

Efecto de diferentes tipos de agregados de la zona centro de Colombia en la relación de Poisson del concreto estructural

Mateo Gutiérrez González

Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, mateo.gutierrez@ugc.edu.co

Lucio Guillermo López Yépez

Universidad de la Salle, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, luglopez@unisalle.edu.co

Arnold Giuseppe Gutiérrez Torres

Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, arnold.gutierrez@ugc.edu.co

Alfonso Amezquita Nieto

Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, facultad.ingenieriacivil@ugc.edu.co

RESUMEN

La relación de Poisson es una de las propiedades mecánicas más importantes de los materiales debido a su uso habitual en el diseño estructural. En Colombia Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente establece que la relación de Poisson del concreto es de 0.20, valor que obedece a resultados de ensayos con materiales que no son propios del país. En esta investigación se analizó el efecto de la variación del tipo de agregado en la relación de Poisson del concreto producido en la zona centro de Colombia. Para este efecto, se analizaron tres diferentes tipos de agregados gruesos (Agregado de origen sedimentario proveniente del río Tunjuelo-Cundinamarca, agregado de origen ígneo proveniente del río Coello-Tolima y agregado con un tipo de origen variado proveniente del río Guayuriba-Meta), un solo tipo de agregado fino y cemento Portland tipo 1. Se analizaron dos tipos de curado: Curado por inmersión y curado al aire. Se ensayaron probetas con diferente relación Agua/Cementante (0.45, 0.55 y 0.65). Se realizaron ensayos a diferentes edades: 28, 56, 90, 150 y 250 días. Se encontró que la relación de Poisson no varía significativamente con ninguna de estas variables y que el valor promedio encontrado para un total de 247 ensayos fue de 0.202, lo cual coincide con lo expuesto en Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Palabras claves: Agregados, Concreto, Relación de Poisson.

ABSTRACT

Poisson's ratio is one of the most important mechanical properties in the materials because its use is mandatory in the structural design. The construction codes in Colombia have established the concrete's Poisson ratio is 0.20, but this value was taken from experiments that didn't take in account the main characteristics of the Colombian concrete. The variation of the Poisson's ratio for a concrete made in the center of Colombia has been analyzed on this research. Three different coarse aggregates were analyzed (Aggregate of sedimentary origin from Tunjuelo river on Cundinamarca, aggregate of igneous origin from Coello river on Tolima and aggregate of different kind of origin from Guayuriba river on Meta), just one fine aggregate and Portland cement were taken. Two kinds of curing were made, without curing and submerged curing. Samples with different water/cement ratio were tested (0.45, 0.55 and 0.65). The tests were carried out at different ages (28, 56, 90, 150 and 250 days). The results show that the Poisson's relation doesn't have a significant variation with no one of those variables. The found average

value of Poisson's ratio was 0.202, which is almost equal the concrete's value presented on the Colombian construction code.

Keywords: Poisson's ratio, Concrete, coarse aggregate.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, algunos materiales de construcción como el concreto, presentan valores de propiedades mecánicas diferentes a los valores conocidos a nivel mundial debido a las diferencias en los componentes del material. La gran mayoría de los agregados pétreos utilizados en Colombia son de origen litológico sedimentario e ígneo, siendo esto un factor de gran importancia a la hora de determinar los valores del módulo de elasticidad y de la relación de Poisson en el concreto debido a la gran influencia del origen geológico sobre dichas propiedades.

La relación de Poisson se define como la relación que existe entre las deformaciones unitarias transversales y las deformaciones unitarias longitudinales (ver Figura 1) de un material que es sometido a una carga unidireccional, sus valores siempre estarán definidos entre 0 y 0.5 (Popov, 2000) y se expresa matemáticamente como se muestra en la ecuación 1.

