

**OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y LA RELACIÓN DE POISSON,
PARA CONCRETOS DE 21Y 28 MPA EN SEIS DIFERENTES OBRAS
UBICADAS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE BOGOTÁ**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
ESTRUCTURAS
BOGOTA D.C.
2015**

**OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y LA RELACIÓN DE POISSON
PARA EN CONCRETOS DE 21 Y 28 MPA EN SEIS DIFERENTES OBRAS
UBICADAS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE BOGOTÁ**

Trabajo de grado como opción de grado para optar al título de Ingeniero Civil

**Asesor disciplinar
Arnold Giuseppe Gutiérrez torres
Asesor Metodológico
Laura Milena Cala Cristancho**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
ESTRUCTURAS
BOGOTÁ D.C.
2015**

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	9
1 ANTECEDENTES	10
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2.1 PLANTEAMIENTO DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	16
3 HIPÓTESIS	17
4 OBJETIVOS	18
4.1 OBJETIVO GENERAL	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5 JUSTIFICACIÓN	19
6 MARCO DE REFERENCIA	20
6.1 MARCO TEÓRICO	20
6.1.1 Concreto	20
6.1.2 Componentes del concreto	20
6.1.3 Cemento	20
6.1.3.1.1 Principales Empresas Abastecedoras de concreto en la ciudad de Bogotá D.C.	21
6.1.3.2 Agregados	21
• Origen de los agregados	22
• Propiedades de los agregados	24
6.1.3.3 Agua	26
6.1.3.4 Aditivos	27
6.1.4 Resistencia del concreto	27
6.1.5 El diagrama de esfuerzo-deformación unitario	28
6.1.6 Módulo de elasticidad estático o secante	31
6.1.7 Relación de Poisson	32
6.2 MARCO CONCEPTUAL	33
6.3 MARCO NORMATIVO	34
7 DISEÑO METODOLÓGICO	43
7.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	43
7.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	43
7.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN	44

7.3.1	FASE 1	44
1.	Ubicación de las 6 obras en el occidente de Bogotá, obtención del material y tratamiento inicial de la muestra.	44
2.	Fraguado de especímenes en estado fresco y endurecido, teniendo en cuenta la elaboración y curado en obra.	44
3.	Realización de pruebas a compresión (Ensayo de módulo de elasticidad y relación de Poisson NTC 4025) de los especímenes de las 6 obras del occidente de Bogotá, a los 28 y 56 días del fraguado, llevando la probeta al 40% de su resistencia última, donde la relación de esfuerzos y deformaciones guardan proporcionalidad y registrando la deformación longitudinal y transversal tomadas y almacenadas por el sistema.	44
7.3.2	FASE 2	44
1.	Análisis estadístico a partir de los resultados experimentales de Módulo de elasticidad y la relación de Poisson	44
8	RESULTADOS	47
8.1	RELACIÓN DE POISSON, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	47
8.1.1	Clasificación según tipo de curado	47
8.1.1.1	Curado por aireación	47
8.1.1.2	Curado por inmersión	52
8.2	RELACIÓN DE POISSON DE ACUERDO CON LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE OBRA Y EL TIPO DE CURADO	56
8.2.1	Relación de Poisson obras 21 Mpa	56
8.2.2	Relación de Poisson obras 28 Mpa	57
8.3	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE ACUERDO CON LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE OBRA Y EL TIPO DE CURADO.	58
8.3.1	Módulo de elasticidad obras 21 Mpa	58
8.3.2	Módulo de elasticidad obras 28 Mpa	59
8.4	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ACUERDO CON LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE OBRA Y EL TIPO DE CURADO.	60
8.4.1	Resistencia a la compresión obras 21 Mpa	60
8.4.2	Resistencia a la compresión obras 28 Mpa	61
8.5	ANÁLISIS DE LOS VALORES DE LA RELACIÓN DE POISSON EN RELACIÓN A LOS PROVEEDORES DEL CONCRETO DE OBRA Y EL TIPO DE CURADO.	62
8.6	ANÁLISIS DE LOS VALORES DE MÓDULO DE ELASTICIDAD EN RELACIÓN A LOS PROVEEDORES DEL CONCRETO DE OBRA Y EL TIPO DE CURADO.	64

8.7	ANÁLISIS DE LOS VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN RELACIÓN A LOS PROVEEDORES DEL CONCRETO DE OBRA Y EL TIPO DE CURADO.	66
9	CONCLUSIONES	68
10	RECOMENDACIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA	70

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso de fabricación del cemento Portland, dependiendo del tipo de fabricación.....	¡Error! Marcador no definido.
FIGURA 2. Ciclo de rocas.....	24
FIGURA 3. Curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión, típicas para concreto de densidad normal con $w_c=2300 \text{ kg/m}^3$.....	29
FIGURA 4. Curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión, típicas para concreto livianos con $w_c= 1600 \text{ kg/m}^3$.....	30
FIGURA 5. Efecto de la velocidad de carga en la resistencia a la compresión del concreto.....	31
FIGURA 6. Alargamientos dependiendo de la longitud y la sección transversal.....	34
Figura 7. Compresómetro	37
Figura 8. Diagrama de desplazamiento.....	38
Figura 9. Apropiaada combinación de Compresómetro y extensómetro	40
Figura 10. Espectro de investigación.....	45
Figura 11. Relación de Poisson en obras de 21 Mpa.....	56
Figura 12. Relación de Poisson en obras de 28 Mpa.....	57
Figura 13. Módulo de elasticidad en obras de 21 Mpa	58
Figura 14 Módulos de elasticidad obras 28 Mpa.....	59
Figura 15. Resistencia a la compresión en obras de 21 Mpa.....	60
Figura 16 Resistencia a la compresión en obras de 28 Mpa.....	61
Figura 17 Relación de Poisson Cemex vs Argos	63
Figura 18. Módulo de elasticidad Cemex vs Argos.....	65

TABLA DE CUADROS.

TABLA NO 1 AIREACION OBRA 1 21 MPA 28 DIAS	47
TABLA NO 2 AIREACION OBRA 1 21 MPA 56 DIAS	48
TABLA NO 3 AIREACION OBRA 2 21 MPA 28 DIAS	48
TABLA NO 4 AIREACION OBRA 2 21 MPA 56 DIAS	48
TABLA NO 5 AIREACION OBRA 3 21 MPA 28 DIAS	49
TABLA NO 6 AIREACION OBRA 3 21 MPA 56 DIAS	49
TABLA NO 7 AIREACION OBRA 1 28 MPA 28 DIAS	49
TABLA NO 8 AIREACION OBRA 1 28 MPA 56 DIAS	50
TABLA NO 9 AIREACION OBRA 2 28 MPA 28 DIAS	50
TABLA NO 10 AIREACION OBRA 2 28 MPA 56 DIAS	50
TABLA NO 11 AIREACION OBRA 3 28 MPA 28 DIAS	51
TABLA NO 12 AIREACION OBRA 3 28 MPA 56 DIAS	51
TABLA NO 13 INMERSION OBRA 1 21 MPA 28 DIAS	52
TABLA NO 14 INMERSION OBRA 1 21 MPA 56 DIAS	52
TABLA NO 15 INMERSION OBRA 2 21 MPA 28 DIAS	52
TABLA NO 16 INMERSION OBRA 2 21 MPA 56 DIAS	53
TABLA NO 17 INMERSION OBRA 3 21 MPA 28 DIAS	53
TABLA NO 18 INMERSION OBRA 3 21 MPA 56 DIAS	53
TABLA NO 19 INMERSION OBRA 1 28 MPA 28 DIAS	54
TABLA NO 20 INMERSION OBRA 1 28 MPA 56 DIAS	54
TABLA NO 21 INMERSION OBRA 2 28 MPA 28 DIAS	54
TABLA NO 22 INMERSION OBRA 2 28 MPA 56 DIAS	55
TABLA NO 23 INMERSION OBRA 3 28 MPA 28 DIAS	55

TABLA NO 24 INMERSION OBRA 3 28 MPA 56 DIAS	55
TABLA NO 25 OBRAS Y SU RESPECTIVO PROVEEDOR	62
TABLA NO 26 VALORES PROMEDIO DE LA RELACIÓN DE POISSON	62
TABLA NO 27 VALORES PROMEDIO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	64
TABLA NO 28 VALORES PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	66

INTRODUCCIÓN

El siguiente producto de investigación está encaminado a verificar el Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson establecidos en la NSR-10, mediante la determinación de estas en muestras de concreto de obra, con dimensiones de 10*20 y siguiendo los procedimientos descritos en la NTC.

Lo anterior bajo la premisa que anteriores investigaciones han dejado, en cuanto a la variabilidad de los mismos con base en la procedencia del agregado, la relación agua/cemento y el tipo de curado; para este caso mediante el tipo de curado.

Dada la gran importancia de las propiedades del concreto antes mencionadas en el diseño estructural, resulta fundamental profundizar en su estudio.

1 ANTECEDENTES

El Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson, son factores que definen las propiedades mecánicas del concreto, cuyos valores son de importancia para el diseño estructural, los cuales son establecidos por la Norma NSR-10. Por tanto, es de importancia investigar, acerca del módulo de elasticidad estático del hormigón, ya que en base a estudios anteriores, se han encontrado variaciones con respecto a lo establecido en la NSR-10, la cual es una adaptación de la ACI-318-08. Con lo anterior se puede destacar que estas variaciones mencionadas anteriormente, se deben al tipo de agregado, ya que procede de diferentes zonas.

Lo cual ha dado lugar a investigaciones que han generado modificaciones en la norma NSR-98, entre las cuales podemos destacar en los últimos 8 años, diversas recomendaciones en cuanto a dosificaciones en la elaboración del concreto y otras características; en las que la NSR-98 se limitó a legitimar mediante fórmulas y se desentiende de las recomendaciones en detalle.

Entre los más importantes están un conjunto de investigaciones realizadas por estudiantes de la universidad javeriana de Bogotá. La cual correlacionó estadísticamente una serie de datos de módulos de elasticidad de concreto E_c , teniendo en cuenta que el f'_c es la resistencia nominal; datos obtenidos a partir del trabajo aplicativo investigativo de una estudiante de la universidad de los Andes, basada en el tipo de agregado (Ígneo, Metamórfico, Sedimentario). A partir de la cual se produjeron las siguientes ecuaciones con su respectivo factor "K".

"En caso de no disponer de este valor experimental, para concretos cuya masa unitaria varié entre 1440 y 2460 Kg / m³ puede tomarse como"¹:

Para agregado grueso de origen ígneo:

$$E_{c=w} = 1.50.047 \sqrt{f'_c} \text{ (en MPa)}$$

Para agregado grueso de origen metamórfico:

1. ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, MINISTERIO DEL AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombia de construcción sismo resistente NCR-10. Primera Edición. Título C artículo CR.8.5.1. Bogotá D.C. 2011. Pág. 113.

$$E_{C=w_c^{1.5}0.041\sqrt{f'_c}}(\text{en MPa})$$

Para agregado grueso de origen sedimentario:

$$E_{C=w_c^{1.5}0.031\sqrt{f'_c}}(\text{ en MPa})$$

"El valor medio para toda la investigación experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado, es"²:

$$E_{C=w_c^{1.5}0.034\sqrt{f'_c}}(\text{en MPa})$$

"Cuando no se disponga del valor de la masa unitaria del concreto, puede utilizarse"³:

Para agregado grueso de origen ígneo:

$$E_{C=5500\sqrt{f'_c}}(\text{en MPa})$$

Para agregado grueso de origen metamórfico:

$$E_{C=4700\sqrt{f'_c}}(\text{ en MPa})$$

Para agregado grueso Sedimentario:

$$E_{C=3600\sqrt{f'_c}}(\text{en MPa})$$

"El valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado, es"⁴:

$$E_{C=3900\sqrt{f'_c}}(\text{en MPa})$$

"Sin embargo la ACI 318-08 en cuanto a módulo de elasticidad del concreto sugiere los siguientes valores para la fórmula"⁵:

² Ibíd. p. 113.

