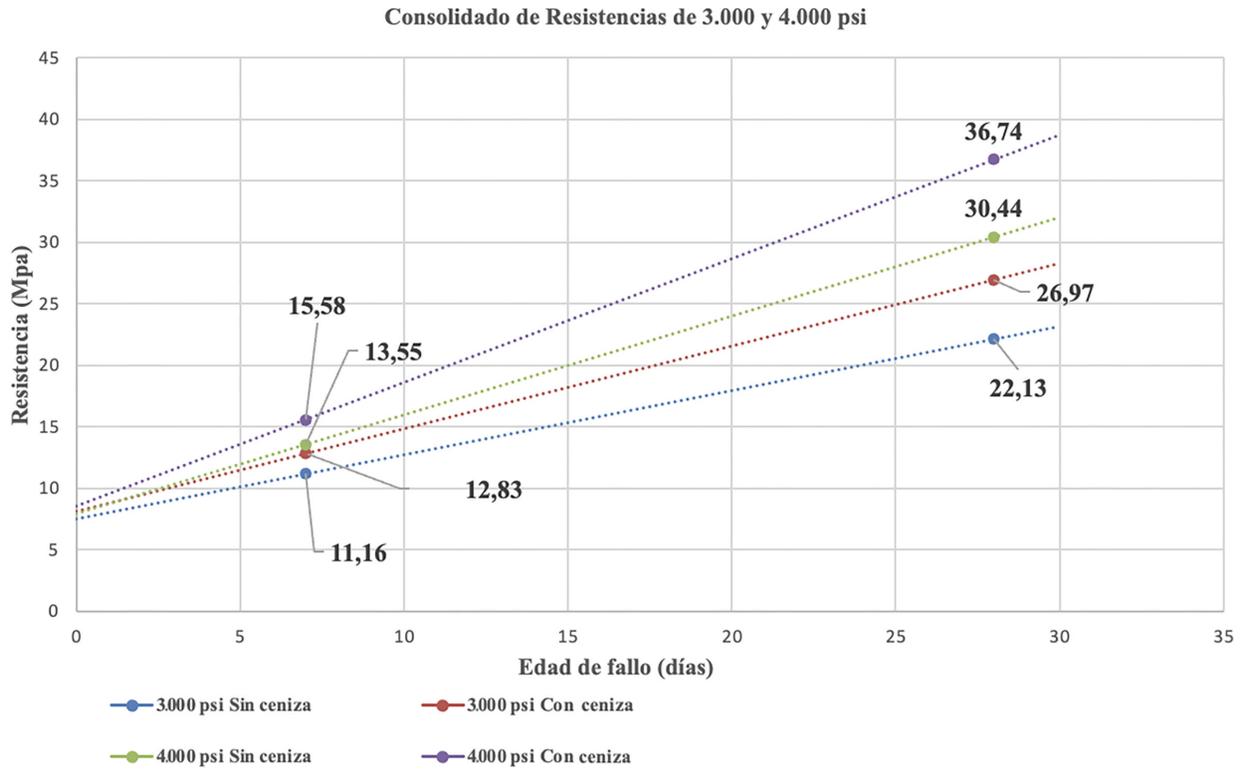


Fig. 7. Gráfica de las dos resistencias diseñadas.

## Conclusiones

Referente a la resistencia que se obtiene en el concreto podemos concluir que con un 10% del peso total del cemento se obtiene un incremento en la resistencia; habría necesidad de investigar posteriormente si al aumentar porcentaje podríamos obtener mayores beneficios y resistencias.

Podemos concluir que los tiempos de curado en el concreto deben ser importantes para que alcance sus propiedades bajo las cuales fueron diseñados debido a que, como se pudo evidenciar, la edad de curado aumentó la resistencia del concreto.

Se debe tener presente que con este tipo de implementación del sílice, puede darse un mejor aprovechamiento a la cascarilla de arroz, subproducto de la industria alimenticia que, aunque tiene diversos usos en agricultura, no se está empleando con todo su potencial.

## Declaraciones

- Autoría: los autores declaran la originalidad de los resultados presentados y su contribución específica dentro del artículo.
- Conflicto de intereses: los autores declaran no tener ningún conflicto de interés para la publicación del artículo.

## Referencias

- [1] S.H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W.C. Panarese, & J. Tenesi, J. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (1ra Edición). Skokie, Illinois: Portland Cement Association, 2004.
- [2] P.K. Mehta & P.J.M. Monteiro. *Concreto Estructura, propiedades y materiales*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1998.
- [3] F.S. Merritt. *Manual del ingeniero civil*. Tomo I, 4ta Edición. MCGraw-Hill, 1992.
- [4] L.M. Ahumada & J. E. Rodríguez-Páez. Uso del SiO<sub>2</sub> obtenido de la cascarilla de arroz en la síntesis de silicatos de calcio. *Revista Acad. Coloma. Cien.* vol. 30, no. 117, pp. 581-594, 2006.
- Disponible: [https://www.accefyn.com/revista/Vol\\_30/117/581%20a%20594.pdf](https://www.accefyn.com/revista/Vol_30/117/581%20a%20594.pdf)
- [5] F.C. Lo, M.G. Lee, S.L. Yand & S.L. Lo. Effect of coal ash and rice husk ash partial replacement in ordinary Portland cement on previous concrete. *Constr. Build. Mater.*, vol. 286, p. 122-947, 2021.
- [6] ASTM International Standard Test Method for Ash on Wood. *D 1102-1184*, vol. 84, June, p. 2, 2001.
- [7] Icontec. Normas técnicas Colombianas NTC. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes de concreto NTC 673. Bogotá D.C.: Instituto Nacional de Normas Técnicas, 2010.