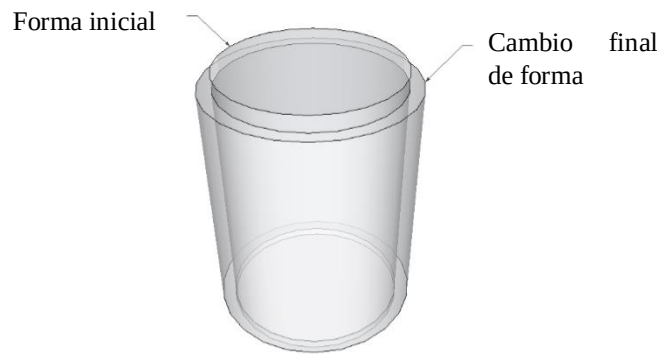


Figura 1. Cambio de forma transversal y longitudinal del cilindro de concreto por acción de la carga uniaxial.

$$\nu = -\frac{\epsilon_t}{\epsilon_l} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde,

ν , es la relación de Poisson.

ϵ_t , es la deformación unitaria transversal

ϵ_l , es la deformación unitaria longitudinal

Con base en la teoría de la elasticidad, la relación de Poisson también es utilizada en las ecuaciones de deformación (Timoshenko, 1951), basadas en las ley de Hooke, siendo estas expresiones (ecuación 2) las utilizadas por los programas computacionales, en la modelación numérica del sólido tridimensional para el diseño estructural.

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \epsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)] \\ \epsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] \end{aligned} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

σ_x , corresponde al esfuerzo normal a lo largo del eje x.

σ_y , corresponde al esfuerzo normal a lo largo del eje y.

σ_z , corresponde al esfuerzo normal a lo largo del eje z.

ε_x , es la deformación longitudinal unitaria en el eje x.

ε_y , es la deformación longitudinal unitaria en el eje y.

ε_z , es la deformación longitudinal unitaria en el eje z.

De igual manera, la relación de Poisson está directamente relacionada con el comportamiento a cortante del material mediante la ecuación 3, la cual vincula los tres parámetros mecánicos fundamentales de los materiales (Módulo elástico a cortante, módulo de elasticidad y relación de Poisson).

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde,

G , es el módulo elástico a Cortante.

E , es el módulo de elasticidad.

ν , es la relación de Poisson.

Es por lo anterior que este parámetro tiene relevante importancia para el diseño estructural, independientemente del material usado en la construcción.

Para el caso del concreto este parámetro se determina mediante los procedimientos descritos en la norma técnica colombiana NTC 4025 (ASTM C469), la cual establece que se debe trazar una línea secante en la curva esfuerzo deformación no lineal, para poder determinar la línea elástica, la cual se lleva hasta el 40 % de la resistencia a compresión última. Una vez definida la pendiente elástica se relacionan las deformaciones transversales con las longitudinales para obtener la relación de Poisson mediante la ecuación 4.

$$\nu = \frac{(\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})}{(\varepsilon_2 - 0.000050)} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde,

ν , relación de Poisson.

ε_{t2} , deformación transversal en la altura media del espécimen producida por el esfuerzo correspondiente al 40 % de la carga última.

ε_{t1} , deformación transversal en la altura media del espécimen producida por el esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal, de las 50 millonésimas, en MPa.

ε_2 , deformación longitudinal producida por el esfuerzo correspondiente al 40 % de la carga última..

En Colombia el Reglamento Nacional de Construcciones Sismo Resistentes NSR 10, en sus comentarios CR8.5.1 establece que en caso de que no se disponga de un valor experimental del módulo de Poisson puede tomarse como 0.20 (AIS, 2010). Otros autores establecen valores de 0.15 a 0.20 (Anson y Newman, 1966).

Adicionalmente en la NSR – 10, comentario CR8.5.1, se expone que otras propiedades mecánicas fundamentales como el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión inconfiada, varían con el origen litológico del agregado utilizado en la fabricación del concreto. Por lo tanto, se hace necesario conocer como puede ser la variación de la relación de Poisson al tener agregados gruesos de diferente origen litológico.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. MATERIALES

En esta investigación se utilizaron agregados gruesos procedentes del río Tunjuelo (AG1), del cual se pudo establecer su origen litológico como sedimentario, agregados procedentes del río Guayuriba (AG2) cuya procedencia establece que está compuesto de agregados de origen ígneo y con betas de metamórfico definiendo esto un tipo de agregado variado para el estudio, de igual manera se realizó una tercera caracterización petrográfica para el agregado del río Coello (AG3) arrojando como resultado un origen litológico ígneo, la caracterización del origen litológico de los agregados gruesos puede observarse en la Tabla 1.