³ Ibíd. p. 113.

⁴ Ibíd. p. 113.

⁵ Ibíd. p. 113.

Para concretos con W_c comprendido entre 1440 y 2560 Kg/m³:

$$E_{c=w_c^{1.5}0.043\sqrt{f'_c}} \text{ (en MPa)}$$

Para concretos de densidad normal:

$$E_{c=4700\sqrt{f'_c}} \text{ (MPa)}$$

Con relación al módulo de Poisson, la NSR-10 dedica un breve comentario el cual dice:

“En caso de que no se disponga de un valor experimental el Módulo de Poisson puede tomarse como 0.20”⁶.

Con relación a lo anterior se encontraron investigaciones que estudian las propiedades del concreto en las cuales se destacan el Módulo de Elasticidad y la relación de Poisson. Una de estas fue realizada en el año 2008, la cual tenía como objetivo “evaluar el Módulo de Elasticidad y la resistencia a la compresión en cilindros de concreto variando el tamaño de los cilindros, la relación de agua/cemento del diseño de mezcla y el tipo de compactación de la misma”⁷. Lo cual conllevó a verificar el K de la ecuación del módulo de elasticidad estático del concreto establecido en las Normas Colombianas de Diseño y construcción Sismo Resistente (NSR-98), dando lugar una nueva “k”.

En efecto a lo anterior, la tesis realizada por William Leandro Forero Mancera, es de gran aporte para el proyecto de grado a realizar, ya que se analiza los respectivos ensayos que se necesita para evaluar el Módulo de Elasticidad, aunque no tomen en cuenta uno de los parámetros a cuantificar, en este caso la relación de Poisson.

Esta investigación se prestó para fundamentar en profundidad el módulo de elasticidad estático del hormigón, ya que se presentó una variación en la ecuación, lo cual conlleva a realizar investigaciones en zonas específicas del país, para determinar un factor “k” propio de la zona a trabajar.

⁶ Ibíd. p. 113.

⁷ FORERO MONCERA, William Leandro. Valoración del Módulo de Elasticidad del concreto en cilindros de diferentes tamaños. Bogotá D.C., 2008 p.18. Trabajo de grado para obtener al título de Ingeniería Civil. Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". Facultad de Ingeniería Civil.

En el mismo año, se elaboraron estudios relacionados del anterior proyecto de grado, que tenía como objetivo “Valorar el Módulo de Elasticidad y la Resistencia a la compresión en cilindros de concreto, elaborados con agregados tomados del río Magdalena, en la zona de Ricaurte Cundinamarca, variando su tamaño, la relación agua/cemento en el diseño de mezcla y el estado de los cilindros (seco-húmedo) al momento de ensayarlos”⁸. Para la cual también se llegó a un valor diferente de “k” de nuevo. En donde se destaca un componente relevante en el desempeño mecánico del hormigón, para este caso el agregado, ya que tendrá características diferentes, dependiendo del origen litológico y geográfico del mismo, donde varía su forma, textura, porosidad, entre otras, constituyendo un papel importante en los resultados obtenidos en la presente tesis.

Habría que decir también que ha surgido gran interés en estudios relacionados con las propiedades mecánicas del concreto, específicamente en lo pertinente a la relación de Poisson, por lo que es de importancia mencionar el siguiente producto de investigación hecho en el 2012, el cual tuvo por objeto, “determinar el valor de la relación de Poisson en concretos utilizando agregados de diferente origen litológico para relaciones agua/cemento de 0.45, 0.55, 0.65”⁹.

En consecuencia se obtuvo que efectivamente la Relación de Poisson varía con base al tipo de agregado de origen metamórfico, sedimentario e ígneo, en un rango de 0.1 a 0.33, por consiguiente no cumple con lo mencionado en la norma NSR-10 en el título C artículo CR.8.5.1. En sus comentarios el cual establece ¹⁰0.2 a tomarse, cuando no se dispone de valores experimentales.

“Asimismo resulta importante una investigación realizada por el ACI, la cual pretendió encontrar la relación relativa entre el Módulo de Elasticidad, la Relación de Poisson y la Resistencia a la Compresión a edades tempranas en el concreto entre 6h y 28 días. De la cual se corroboró la relación existente entre el Módulo de Elasticidad y la Resistencia a la Compresión. La relación comúnmente aceptada de que el Módulo de Elasticidad es proporcional a la potencia 0,5 de la Resistencia a la compresión del cilindro se encontró era precisa a edades del concreto de 12h y superiores para todas las mezclas de hormigón investigados. En cuanto a la

8 FORERO LUQUE, Felipe Alejandro. Valoración del Módulo de Elasticidad del concreto en cilindros de diferentes tamaños. Bogotá D.C., 2008 p.11. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniería Civil. Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”. Facultad de Ingeniería Civil.

9 BAYONA GIL, Guillermo Alberto y PATIÑO ROJAS, Diego Andrés y POVEDA MARTINEZ, William Alfredo. Estudio de la variabilidad de la relación de Poisson en el concreto utilizando agregados de diferente origen litológico con relaciones agua/cemento 0.45, 0.55 y 0.65. Bogotá D.C., 2012. p.29. Proyecto de grado para obtener el título de Ingeniería Civil. Universidad La Gran Colombia. Facultad de Ingeniería Civil.

10 Ibíd. Pag.113.

Relacion de Poisson se encontró era insensible tanto a la edad como a la riqueza de hormigón y no cambio apreciablemente con el desarrollo de la resistencia a la compresión¹¹.

Sumado a lo anteriormente mencionado resulta importante resaltar el proyecto de investigación realizado en el año 2012 por los docentes investigadores de la **UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA** en relación a la Relación de Poisson; la cual tuvo por objeto “Examinar la variabilidad de la relación de Poisson en concretos simples con agregados gruesos de diferente litología y relaciones agua / cemento de 0.45, 0.55, 0.65, mediante experimentación seguida con la Norma NTC con el fin de encontrar la correspondencia de este parámetro con el recomendado en la NSR- 10.”¹²

En cual encontró que el Tipo de Agregado, la Relacion Agua/Cemento y el tipo de curado influyen significativamente en los valores de Módulo de Elasticidad y Resistencia a la compresión. En cambio la Relacion de poisson no presento variación significativa con respecto a las variables independientes de la investigación.

11 Francis A. Oluokun, Edwin G. Burdette, and J. Harold Deatherage. International Concrete Abstracts Portal. Elastic Modulus, Poisson's Ratio, and Compressive Strength Relationships at Early Ages.[online].1991.Vol.88.1.[citado 2015-30-05].pp.3-10. <http://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&i=2303>.

12 AMEZQUITA NIETO, Alfonso y GUTIERREZ TORRES, Arnold y LOPEZ YEPES, Lucio Guillermo. Estudio de la variabilidad de la relación de Poisson en concretos con diferentes agregados gruesos. Bogotá D.C. 2012. proyecto de investigación. Universidad la gran Colombia. Facultad de ingeniería civil.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto es un material fundamental para las construcciones estructurales, lo cual conlleva a realizar un estudio en su comportamiento mecánico, ya que presenta cualidades de trabajabilidad, resistencia a compresión, baja conductividad eléctrica, durabilidad y otras cualidades positivas, fundamentales para los Ingenieros civiles.

Con respecto a lo anterior, se puede resaltar la propiedad más importante del concreto, siendo esta la resistencia a compresión, la cual va a variar dependiendo del Módulo de elasticidad y la Relación de Poisson, variables requeridas en el diseño estructural de edificaciones mediante el uso de software especializados.

Por tanto, resultaría fundamental considerar la realización de los respectivos laboratorios para cada una de las variables antes mencionadas, ya que en obra usualmente de acuerdo a lo consignado en la NSR-10¹³ en el título C artículo CR.8.5.1. Establece como valor a tomarse **0.2**, cuando no se dispone de valores experimentales en cuanto a la relación de Poisson. Por otra parte, sumado existen conclusiones de investigaciones anteriores relacionadas que permiten inferir una sustancial variabilidad del módulo de elasticidad en cuanto se modifican las condiciones de preparación de la muestra (ambiente, temperatura, tipo de agregado, relación agua/cemento, etc.). Sin embargo, en cuanto a la relación de Poisson no existen estudios relacionados.

La construcción de estructuras de concreto en cada una de las regiones colombianas están regidas por el título C de la Ley 400 y la norma NSR-10 (Norma sismo-resistente 2010) que resulta ser una adaptación de los requisitos de reglamento para concreto estructural estadounidense ACI 318-08, desarrollado por el American Concrete Institute (en adelante ACI). La mayoría de los lineamientos contenidos en esta norma se basan en ensayos desarrollados en laboratorios especializados del ACI enfocados en encontrar ecuaciones y fórmulas que den una aceptable precisión de las propiedades del concreto estructural.

13 ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, MINISTERIO DEL AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombia de construcción sismo resistente NCR-10. Primera Edición. Título C artículo CR.8.5.1. Bogotá D.C. 2011. Pag. 113.

Algunas de las propiedades investigadas por el ACI son el Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson, donde se hallaron algunas ecuaciones empíricas, con la ayuda de varios datos obtenidos de ensayos con muestras de concreto compuestas de materiales locales, que permiten dar una buena aproximación a los datos requeridos en el proceso constructivo en el territorio estadounidense.

En este contexto se podría afirmar que cabe la posibilidad que las ecuaciones aportadas por la ACI, no sean las más apropiadas cuando se emplean agregados de territorios externos a los Estados Unidos, en el caso de esta investigación un país como Colombia, con condiciones geológicas y geomorfológicas distintas a las presentes en el territorio estadounidense.

De este modo, el presente estudio hace parte de un proyecto macro de investigación a nivel regional, para este caso la ciudad de Bogotá, en torno a los distintos sectores geográficos más relevantes (norte, sur, oriente, occidente), correspondiendo este estudio al sector occidental. De lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

2.1 Planteamiento de la pregunta de investigación

¿Es concordante el asumir el valor de la Relación de Poisson y el Módulo de Elasticidad establecido en la NRS -10 títulos C, artículo CR.8.5.1 con los datos obtenidos experimentalmente en obra?