Tabla 1: Caracterización del origen litológico de los agregados gruesos de Tunjuelo (AG1), Guayuriba (AG2) y Coello (AG3).

Constituyentes	Porcentaje de Partículas																							
	T-3/4" a 1/2"			T-3/8"			T-No4			T-No8			T-No16			T-No30			T-No100			T-No200		
	AG1	AG2	AG3	AG1	AG2	AG3	AG1	AG2	AG3	AG1	AG2	AG3	AG1	AG2	AG3	AG1	AG2	AG3	AG1	AG2	AG3	AG1	AG2	AG3
Igneos	0	68.1	83.0	0	46.0	85.3	0.0	0.0	82.7	0.0	34.5	85.7	0.0	48.1	85.7	0.0	28.4	60.4	0.0	24.7	33.7	0.0	0	0
Sedimentarios	0	7.7	4.1	0	30.0	4.7	100.0	97.5	4.7	100.0	30.9	6.5	97.5	24.0	3.3	60.2	20.9	6.6	16.2	0.0	0.0	18.1	0	0
Metamórficos	0	24.2	12.3	0	22.0	10.0	0.0	0.0	12.0	0.0	34.5	5.2	0.0	23.3	7.7	0.0	3.0	4.7	0.0	1.0	2.2	0.0	0	0
Monominerales	0	0.0	0.0	0	2.0	0.0	0.0	2.5	0.7	0.0	0.0	2.6	2.5	4.7	2.2	39.8	46.3	26.4	81.9	74.2	64.0	79.0	0	0
Otros	0	0.0	0.6	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	1.5	1.9	2.0	0.0	0.0	3.0	0	0
Total	0	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0

El agregado fino utilizado fue extraído del cono del Tunjuelo en la sabana de Bogotá y como cementante se utilizó cemento portland tipo I. ver caracterización físico-mecánica de los componentes del concreto Tabla 2.

Tabla 2: Caracterización físico-mecánica de los diferentes componentes del concreto utilizado.

Propiedad	Caracterización mecánica				
	AG1	AG2	AG3	Afino	Cemento
Densidad	2.46 kg/m ³	2.51 kg/m ³	2.52 kg/m ³	2.33 g/cm ³	2.98 g/cm ³
Masa Unitaria suelta	1587 kg/m ³	1677 kg/m ³	1669 kg/m ³	1640.3 kg/m ³	0
Masa unitaria compactada	1784 kg/m ³	1776 kg/m ³	1783 kg/m ³	1772.7 kg/m ³	0
Modulo de finura	0	0	0	2.33	0
absorción	2.54%	2.83%	2.69%	11.85%	0

2.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En el desarrollo de esta investigación se plantearon dos tipos de curados (curado por inmersión en agua y curado al aire) y tres tipos de relaciones agua cemento (0.45, 0.55 y 0.65) con el fin de representar tres clases de resistencias (21 Mpa, 35 Mpa y 45 Mpa) de concreto que pueden fabricarse habitualmente en la industria de la construcción. En cada una de las relaciones se fabricaron cilindros de concreto de 10 cm de diámetro por 20 centímetros de alto las cuales se sometieron a ensayos de compresión siguiendo la normativa colombiana NTC 673. Una vez establecida la carga última de falla de cada probeta se procedió a determinar la relación de Poisson y el módulo de elasticidad del concreto basándose en la norma técnica NTC 4025 para cada uno de los agregados utilizados y para cada una de las relaciones agua-cemento descritas anteriormente.