3 HIPÓTESIS

De acuerdo con investigaciones anteriores el módulo de elasticidad y la relación de Poisson varían de acuerdo con condiciones del ambiente y litológicas propias del lugar de aplicación y ya que estos valores fueron tomados de la norma ACI, se hace necesario la obtención mediante ensayos de estas propiedades mecánicas con materiales propios de la zona. Además, dada la gran relación de estos parámetros mecánicos en el aporte de rigidez en el concreto, la variación de uno afecta al otro en consecuencia la correlación presentada en la NSR-10 en cuanto al valor que debe de tomarse en caso de que no se tengan resultados experimentales es de 0.2; debe variar y se hace prioritario la práctica de ensayo de la NTC-4025: dada la importancia de estos parámetros en el aporte de rigidez a la estructura y que son valores de entrada para el diseño estructural mediante software; tales como el SAP Y el ETABS.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los valores del Módulo de Elasticidad y la relación de Poisson para concretos de 21 y 28 MPa en 6 diferentes obras estructurales ubicadas en el occidente de la ciudad de Bogotá, mediante experimentación de acuerdo con la NTC con el fin de encontrar la correspondencia de este parámetro con la NSR-10.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los valores del Módulo de Elasticidad (E) y relación de Poisson (μ) para las muestras de concreto de 21 y 28 MPa obtenidas en los 6 diferentes obras estructurales a los 28 y 56 días.
- Comparar los datos obtenidos experimentalmente del módulo de elasticidad y relación de Poisson con lo consignado en la NSR-10 para estas propiedades.

5 JUSTIFICACIÓN

La investigación es de suma importancia, ya que por medio de esta, se obtendrán valores mediante los respectivos ensayos a realizar, lo cual aportará en la verificación de las ecuaciones o fórmulas del Módulo de Elasticidad y la relación de Poisson, dado que la NSR-10 es el reglamento de construcción vigente, y está basada en la Norma ACI 318-08, por tanto cabe la posibilidad de que las fórmulas no sean aptas para la ciudad de Bogotá, zona de estudio, en donde se establecieron 4 sectores para el desarrollo del proyecto, con el fin de obtener mayor campo muestral y al final aportar una posible adaptación a la ecuación que cumpla con las condiciones de la respectiva zona o regiones.

Dadas las condiciones del medio en las cuales se desarrolló la fórmula, cabe destacar una posible inconsistencia en la aplicación de esta, en las obras colombianas, con lo cual se pretende hallar posibles variaciones.

6 MARCO DE REFERENCIA

6.1 MARCO TEÓRICO

6.1.1 Concreto

El concreto es un material artificial hecho por el hombre, el cual está compuesto por ciertos materiales, que son los agregados, agua, cemento y aditivos. Estos componentes, son los que determinan las propiedades mecánicas de este material artificial, en la cual es de importancia para los Ingenieros civiles, ya que el hormigón es el material que más se usa en la construcción, por su alta capacidad de resistir fuerzas de compresión, por su baja conductividad eléctrica, su durabilidad y otras propiedades positivas. Cabe resaltar que el concreto tiene dos fases, una es cuando se encuentra en estado plástico considerado concreto fresco y la otra ya se le considera concreto endurecido. Anteriormente se mencionaron unas propiedades positivas del concreto, pero, cuando está en la fase plástica, el hormigón adquiere una propiedad llamada trabajabilidad, en la cual es "posible colocar y consolidar el concreto fácilmente, es decir que se puede colocar en moldes de variadas formas, creando efectos arquitectónicos especiales"¹⁴.

6.1.2 Componentes del concreto

6.1.3 Cemento

El cemento es obtenido mediante la pulverización del Clinker, que es considerado cementante, ya que "tiene propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuadas"¹⁵, lo cual es un componente de gran importancia para la fabricación del concreto, pero cuando ya es para un diseño estructural se debe utilizar los cementos hidráulicos.

¹⁴ SALAMANCA CORREA, Rodrigo. Aplicación del cemento portland y los cementos adicionados. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina. No. 10 (Julio.2001); p. 33-38.

¹⁵ H. NILSON, Arthur. Diseño de estructuras de concreto: Cemento. Duodécima edición. Bogotá D.C.: McGRAW-HILL, Inc, 1999. p. 28.

Básicamente los cementos hidráulicos se definen por ser un "cemento que fragua y endurece por la interacción química con el agua, tanto al aire como bajo agua, a causa de las reacciones de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables"¹⁶.

En estos cementos hidráulicos, el más común es el cemento Portland, que fue "patentado por primera vez en Inglaterra en 1824. El cemento Portland es un material grisáceo finamente pulverizado, conformado fundamentalmente por silicatos de calcio y aluminio"¹⁷.

Con lo anterior, se destaca que los componentes básicos del cemento Portland,¹⁸ son el Óxido de Calcio (CaO), obtenido por calizas que son materiales ricos en Cal, otros componentes sería el Dióxido de Silicio (SiO₂) y Trióxido de dialuminio (Al₂O₃), obtenidos por arcillas o esquitos, y por último el Trióxido de dihierro (Fe₂O₃), que es obtenido mediante un mineral de hierro.

6.1.3.1.1 Principales Empresas Abastecedoras de concreto en la ciudad de Bogotá D.C.

- Argos.
- Cemex.
- Holcim.
- Tremix.
- Hormigón Andino.

6.1.3.2 Agregados

"Los agregados son componentes derivados de la trituración natural o artificial de diversas piedras, y pueden tener tamaños que van desde partículas casi invisibles hasta pedazos de piedra"¹⁹. El agregado es el componente más importante en el concreto, ya que "los agregados ocupan aproximadamente entre el 70 y el 75 por ciento del volumen de la masa endurecida"²⁰, en otras palabras, el agregado debe considerarse como el cuerpo del hormigón y además se puede pensar que es un

16 QUIROZ CRESPO, Mariela Vivian y SALAMANCA OSUNA, Lucas Esteban. Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de "tecnología del hormigón". Cochabamba-Bolivia, 2006, p. 78. Proyecto de grado para optar al Diploma académico de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ingeniería Civil.

17 H. NILSON, op. cit, p.28.

18 QUIROZ CRESPO, SALAMANCA OSUNA, op. cit, p.2.

19 Copyright © 2013 CEMEX S.A.B. DE C.V. Disponible en Internet: <http://www.cemexcolombia.com/np/np_ag.html>.

20 H. NILSON, op. cit, p. 29.

agente determinante para las propiedades del concreto, por su gran impacto a generar.

Con lo anterior, el agregado debe estar en perfectas condiciones a la hora de realizar la respectiva mezcla, por lo tanto no debe presentar impurezas como materia orgánica, arcillas y limos, ya que debilita la unión con la pasta de cemento²¹. También cabe mencionar que el agregado debe tener buena resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

- **Origen de los agregados**

Básicamente los agregados se diferencian por su origen, en la cual obtienen propiedades y características en forma distinta. Estos agregados provienen de su respectiva roca madre, el cual existen 3 tipos, que sería las rocas ígneas, rocas sedimentarias y metamórficas. Estos tipos de rocas son formados mediante procesos de cristalización, meteorización, litificación y metamorfismo, conocido como el ciclo de rocas.

Roca ígnea

Se forma mediante el enfriamiento y solidificación del magma, en la cual el proceso se le considera cristalización²². La roca ígnea ocupa la mayor parte sólida de la tierra y además de ella se deriva los otros grupos de rocas. "Las principales rocas ígneas son el granito, entre las plutónicas, y el basalto entre las volcánicas; por regla general la primera de ambiente continental y la segunda de ambiente oceánico"²³.

"La mayoría de las rocas ígneas son idóneas para producir concreto, ya que normalmente son duras, resistentes y densas. Son los agregados del concreto más químicamente activos y muestran una tendencia a reaccionar con los álcalis en el cemento"²⁴.

21 Ibid. p.30.

22 ALVARADO ALCARAZ, Nalleli de Jesús. Influencia de la morfología de pétreos: volcánicos, triturados y cantos rodados; correlacionando matemáticamente los módulos de elasticidad, estático y dinámico, en cilindros de concreto de 10cmx20cm. Morelia, Michoacán, México. 2010, p. 24. Proyecto de grado para obtener el título de Ingeniería Civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería Civil.

23 DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Manual de geología para Ingenieros: Ciclo geológico. Primera edición. Manizales:2002. p.16.

24 ALVARADO ALCARAZ, op. cit, p. 24.

Roca sedimentaria

"Las rocas ígneas o rocas metamórficas son sometidas a los agentes de la intemperie como el sol, la lluvia y el viento. Estos agentes descomponen, fragmentan, transportan y depositan las partículas de roca, muy por debajo del lecho marino donde se cementan entre sí por algún material cementante"²⁵. En este proceso de litificación, los sedimentos van formando capas, lo cual ocasiona compactaciones en las capas más viejas y así se forma las rocas sedimentarias.

"Las rocas sedimentarias pueden variar de suaves a duras, de porosas a densas y de ligeras a pesadas. El grado de consolidación, el tipo de cementación, el espesor de las capas y la contaminación, son factores importantes para determinar la conveniencia de las rocas sedimentarias para producir concreto"²⁶.

Roca metamórfica

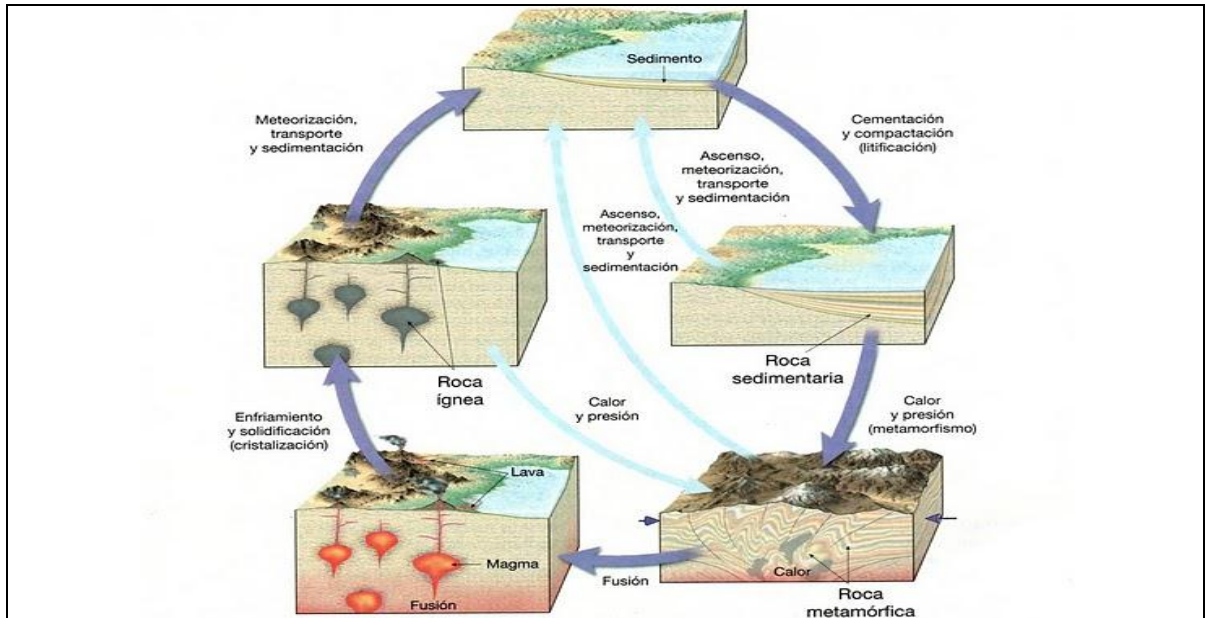
Para la formación de este tipo de roca, es por medio del proceso del metamorfismo, ya que cuando la roca ígnea o la roca sedimentaria son sometidas a temperaturas elevadas, presiones altas y fluidos químicamente activos, ocasionando un cambio en la estructura de la roca, formando "rocas metamórficas como las granulitas, eclogitas, gneises y esquistos. Algunas rocas son de alta temperatura y baja presión (dorsales oceánicas), o baja temperatura y alta presión (zonas de subducción)"²⁷. A continuación se mostrará una figura del ciclo de roca.