3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Con el fin de analizar la influencia de los agregados gruesos y de la relación agua/ cemento en el concreto, se presenta el análisis de diferentes graficas que muestran los resultados de los ensayos descritos en la metodología experimental. En la figura 2 se puede observar que a pesar de la alta dispersión para cada una de las relaciones agua/cemento, la tendencia de los datos muestra que no hay una variación considerable de la relación de Poisson, con respecto a la variación de las relaciones A/C más utilizadas en la fabricación del concreto. A pesar de que la relación de Poisson disminuye de 0.205 cuando la relación A/C es igual a 0.45, hasta 0.200 cuando la relación A/C es igual a 0.65, esta variación se puede considerar prácticamente despreciable ya que solo representa una variación del 2.5% .

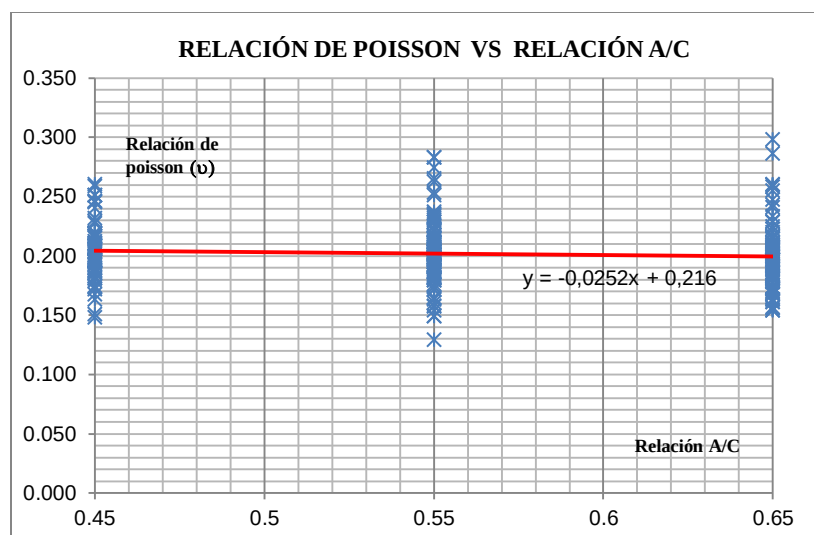


Figura 2. Variación de la relación de Poisson debido a la variación en la relación Agua cementante

Esta situación nos permite concluir que la relación de poisson, para concretos fabricados con agregados gruesos de diferente origen litológico, no cambia al variar la relación A/C, específicamente para las diferentes relaciones utilizadas en la fabricación de los concretos colombianos.

Igualmente, al analizar el comportamiento de la relación de Poisson contra la variación de la relación A/C, para cada uno de los concretos fabricados con agregados de distintas procedencias, se pudo establecer según la tendencia mostrada en la figura 3, que no hay diferencias apreciables de la propiedad para cada tipo de agregado, a excepción del concreto fabricado con el árido de diferente origen (AG2) y curado el aire, el cual presenta un valor de relación de Poisson que varía entre 0.18 y 0.19, lo cual está casi un 10% por debajo del valor promedio de los datos (0.20). Igualmente el concreto fabricado con agregados de origen ígneo (AG3) curados por inmersión, presenta los valores más altos de relación de Poisson, presentando una variación entre 0.22 y 0.21. Esta situación es posible evidenciarla también en la figura 3.

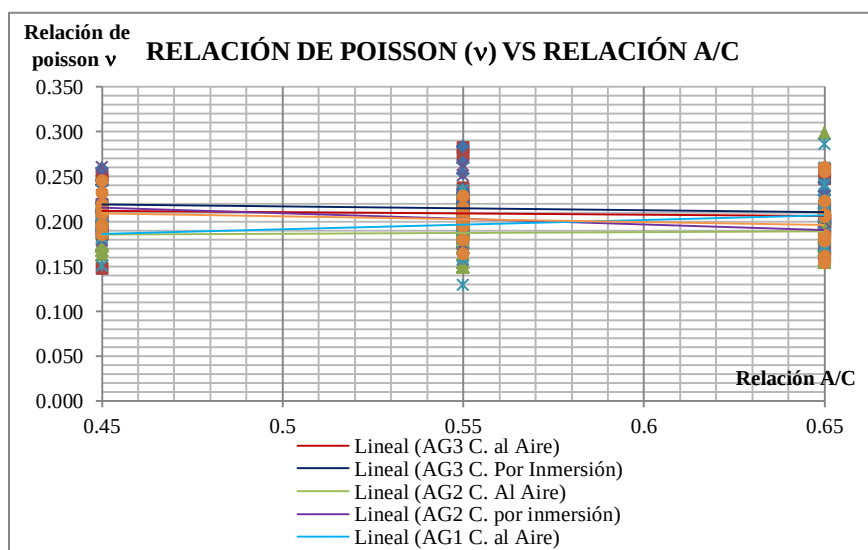


Figura 3. Variación de la relación de Poisson debido a la variación en la relación Agua cementante, teniendo en cuenta la variación en el origen del agregado.

En la figura 4 se presenta la variación de la relación de Poisson respecto a la edad de ensayo. Se puede observar que la relación de Poisson sufre un leve aumento a medida que el concreto aumenta su edad, presentando un aumento de 9.27% entre un concreto de 28 días de fundido, a un concreto ensayado a edades tardías (250 días). Cuando el concreto tiene 28 días, la relación de Poisson promedio alcanza un valor de 0.196 y para un concreto de 250 días de fundido, la relación de Poisson promedio es de 0.216.

Al analizar los valores promedio de la relación de Poisson, discriminando por tipo de agregado (AG1, AG2 y AG3) y diferente tipo de curado (Curado al aire y por inmersión) se encontró que para todos los agregados, la relación de Poisson tienen un valor mayor para las muestras que fueron curadas por inmersión con respecto a las muestras curadas al aire (Ver figura 5).

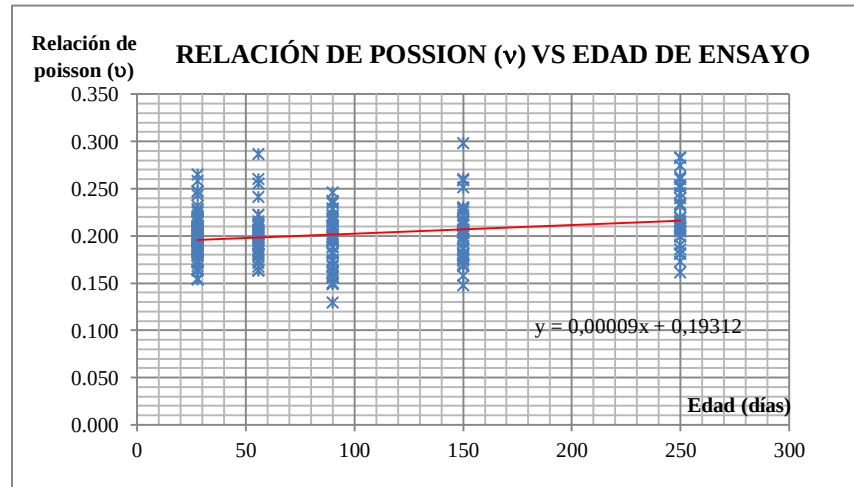


Figura 4. Variación de la relación de Poisson respecto a la edad de la muestra de concreto al momento del ensayo.