²⁵ Ibid. p.24.

²⁶ Ibid. p.24.

²⁷ DUQUE ESCOBAR, op. cit, p. 16.

FIGURA 1. Ciclo de rocas.



FUENTE: <http://ccnn2esovillavicar.files.wordpress.com/2012/02/ciclo-de-rocas.jpg>

- **Propiedades de los agregados**

Propiedades físicas

Granulometría

"La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor"²⁸.

28 GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción: Agregados, propiedades físicas. Segunda edición. Manizales: Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia, 2003. p. 18.

Porosidad y absorción

Es la capacidad que tiene los agregados en absorber agua, lo cual dependerá del número y el tamaño de los poros²⁹. Esta propiedad física es muy importante, ya que está relacionada con ciertas cualidades que debe tener el concreto, ya sea en la resistencia a la compresión y la adherencia.

Masa unitaria o peso unitario

"La relación entre la masa del material que cabe en un determinado recipiente y el volumen de éste, da una cifra llamada masa unitaria. La masa unitaria compacta es otro buen índice para conocer la calidad del agregado, puesto que cuanto mejor sea la granulometría mayor es el valor numérico de la masa"³⁰.

Forma

Esta propiedad física influye directamente en las propiedades del concreto, más que todo en su trabajabilidad y la resistencia³¹. La forma dependerá de la roca madre o el tipo de roca que lo originó.

Textura

En los agregados "la textura superficial es áspera en las piedras obtenidas por trituración y lisa en los cantos rodados, de río, quebrada o mar"³².

Propiedades mecánicas

Tenacidad

"La tenacidad es la resistencia que ofrece el agregado al impacto, y tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, porque si estos son débiles al impacto pueden alterar su granulometría y por consiguiente la calidad de la obra"³³.

29 Ibíd. p. 22.

30 ALVARADO ALCARAZ. op. cit. p.27.

31 Ibíd. p.28.

32 Ibíd. p.29.

33 GUTIERREZ DE LOPEZ. op. cit. p. 25.

Adherencia

"La adherencia del agregado es una característica importante, porque la resistencia y durabilidad de estos concretos depende en gran parte del poder de aglutinamiento del agregado con el material cementante. La adherencia del agregado depende de la forma, textura y tamaño de las partículas"³⁴.

Resistencia

Los agregados determinarán el comportamiento de la resistencia del hormigón, que lo hacen por medio del tamaño de los granos en la mezcla, por esta razón los agregados es de importancia para esta cualidad en el concreto, lo cual se busca que el agregado no falle antes de que la mezcla se endurezca³⁵.

Dureza

"Es la resistencia que ofrece el agregado a la acción del roce y al desgaste diario. Los agregados empleados en carreteras, y pisos, deben ser especialmente resistentes al desgaste"³⁶.

6.1.3.3 Agua

El agua es un componente necesario en la producción del hormigón, ya que es la que genera la propiedad más importante del concreto en estado fresco, que es la trabajabilidad, por esta razón se debe tener una gran precaución en la relación de agua y cemento, también es de importancia de que el agua sea potable o de buena calidad³⁷.

"La importancia de estudiar el agua en el cemento radica en que puede presentar impurezas, como azúcar, ácidos, materia vegetal y aceites que impidan o retardan la hidratación"³⁸.

³⁴ Ibid. p. 25.

³⁵ ALVARADO ALCARAZ. op. cit. p. 30.

³⁶ GUTIERREZ DE LOPEZ. op. cit. p. 25.

³⁷ ALVARADO ALCARAZ, op. cit, p. 20.

³⁸ INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO. Conceptos básicos del concreto. México, Ciudad de México. IMCYC. 2004. p. 6.

Con lo anterior, el agua tiene dos funciones importantes durante el proceso de maduración del concreto, que se describirá a continuación:

Agua de amasado: "Cumple una doble función en el hormigón, por un lado participa en la reacción de hidratación del cemento, y por otro confiere al hormigón el grado de trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra"³⁹.

Agua de curado: "Es la más importante durante la etapa del fraguado y el primer endurecimiento. Tiene por objeto evitar la desecación, mejorar la hidratación del cemento y evitar la retracción prematura"⁴⁰.

6.1.3.4 Aditivos

Los aditivos son sustancias que se introducen en la mezcla del hormigón, en la cual altera una o algunas características o propiedades presentes en el concreto, ya sea en estado fresco o endurecido⁴¹. Básicamente por medio del aditivo se busca un comportamiento deseado para el beneficio del concreto, sin alterar las características restantes. "Por su naturaleza, se clasifican en aditivos químicos y aditivos minerales. Entre los primeros, se tiene, principalmente, los plastificantes y super-plastificantes. Los incorporadores de aire y los controladores de fragua"⁴².

6.1.4 Resistencia del concreto

La resistencia del concreto es la propiedad mecánica más importante para el Ingeniero civil en sus diseños de puentes, edificios y otras estructuras, por esta razón, esta cualidad es fundamental en el hormigón y es de gran estudio y análisis para comprobar su resistencia a compresión y a flexión, en donde el concreto al ser sometido por una carga a compresión, soporta grandes esfuerzos, pero sometido a una fuerza de flexión, falla con más rapidez.

Para determinar esta cualidad que tiene el concreto, se realiza ensayos por medio de probetas de 10x20, que son establecidos por la Norma Técnica Colombiana, que para este caso es la NTC 4520, conocido como el método de ensayo para

39 QUIROZ CRESPO, SLAMANCA OSUNA, op. cit, p. 65.

40 Ibid., p. 65.

41 Ibid., p. 69.

42 E. HARMSEN, Teodoro. Diseño de estructuras de concreto armado: Materiales, Aditivos. Tercera Edición. Lima, Perú: Fondo Editorial, 2002. P. 13.

determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concreto a compresión.

6.1.5 El diagrama de esfuerzo-deformación unitario

Este diagrama se realiza a partir de los datos obtenidos de un ensayo de tensión o de compresión, en el que se determina ciertos esfuerzos, dividiendo la carga aplicada entre el área de la sección transversal original de la probeta⁴³.

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

σ = Esfuerzo.

P= Carga aplicada.

A_0 = Área de la sección.

También se determinara la deformación unitaria, que es dividiendo el cambio en la longitud entre la longitud original del cilindro.

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

ϵ = Deformación unitaria.

δ = Cambio en la longitud.

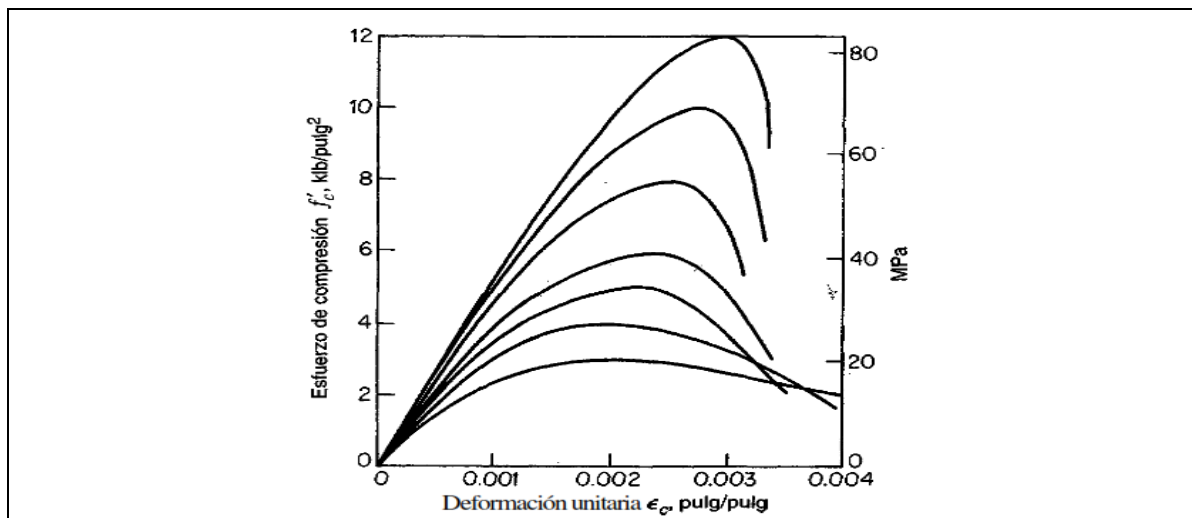
L_0 = Longitud original.

Este diagrama es de suma importancia para los Ingenieros civiles, ya que con ella se obtiene datos importantes sobre la resistencia de un material, sometidos a una carga externa como la compresión y la tensión. Cabe considerar que cuando se realiza el ensayo dos veces al mismo material con dos especímenes, los diagramas de esfuerzo-deformación unitaria, nunca serán los mismos, por lo que la composición del material son diferentes o tienen un comportamiento desigual a

⁴³ HIBBELER, Russell Charles. Mecánica de materiales: Propiedades mecánicas de los materiales. Sexta Edición. México: PEARSON Educación, 2006. P. 87.

la hora de resistir cierta fuerza. A continuación se mostrarán dos figuras, en donde una es para concreto de densidad normal y la otra es para concreto liviano⁴⁴.

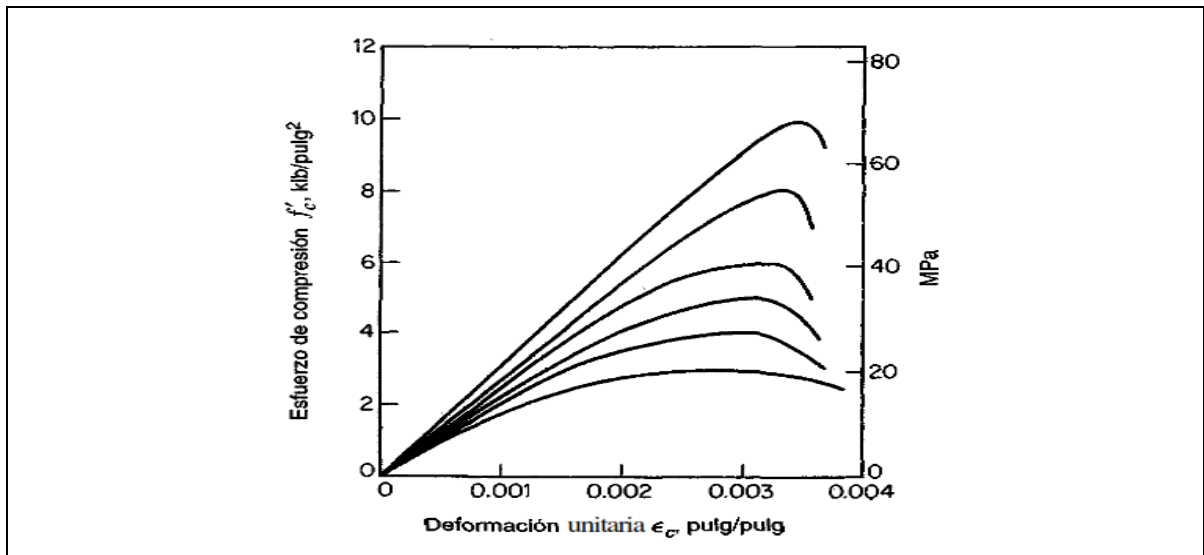
FIGURA 2. Curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión, típicas para concreto de densidad normal con $w_c=2300 \text{ kg/m}^3$



H. NILSON, Arthur. Diseño de estructuras de concreto: Propiedades en compresión. Duodécima edición. Bogotá D.C.: McGRAW-HILL, Inc, 1999. P. 38.