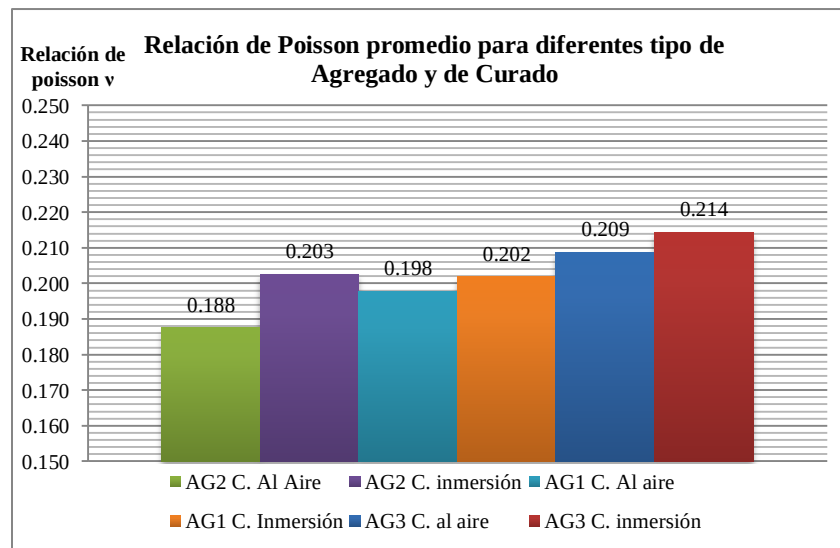


Figura 5. Valores promedio de la relación de Poisson para muestras con agregado de diferente origen y diferente tipo de curado.

Los concretos fabricados con agregados de origen ígneo (AG3), presentan mayor valor de relación de Poisson, seguidos por los concretos elaborados con agregados de origen sedimentario (AG1). Sin embargo, la variación promedio de la relación de Poisson no es significativa con respecto a los datos encontrados, ya que se encontró que esta variación no es mayor del 12%, para los datos más extremos.

De igual manera se observó que si se tiene en cuenta el promedio de la relación de Poisson obtenido para todos los datos, sin importar la influencia de las diferentes variables, el valor obtenido es de 0.202. Este resultado es prácticamente igual a lo sugerido por la NSR-10 en su comentario CR.8.5.1, ya que solo tiene una variación del 1% con respecto a valor de 0.20 propuesto en la norma. Por esta razón se puede decir que la relación de Poisson promedio que puede ser tomada para la elaboración de diseños estructurales en concreto es de 0.20.

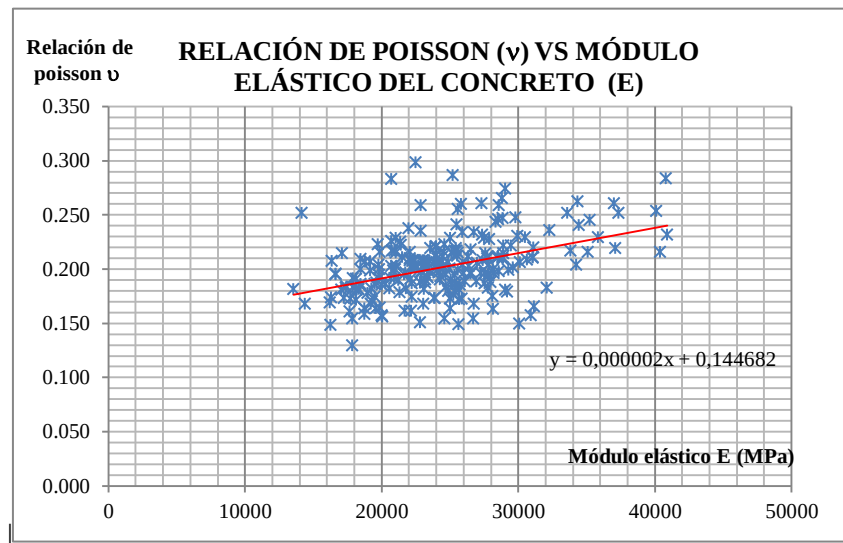


Figura 6. Variación de la relación de Poisson respecto a la variación en el módulo elástico (E).

De la figura 6 se observa que la relación de Poisson aumenta a medida que aumenta el modulo elástico. Para un módulo elástico de 13568 MPa la relación de Poisson tiene un valor de 0.172. Para el mayor valor de módulo elástico encontrado en la investigación, el cual es igual a 40885 MPa, la relación de Poisson es de 0.226. Sin embargo para los valores de Módulo elástico más comunes, los cuales se encuentran en un rango entre 20000 MPa y 30000 MPa la relación de Poisson varia de 0.185 a 0.205. La variación de la relación de Poisson en este rango es de aproximadamente 9.77%.