44 Ibíd., p. 87.

FIGURA 3. Curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión, típicas para concreto livianos con $w_c = 1600 \text{ kg/m}^3$.



H. NILSON, Arthur. Diseño de estructuras de concreto: Propiedades en compresión. Duodécima edición. Bogotá D.C.: McGRAW-HILL, Inc, 1999. P. 38.

⁴⁵Por medio de las gráficas, el concreto cuando alcanza el último esfuerzo, tiende a tener un tramo descendente, lo cual significa la falla del concreto y la respectiva descarga. Por otra parte se destaca que el concreto de densidad normal (2300 kg/m^3) varía su deformación unitaria entre 0,002 a 0,003 y para el concreto liviano entre 0,003 a 0,0035.

Básicamente el concreto tiene un comportamiento de material homogéneo y elástico, cuando todavía mantiene su forma recta en el diagrama esfuerzo-deformación unitaria, pero se va perdiendo, ya que el concreto sigue aceptando carga y su deformabilidad aumenta. Cuando el cilindro se fractura, pierde la capacidad de tomar carga, pero el cilindro sigue con su respectiva deformación hasta llegar a su rotura total⁴⁶.

Por otra parte, cabe resaltar que la longitud y la pendiente del diagrama de esfuerzo- deformación unitaria, dependerá del tipo de concreto, ya que para concretos de resistencias bajas, presentan una pendiente baja y una longitud mayor y para concretos de resistencia mayores será inversamente proporcional,

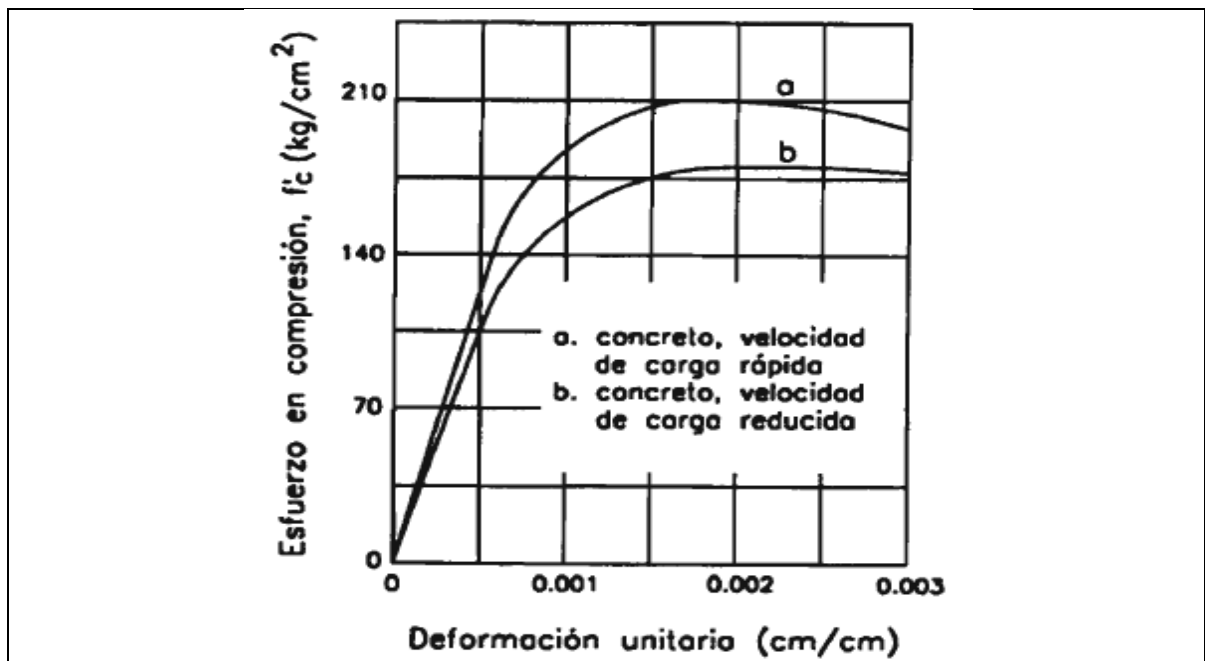
⁴⁵ H. NILSON, Arthur. Diseño de estructuras de concreto: Propiedades en compresión. Duodécima edición. Bogotá D.C.: McGRAW-HILL, Inc, 1999. P. 39.

⁴⁶ ZABALETA G., Hernan. Compendio de tecnología del hormigón. Primera edición. Chile: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1992. P. 42

en donde se deduce que los concretos de poca resistencia son medianamente dúctiles⁴⁷.

La curva esfuerzo-deformación unitaria, también dependerá de la velocidad de aplicación de la carga, por lo que si la velocidad de carga es rápida, entonces el esfuerzo último es mayor, comparándola con una carga reducida⁴⁸. A continuación se mostrará la figura 5 relacionado a lo anterior:

FIGURA 4. Efecto de la velocidad de carga en la resistencia a la compresión del concreto.



E. HARMSSEN, Teodoro. Diseño de estructuras de concreto armado: Materiales, Aditivos. Tercera Edición. Lima, Perú: Fondo Editorial, 2002. P. 29.

6.1.6 Módulo de elasticidad estático o secante

“Es la relación que existe entre el esfuerzo y la deformación unitaria axial al estar sometido el concreto a esfuerzos de compresión dentro del comportamiento

⁴⁷ E. HARMSSEN. op. cit. p. 28.

⁴⁸ Ibid. p. 29.

elástico. Es la pendiente de la secante definida por dos puntos de la curva del esfuerzo-deformación unitaria, dentro de esta zona elástica"⁴⁹.

El módulo de elasticidad describe la rigidez relativa de un material y se puede calcular dividiendo el esfuerzo por la elongación unitaria⁵⁰:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{F}{A_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{FL_0}{A_0\Delta L}$$

E: Módulo de elasticidad o Módulo de Young.

F: Fuerza axial aplicada.

A₀: Área de la sección transversal original.

L₀: Altura original.

ΔL: Variación de dimensión longitudinal del objeto.

"El módulo de elasticidad del concreto ha sido considerado como un factor importante en el diseño de estructuras de concreto. Para su determinación se plantean diferentes procedimientos experimentales para mezclas en estado fresco donde se mide la deformación durante el tiempo de fraguado, así como en estado endurecido"⁵¹.

6.1.7 Relación de Poisson

"Es la relación entre las deformaciones transversal y longitudinal al estar sometido el concreto a esfuerzos de compresión dentro del comportamiento elástico"⁵².

49 INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO. Conceptos básicos del concreto: Concreto sometido a presión. México, Ciudad de México. IMCYC. 2004. p. 68.

50 SERRANO GUZMÁN, María Fernanda y PEREZ RUIZ, Diego Darío. Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto. En: Cemento hormigón. Diciembre, 2010. vol. 2. no. 1. p. 17-30.

51 Ibíd. p. 17-30.

52 INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO. op. cit. p.68.

"Estas deformaciones en la dirección axial o longitudinal y en la dirección lateral o radial son, respectivamente"⁵³,

$$\epsilon_{long} = \frac{\delta}{L} ; \epsilon_{lat} = \frac{\delta'}{r}$$

El científico Poisson⁵⁴ encontró que estas dos deformaciones son constantes en la zona elástica, por lo que la deformación axial y la deformación lateral son proporcionales, entonces el determinó esta constante como módulo de Poisson, expresado matemáticamente,

$$\nu = \frac{\epsilon_{long}}{\epsilon_{lat}}$$

"Los valores de la relación de Poisson se requieren para el análisis estructural y para el diseño de muchos tipos de estructuras. Básicamente los valores de este módulo caen dentro del rango de 0,15 a 0,25. A falta de datos experimentales, se puede utilizar un valor de 0,20"⁵⁵.

6.2 MARCO CONCEPTUAL

Las deformaciones en una estructura son debidas a cargas externas aplicadas, en la cual genera esfuerzos internos en el material. Elaborando la gráfica del esfuerzo contra deformación unitaria, se determinarán algunas propiedades importantes del material, tales como su módulo de elasticidad y si el material es dúctil o frágil.

Estas deformaciones dependerán o estarán relacionadas con el módulo de elasticidad, la carga y la geometría del material, ya que si se aumenta la carga axial en un material (probeta), esta tendrá un mayor alargamiento, a su vez el esfuerzo dependerá de la sección transversal y la longitud, es decir si la longitud L

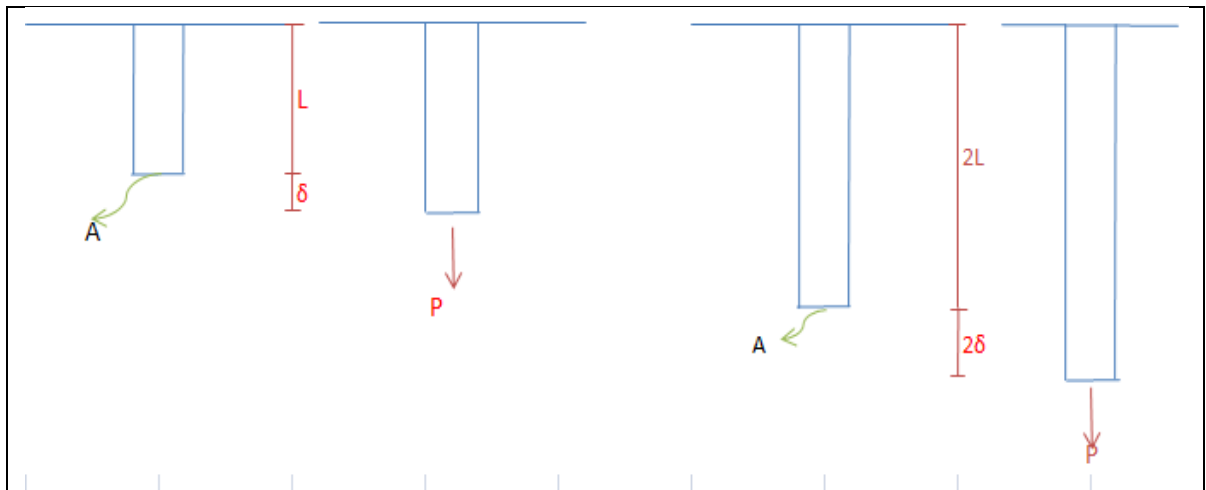
⁵³ HIBBELER. op. cit. p. 107.

⁵⁴ Ibíd p. 107.

⁵⁵ QUIROZ CRESPO, SLAMANCA OSUNA, op. cit, p. 126.

de una barra que es sometida a una carga P , con un área A , el alargamiento será menor, pero si esa longitud es $2L$, el alargamiento será mayor. Ahora si se varía la sección transversal en $2A$ la deformación será menor.

FIGURA 5. Alargamientos dependiendo de la longitud y la sección transversal.



Fuente: Fuente propia.

La Deformación Unitaria es directamente proporcional al esfuerzo, teniendo en cuenta el módulo de elasticidad del material, el cual es una constante para cada material, lo que a su vez define la rigidez del espécimen. Cabe resaltar que la rigidez también estará afectada.

6.3 MARCO NORMATIVO

La relación de Poisson y el módulo de elasticidad son dos variables importantes que intervienen en el desarrollo del presente trabajo de investigación por ende se constituyen en un referente legal importante las siguientes normas:

La Norma Sismo Resistente (NSR-10) ⁵⁶, es el documento regulador de la construcción en el país, dentro del cual se encuentran legitimados los parámetros mediante los cuales actualmente se diseñan estructuras a nivel nacional

NTC-4025: "Esta norma determina: (1) el módulo de elasticidad secante (o módulo de Young) y (2) la relación de Poisson de cilindros de concreto, cuando estos se hallan bajo esfuerzos de compresión longitudinal"⁵⁷.

NTC-550: "Establece los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos y prismáticos tomados de muestras tomadas de muestras representativas de concreto fresco para construcción"⁵⁸.

NTC-673: "cubre la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como los cilindros moldeados y los cilindros extraídos. Esta limitado a concretos con masa unitaria que excedan los 800 kg/m³"⁵⁹.

NTC-1377: "Esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto que se pueda compactar por apisonamiento o vibración, como se describe en la presente norma"⁶⁰.

NTC-550, Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra⁶¹

Esta norma describe el curado en campo que es el curado inicial y final, donde se especifica cuidar las superficies del cilindro, ya que debe estar en las mismas condiciones de temperatura y ambiente húmedo que la estructura. Después de esto los especímenes se transportaran cuando cumplan con las 24 horas en la respectiva obra, con el fin de que los cilindros hayan adquirido consistencia.

Para el transporte de las probetas, se deberá tener en cuenta las siguientes especificaciones:

⁵⁶ ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, MINISTERIO DEL AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombia de construcción sismo resistente NSR-10. Primera Edición. Título C artículo CR.8.5.1. Bogotá D.C. 2011. Pag. 112.

⁵⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS Y TECNICAS. Concretos. método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concretos a compresión. Bogotá D.C.: El instituto Pag.1.

⁵⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. Bogotá D.C. El instituto. Pag.4.

⁵⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto. Bogotá D.C. El instituto. Pag.4.

⁶⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Ingeniería Civil y Arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio. Bogotá D.C. El instituto. Pag.2

⁶¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. Bogotá D.C. El Instituto. Pp. 1-11.

- ✓ Se debe proteger con un material amortiguador para evitar daño por golpes, por temperatura de congelación, o por pérdida de humedad. Esto se realiza, envolviendo los cilindros con bolsas plásticas o rodeándolos de arena húmeda o aserrín húmedo.
- ✓ El tiempo de transporte no debe ser mayor a 4 horas.

Al tener los especímenes en la Universidad la Gran Colombia, se introducen en el tanque de almacenamiento, la mitad de los cilindros para el respectivo curado por inmersión, y la otra mitad se almacenarán en un lugar libre de humedad, que son los no curados.

NTC-4025, Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concreto a compresión⁶²

Para realizar este ensayo se deberá tener los siguientes aparatos:

Máquina de ensayo: Puede ser usada cualquier tipo de máquina de ensayo capaz de imponer una carga a una tasa y a una magnitud fijadas. La máquina debe adecuarse a los requisitos de la NTCE 3341.

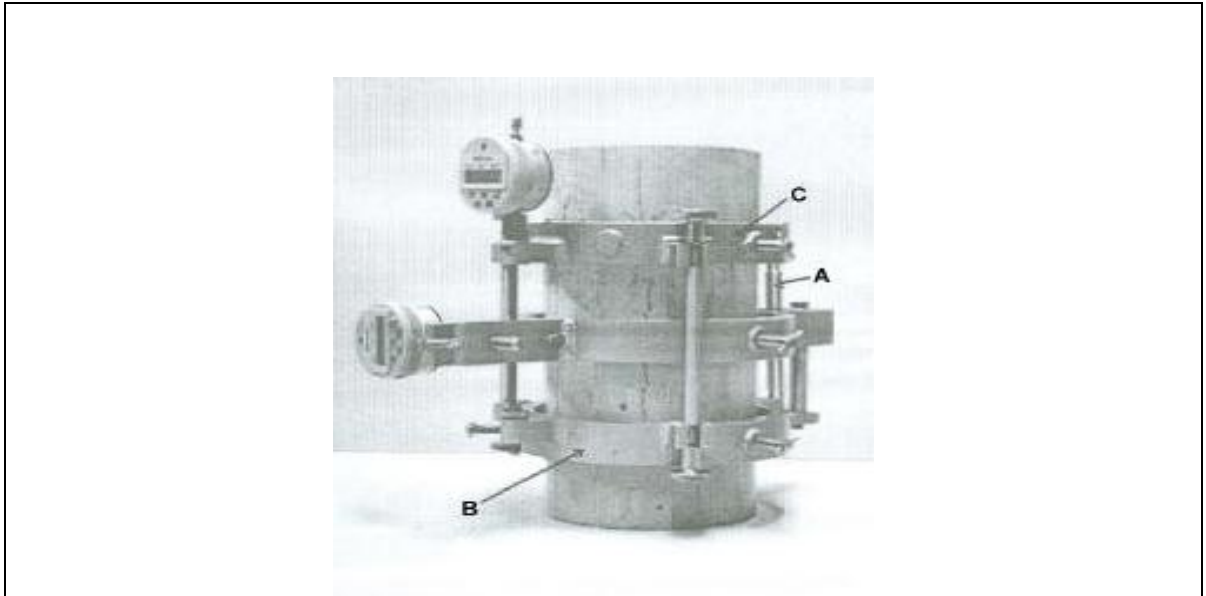
Compresómetro: Se debe disponer sobre el espécimen de un dispositivo sensible unido o no a él, cuya aproximación debe estar cercana a la 5 millonésima parte del promedio de deformación de dos deformímetros diametralmente opuestos, cada uno paralelo al eje y centrado alrededor de la altura del espécimen. Los puntos de contacto entre el espécimen y los anillos del deformímetros pueden estar embebidos o adheridos al espécimen y la deformación de cada uno de los deformímetros se lee de manera independiente; por otra parte también se puede usar un Compresómetro, el cual está constituido por dos anillos, uno atornillado al espécimen y otro fijado en dos puntos diametralmente opuestos, de tal forma que pueda rotar.

En la mitad de la distancia de los puntos de soporte del anillo rotativo debe colocarse un vástago largo pivotado para mantener una distancia fija entre ellos, para que de esa forma el cambio de la distancia entre los anillos sea igual a la

⁶² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS Y TECNICAS. Concretos. método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concretos a compresión. Bogotá D.C.: El instituto Pp 1-9.

suma de los desplazamientos debidas a la deformación del espécimen, así como a la rotación del anillo con respecto al vástago largo pivotado.

Figura 6.Compresómetro



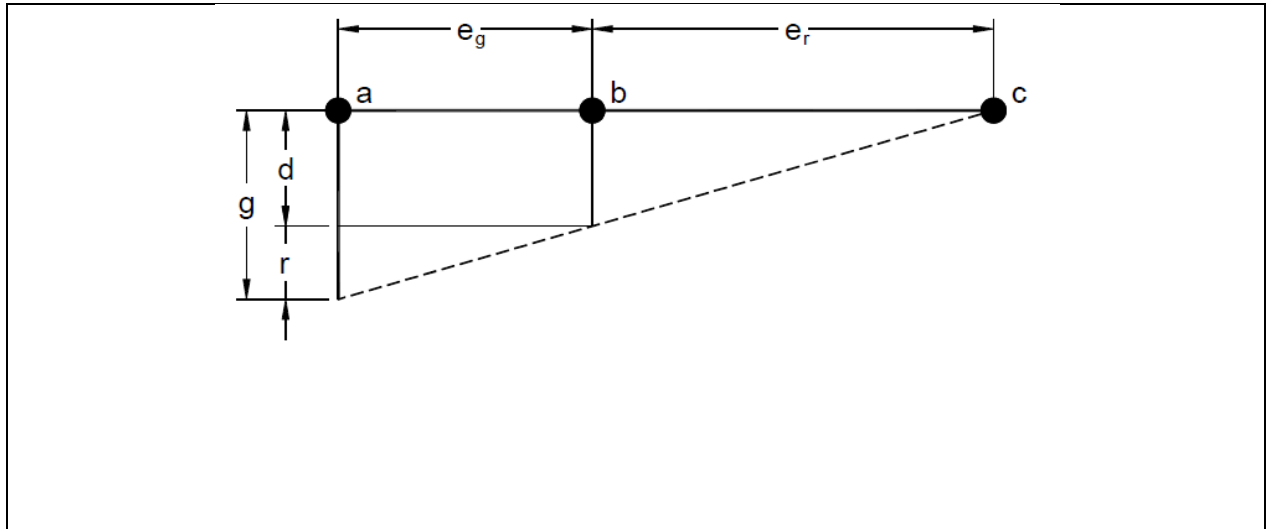
INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS Y TECNICAS. Concretos. método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concretos a compresión. Bogotá D.C.: El instituto Pag. 3.

De igual forma la deformación del espécimen puede medirse directamente con un deformímetro o con un sistema multiplicador de palanca, por un deformímetro electrónico de alambre o por un transductor longitudinal de desplazamiento variable. Por otro lado, si las distancias del vástago largo pivotado y del deformímetro son iguales, entonces deberá tomarse la deformación del espécimen como la mitad de la lectura del deformímetro. En caso de que esta distancia al eje del espécimen no sea igual, debe calcularse de la siguiente manera:

$$d = \frac{ge_r}{(e_r + e_g)}$$

En donde:

Figura 7. Diagrama de desplazamiento



INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS Y TECNICAS. Concretos. método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concretos a compresión. Bogotá D.C.: El instituto Pag. 4.

a: Localización del deformímetro.

b: Punto de soporte del anillo rotativo.

c: Localización del vástago largo pivotado.

r: Desplazamiento debido a la rotación del anillo alrededor de la varilla del pivote.

d: Deformación total del espécimen a lo largo de la longitud efectiva del deformímetro, μm (μ pulgada).

g: Lectura del deformímetro, μm . (μ pulgada).

e_r : Excentricidad del vástago largo pivotado, medida en milímetros con aproximación a 0,254 mm (0,01 pulgada), desde el eje del espécimen.

e_g : Excentricidad del deformímetro, medida en milímetros con aproximación a 0,254 mm (0,01 pulgada) desde el eje del espécimen.

Extensómetro: Para obtener la relación de Poisson, se determina mediante un extensómetro no adherido al espécimen capaz de medir con una aproximación de

0.635 μm (25 μ pulgadas) el cambio de altura en la mitad del espécimen o mediante dos deformímetros adheridos, montados circularmente en puntos diametralmente opuestos en la mitad de la altura del espécimen”, capaces de medir deformaciones circunferenciales con una precisión de 5 millonésimas. También es adecuado utilizar un aparato que combine un Compresómetro y extensómetro no adherido al espécimen. Este aparato debe contener un tercer anillo fijado en la mitad entre los dos anillos del Compresómetro y además adherido en puntos diametralmente opuestos. En la mitad de estos puntos se ubica una varilla de pivote o anclaje corta, adyacente a la varilla de pivote larga la cual mantiene la distancia fija entre los anillos interior y medio.