Se sabe que al aumentar la edad del concreto se aumenta la resistencia y la rigidez del material. Sin embargo de la gráfica se puede observar que para un material más rígido la relación de Poisson tiene una tendencia a aumentar su valor. Esto se debe a que la disminución en la deformación unitaria longitudinal es mucho mayor en relación con la disminución de la deformación unitaria transversal.

También se observó que para un material de mayor rigidez (y por lo tanto mayor módulo de elasticidad), la deformación unitaria longitudinal disminuye para una misma carga, esto se ve reflejado en un aumento de la relación de Poisson, la cual es inversamente proporcional a la deformación unitaria longitudinal. Lo anterior está en concordancia con lo que describe la ecuación 3, la cual expresa que la relación de Poisson es directamente proporcional al módulo elástico o módulo de Young.

4. CONCLUSIONES

A pesar de que la relación de Poisson presenta un leve aumento a medida que se varia la edad de falla del concreto y se disminuye la relación agua cementante, se pudo determinar que el valor propuesto por la NSR-10, puede ser utilizado en condiciones normales de fabricación del concreto en el país.

Al analizar el valor promedio de relación de Poisson para los 247 datos analizados, se encontró que el valor promedio corresponde a 0.202, lo cual es prácticamente igual al valor sugerido por la NSR-10 para concretos fabricados bajo condiciones normales.

Se puede concluir que la relación de Poisson no se ve afectada por la variación en la relación Agua/cemento del concreto.

Se encontró que los concretos fabricados con agregados de origen ígneo presentan mayor valor para la relación de Poisson con respecto a los concretos fabricados con agregados de origen sedimentario y origen variado. Los concretos fabricados con agregado de origen litológico variado presentan los menores valores para la relación de Poisson.

Los concretos curados presentan mayores valores de resistencia de Poisson con respecto a los concretos que no presentan ningún tipo de curado, debido a que son concretos con mayor resistencia y por lo tanto mayor rigidez.

Para concretos que presentan módulos elásticos que varían entre 20000 y 30000 MPa, la relación de Poisson presenta una variación lineal entre 0.185 y 0.205, respectivamente.

Un aumento en la rigidez del material (aumento en el valor del módulo elástico) implica un aumento en la relación de Poisson ya que la relación de Poisson es inversamente proporcional a la deformación unitaria longitudinal. Un material que presenta mayor rigidez en el sentido en que se aplica la carga, conduce a una menor deformación unitaria longitudinal, lo cual se ve traducido en un incremento en el valor el valor de la relación de Poisson.

A pesar de que la relación de Poisson no se ve influenciada por una variación en la relación A/C, otras variables como el tipo de agregado, la edad y el modulo elástico si influyen en la variación de la relación de Poisson, donde en términos generales se encontró que el valor de Poisson varía entre 0.185 y 0.225.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo técnico y financiero a los diferentes departamentos de la Universidad La Gran Colombia - sede Bogotá, que colaboraron con el desarrollo de esta investigación. Así mismo agradecen a los estudiantes de ingeniería civil del semillero de estructuras quienes a través de sus trabajos de grado colaboraron con la realización de ensayos, que permitieron obtener los resultados de este trabajo.

6. REFERENCIAS

Popov E.P. y Balan T.A. *Mecánica de Sólidos*. Pearson Educación, pag 70, 2000.

Timoshenko S. and Goodier J. *Theory of elasticity*, 1951.

Anson, M. and Newman K., (1996) "The effect of mix proportions and method of testing on Poisson's ratio for mortars and concretes". *Magazine of Concrete Research*, Vol 18, No 56, pp 115–130.

ICONTEC, NTC 4025, *Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concreto a compresión*. Bogotá, 2006. 9 p.

ICONTEC, NTC 673, *Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto*. Bogotá, 2000. 11p.

AIS, Ley 400 de 1997, *Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, NSR 10*. Bogotá, 2010.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.