El anillo medio se debe articular en el punto de pivote para permitir la rotación de los segmentos del mismo, en el plano horizontal. En el punto opuesto a la circunferencia, los dos segmentos se deben conectar a un deformímetro con una sensibilidad de medir deformación transversal con una aproximación cercana a las 1.27 μm (50 μ pulgadas). Por lo que de acuerdo a las anteriores especificaciones es de resaltar tener en cuenta las siguientes pautas para la toma de decisión en cuanto a los datos obtenidos “si las distancias de la articulación y del deformímetro al eje del espécimen son iguales, la deformación en el diámetro del espécimen es igual a la mitad de la lectura del deformímetro. En caso de no ser iguales, la deformación transversal del espécimen se debe calcular de acuerdo con la ecuación:

$$d' = \frac{g' e_h'}{(e_h' + e_g')}$$

en donde:

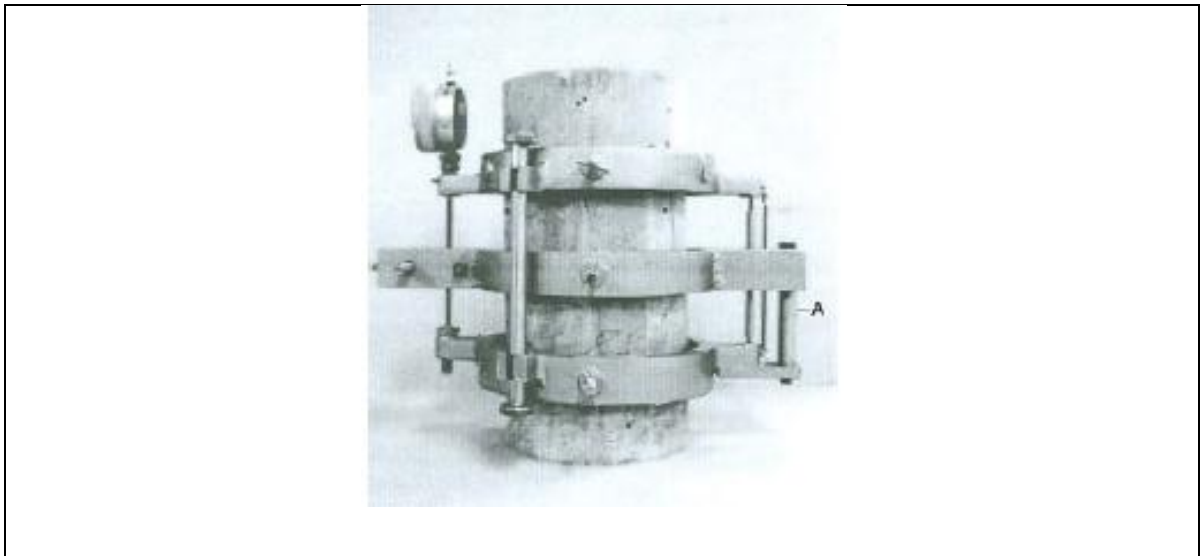
d' : Deformación transversal del diámetro del espécimen, μm .

g' : Lectura del deformímetro transversal, μm .

e_h' : Excentricidad de la articulación, medida en milímetros con aproximación a 0,254 mm (0,01 pulgada), desde el eje espécimen.

e_g' : Excentricidad del deformímetro transversal, medido en milímetro con aproximación a 0,254 mm (0,01 pulgada), desde el eje espécimen.

Figura 8. Apropriada combinación de Compresómetro y extensómetro



INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS Y TECNICAS. Concretos. método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concretos a compresión. Bogotá D.C.: El instituto Pag. 5

Teniendo los aparatos organizados, se comienza con su respectivo procedimiento:

- Se mantiene la temperatura ambiente y la humedad lo más constante posible a través del ensayo. Se anota cualquier fluctuación inusual de la temperatura o humedad en el informe.
- Se usa la pareja del espécimen para determinar la resistencia a la compresión de acuerdo con el método de ensayo establecido en la NTC 673 (ASTM C39), antes del ensayo para la obtención del módulo de elasticidad.
- Se coloca el espécimen con el equipo de medición de deformación acoplado, en la platina inferior o bloque de apoyo de la máquina de ensayo. Cuidadosamente, se alinea el eje del espécimen con el centro de la rótula del bloque superior de apoyo. Se toma nota de la lectura del deformímetro. A medida que el bloque superior de apoyo se lleva lentamente a asentarse sobre el espécimen, se rota la parte móvil del bloque suavemente a mano hasta que se obtenga un apoyo uniforme.
- Se aplica carga al espécimen por lo menos dos veces. No se registran datos durante el primer ciclo de carga. Se calcula utilizando el promedio de los resultados de los siguientes ciclos de carga.

Nota: El primer ciclo es para ajustar los deformímetros, en la cual se corrige cualquier comportamiento inusual antes del segundo ciclo de carga.

- El módulo de elasticidad y la resistencia se pueden obtener en el mismo ciclo de carga aun cuando los deformímetros sean desechables, removibles o estén suficientemente protegidos para que sea posible cumplir con los requisitos de carga continua dados en la NTC 673 (ASTM C39). En este caso, se registran varias lecturas y se determina el valor de la deformación en el 40 % de la carga última por interpolación.

- Si se toman lecturas intermedias, se gráficán los resultados de los tres ensayos con la deformación longitudinal en las abscisas y el esfuerzo de compresión en las ordenadas. Se calcula el esfuerzo de compresión dividiendo el valor de la carga de la máquina de ensayo, por el área transversal del espécimen.

Nota: El diámetro del espécimen de ensayo se debe medir con un calibrador con una aproximación de 0,25 mm (0,01 pulgadas), promediando dos diámetros medidos en ángulos rectos entre sí, cerca del centro de la altura del espécimen. Este diámetro promedio se puede utilizar para calcular el área de la sección del espécimen.

Teniendo terminado el procedimiento, se realiza los respectivos cálculos:

Se calcula el módulo de elasticidad, aproximando a 350 MPa (50000 Psi) como sigue:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)}$$

en donde:

E: Módulo de elasticidad secante, en MPa (Psi).

S₂: Esfuerzo correspondiente al 40 % de la carga última.

S₁: Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal, ϵ_1 , de las 50 millonésimas, en MPa.

ϵ_2 : Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂.

Se calcula de la relación de Poisson, aproximando a 0,001, como sigue:

$$\mu = \frac{(\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})}{(\varepsilon_2 - 0,00050)}$$

en donde:

μ : Relación de Poisson.

ε_{t2} : Deformación transversal en la altura media del espécimen producida por el esfuerzo S_2 .

ε_{t1} : Deformación transversal en la altura del espécimen producida por el esfuerzo S_1 .

7 DISEÑO METODOLÓGICO

El presente proyecto se viene desarrollando con apoyo a la norma NTC- 4025, NTC 550 y la NTC 346 las cuales describen de manera sucinta los requerimientos técnicos y los procedimientos a seguir para la determinación del módulo de elasticidad y la relación de Poisson.

7.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es de carácter cuantitativo dado que se tiene una muestra de 96 especímenes cilíndricos correspondientes a las 6 obras estructurales seleccionadas en la zona occidental de Bogotá, a partir de los cuales se determinara el módulo estático y la relación de Poisson mediante el ensayo de laboratorio antes mencionado; y teniendo en cuenta el propósito final del semillero de estructuras de hallar un posible valor “k” para uso de Bogotá de acuerdo a las características intrínsecas en los insumos usados en la elaboración del concreto, con base al cual se planteó la pregunta problema, por lo que con el objeto de cubrir toda la ciudad de Bogotá esta investigación se subdividió en 4 grupos de investigación con el mismo objeto pero diferente zona de investigación. Así mismo las muestras tomadas en obra por cada uno de los grupos se caracterizan en 3 obras con concretos de resistencia de 21 MPa y 3 de 28 MPa.

7.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación corresponde a un estudio experimental, en el cual las variables dependientes, son el Módulo de elasticidad y el módulo de Poisson, y por variables independientes se entienden: el tipo de curado; ya que esta variable es la que pueden ser manipulada durante el proceso de investigación.

7.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

7.3.1 FASE 1

1. Ubicación de las 6 obras en el occidente de Bogotá, obtención del material y tratamiento inicial de la muestra.
2. Fraguado de especímenes en estado fresco y endurecido, teniendo en cuenta la elaboración y curado en obra.
3. Realización de pruebas a compresión (Ensayo de módulo de elasticidad y relación de Poisson NTC 4025) de los especímenes de las 6 obras del occidente de Bogotá, a los 28 y 56 días del fraguado, llevando la probeta al 40% de su resistencia última, donde la relación de esfuerzos y deformaciones guardan proporcionalidad y registrando la deformación longitudinal y transversal tomadas y almacenadas por el sistema.

7.3.2 FASE 2

1. Análisis estadístico a partir de los resultados experimentales de Módulo de elasticidad y la relación de Poisson
2. Comparación de resultados.

ENSAYOS A DESARROLLAR EN EL TRABAJO DE EXPERIMENTACION

Debido a que el trabajo es fundamentalmente experimental se debe tratar en gran medida de seguir las recomendaciones básicas de la NTC con el fin de tener el control sobre las variables a intervenir. Se inicia entonces con la ubicación de las 6 obras en la zona occidental de Bogotá. Teniendo en cuenta la NTC 550 que contiene los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos extraídos de muestras de concreto fresco utilizados para la construcción.

El curado del concreto es un factor importante que da lugar a las condiciones necesarias para mantener estables la temperatura y humedad en el concreto, proporcionando mayor adherencia entre la pasta y el agregado. Siendo este determinante en la resistencia del concreto, es una de las variables a tener en

cuenta en la investigación habiendo determinado dos situaciones como son: los especímenes curados por aireación y los curados por inmersión.

La edad del concreto es otro de los aspectos tenidos en cuenta, ya que con el transcurso del tiempo este va adquiriendo mayor resistencia, por esta razón, se determinó que los tiempos para analizar su resistencia sean a los 28 y 56 días.

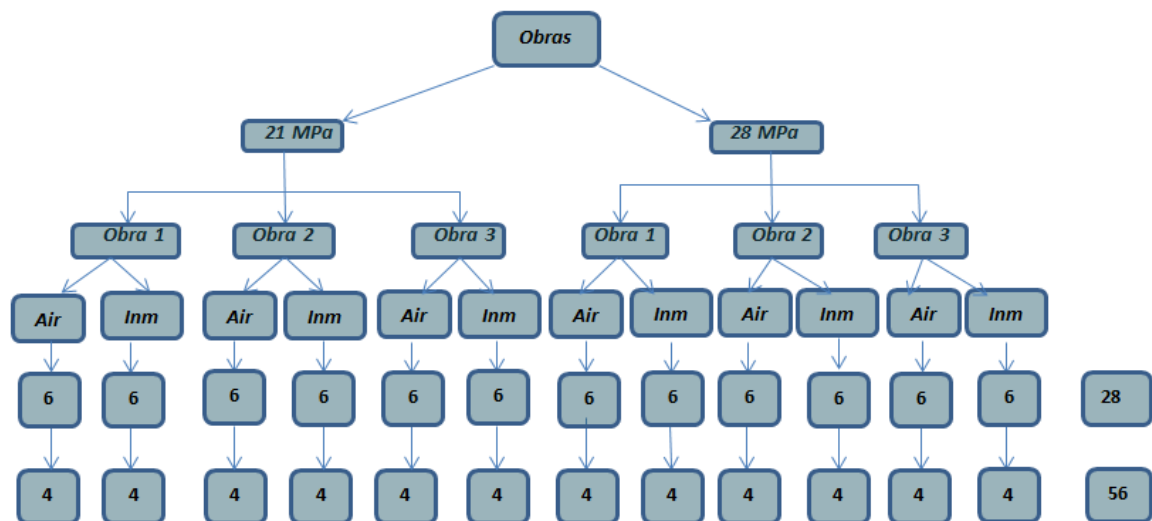
Las dimensiones de los especímenes empleados difieren de los normalmente usados con el fin de minimizar el material a utilizar. Estos tienen dimensiones de 10*20 cm, que están en función de la esbeltez altura diámetro recomendados por las normas NTC 673 y NTC 3658.

Actualmente existen diversas formas de determinar el módulo de elasticidad; sin embargo, para este caso también se medirá la resistencia y el Módulo de elasticidad lo que implica usar el método destructivo especificado en la NTC 4025.

Finalmente, se presenta un cuadro que resume los 120 ensayos realizados teniendo en cuenta la variable definida para la investigación.

Figura 9. Espectro de investigación

(Relación de Poisson y Módulo de elasticidad)



Air: tipo de curado por aireación. **Inm:** tipo de curado por inmersión.

Fuente: propia (2015)

Nota: los números indican la cantidad de cilindros a utilizar.

La cantidad neta de cilindros seria 72 para el ensayo, pero debido al procedimiento seguido son 120 ensayos realizados.

Una vez ubicada cada una de las obras, se procede a obtener las muestras siguiendo la metodología mencionada a continuación:

- Toma de concreto directamente de la mixer
- Llenado de moldes en tres capas cada una de un tercio del volumen; agregando en la última capa el concreto suficiente para que el molde quede totalmente lleno después de la compactación. Ajustar el sobrante o faltante con una porción de mezcla y completar el número de golpes faltantes. Cada capa se debe penetrar 25 veces con una varilla de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud con punta redondeada, del centro hacia fuera en forma de espiral. Teniendo en cuenta que las capas inferior se compacta en todo su espesor mientras que las siguientes penetrando no más de 1" en la capa anterior. Luego de compactar cada una de las capas se debe golpear suavemente a los costados de este de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire atrapadas en su interior.
- Se enrasan los moldes con la varilla y se alisa la superficie de tal manera que quede plana.
- Se trasladan los cilindros a un lugar de la obra donde estén libres de alteraciones.
- Después de 24 horas de fundir los cilindros se desencofran y se marcan.
- Se dejan 8 de los 16 cilindros en curado de aireación y los restantes se depositan en una piscina de inmersión.
- Cumplidos los 28 días se procede a medir diámetro y longitud y pesar cada uno de los cilindros para calcular el peso unitario y la relación de Poisson.
- Los cilindros que se encuentren en curado por inmersión se deben extraer de la piscina con un día de anterioridad al ensayo según NTC-4025.
- Se ensaya un cilindro de los curados por aireación para conocer f'_c máximo, dato con el cual se calcula el 40% de la resistencia a la compresión para proceder a realizar el ensayo de módulo de elasticidad y relación de Poisson a los demás cilindros de su tipo.
Nota: se ensayan los cilindros con el 40% de su resistencia para que el concreto permanezca en su límite elástico y no sufra deformaciones permanentes.
- Se extraen los datos arrojados por el equipo y se procede a realizar las gráficas y análisis de los datos obtenidos.

8 RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los datos arrojados por los ensayos realizados para la investigación.

8.1 Relación de Poisson, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión del concreto

En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos mediante la experimentación en el laboratorio y su posterior calculo analítico; los parámetros evaluados en la investigación son la relación de Poisson, el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión del concreto de 6 diferentes obras ubicadas en la zona occidental de Bogotá, en donde 3 corresponden a una resistencia 21 MPa y las restantes a 28 MPa; para dos tipos de curado diferentes refiriéndonos a ellos así NCUR para aireación y CUR para inmersión. Tomados a los 28 y 56 días de sus respectivos curados.

8.1.1 Clasificación según tipo de curado

8.1.1.1 Curado por aireación

Tabla No 1 AIREACION OBRA 1 21 MPA 28 DIAS

OBRA 1 28 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
2	0,236 mm/mm	17716,868 Mpa	19,555 MPa
3	0,203 mm/mm	18682,334 Mpa	19,953 MPa
4	0,181 mm/mm	18811,637 Mpa	20,137 MPa
10	0,210 mm/mm	16104,324 Mpa	20,483 MPa
11	0,220 mm/mm	19047,726 Mpa	20,132 MPa
12	0,207 mm/mm	15689,750 Mpa	19,957 MPa
PROMEDIO	0,210 mm/mm	17675,440 Mpa	20,036 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 2 AIREACION OBRA 1 21 MPA 56 DIAS

OBRA 1 56 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
3	0,154 mm/mm	19099,465 MPa	20,289 MPa
4	0,195 mm/mm	19540,669 MPa	19,596 MPa
11	0,204 mm/mm	17173,173 MPa	19,995 MPa
12	0,185 mm/mm	19674,499 MPa	19,821 MPa
PROMEDIO	0,185 mm/mm	18871,952 MPa	19,925 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 3 AIREACION OBRA 2 21 MPA 28 DIAS

OBRA 2 28 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
18	0,210 mm/mm	22199,426 MPa	20,142 MPa
19	0,184 mm/mm	21106,499 MPa	19,901 MPa
20	0,220 mm/mm	18795,966 MPa	19,709 MPa
26	0,225 mm/mm	17758,491 MPa	20,924 MPa
27	0,186 mm/mm	17861,331 MPa	20,951 MPa
28	0,204 mm/mm	18391,793 MPa	20,979 MPa
PROMEDIO	0,205 mm/mm	19352,251 MPa	20,435 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 4 AIREACION OBRA 2 21 MPA 56 DIAS

OBRA 2 56 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
19	0,145 mm/mm	23170,974 MPa	28,492 MPa
20	0,202 mm/mm	18795,966 MPa	25,959 MPa
27	0,166 mm/mm	20000,204 MPa	30,995 MPa
28	0,187 mm/mm	19774,005 MPa	30,998 MPa
PROMEDIO	0,175 mm/mm	20435,287 MPa	29,111 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 5 AIREACION OBRA 3 21 MPA 28 DIAS

OBRA 3 28 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
34	0,210 mm/mm	22212,601 MPa	20,651 MPa
35	0,161 mm/mm	21247,724 MPa	20,651 MPa
36	0,202 mm/mm	18740,816 MPa	20,651 MPa
42	0,203 mm/mm	17793,400 MPa	20,257 MPa
43	0,210 mm/mm	18480,536 MPa	20,257 MPa
44	0,170 mm/mm	18366,513 MPa	20,257 MPa
PROMEDIO	0,193 mm/mm	19473,598 MPa	20,454 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 6 AIREACION OBRA 3 21 MPA 56 DIAS

OBRA 3 56 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
35	0,182 mm/mm	22346,972 MPa	27,339 MPa
36	0,202 mm/mm	19197,442 MPa	25,383 MPa
43	0,187 mm/mm	20039,547 MPa	28,170 MPa
44	0,166 mm/mm	19228,673 MPa	28,115 MPa
PROMEDIO	0,184 mm/mm	20203,159 MPa	27,252 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 7 AIREACION OBRA 1 28 MPA 28 DIAS

OBRA 1 28 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
2	0,195 mm/mm	21479,532 Mpa	27,071 MPa
3	0,233 mm/mm	21552,149 Mpa	27,143 MPa
4	0,198 mm/mm	21598,493 Mpa	26,603 MPa
10	0,192 mm/mm	21248,669 Mpa	26,581 MPa
11	0,208 mm/mm	21641,362 Mpa	26,748 MPa
12	0,216 mm/mm	21864,610 Mpa	26,721 MPa
PROMEDIO	0,207 mm/mm	21564,136 Mpa	26,811 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 8 AIREACION OBRA 1 28 MPA 56 DIAS

OBRA 1 56 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD Mpa	RESISTENCIA(Mpa)
3	0,206 mm/mm	23365,962 MPa	32,668 MPa
4	0,180 mm/mm	22340,202 MPa	31,769 MPa
11	0,196 mm/mm	27933,670 MPa	37,107 MPa
12	0,225 mm/mm	22559,503 MPa	37,071 MPa
PROMEDIO	0,202 mm/mm	24049,834 MPa	34,654 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 9 AIREACION OBRA 2 28 MPA 28 DIAS

OBRA 2 28 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
18	0,183 mm/mm	21112,756 MPa	26,740 MPa
19	0,184 mm/mm	19627,740 MPa	26,617 MPa
20	0,172 mm/mm	20239,384 MPa	26,495 MPa
26	0,200 mm/mm	22622,043 MPa	26,749 MPa
27	0,215 mm/mm	23714,835 MPa	26,749 MPa
28	0,196 mm/mm	22297,550 MPa	26,726 MPa
PROMEDIO	0,192 mm/mm	21602,385 MPa	26,679 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 10 AIREACION OBRA 2 28 MPA 56 DIAS

OBRA 2 56 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
19	0,202 mm/mm	23307,806 MPa	40,794 MPa
20	0,205 mm/mm	24842,476 MPa	40,606 MPa
27	0,210 mm/mm	23552,484 MPa	35,715 MPa
28	0,188 mm/mm	23533,952 MPa	35,685 MPa
PROMEDIO	0,201 mm/mm	23809,180 MPa	38,200 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 11 AIREACION OBRA 3 28 MPA 28 DIAS

OBRA 3 28 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
34	0,172 mm/mm	21327,481 Mpa	24,472 MPa
35	0,191 mm/mm	21654,917 Mpa	24,765 MPa
36	0,186 mm/mm	20404,780 Mpa	24,037 MPa
42	0,166 mm/mm	22202,526 Mpa	26,264 MPa
43	0,183 mm/mm	21865,146 Mpa	26,979 MPa
44	0,183 mm/mm	21860,870 Mpa	27,410 MPa
PROMEDIO	0,180 mm/mm	21552,620 Mpa	25,654 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 12 AIREACION OBRA 3 28 MPA 56 DIAS

OBRA 3 56 DIAS-NCUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
35	0,246 mm/mm	26329,745 Mpa	24,984 MPa
36	0,231 mm/mm	19076,787 Mpa	25,499 MPa
43	0,225 mm/mm	21455,679 Mpa	29,927 MPa
44	0,235 mm/mm	22140,611 Mpa	30,159 MPa
PROMEDIO	0,234 mm/mm	22250,706 Mpa	27,642 MPa

Fuente: Propia. (2015)

8.1.1.2 Curado por inmersión

Tabla No 13 INMERSION OBRA 1 21 MPA 28 DIAS

OBRA 1 28 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
6	0,200 mm/mm	21327,054 MPa	21,466 MPa
7	0,192 mm/mm	16138,237 MPa	21,098 MPa
8	0,220 mm/mm	19034,165 MPa	21,008 MPa
14	0,212 mm/mm	17480,101 MPa	20,624 MPa
15	0,163 mm/mm	22568,832 MPa	21,056 MPa
16	0,231 mm/mm	22262,473 MPa	20,952 MPa
PROMEDIO	0,203 mm/mm	19801,810 MPa	21,034 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 14 INMERSION OBRA 1 21 MPA 56 DIAS

OBRA 1 56 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
7	0,206 mm/mm	22304,297 MPa	27,894 MPa
8	0,232 mm/mm	23024,074 MPa	29,094 MPa
15	0,235 mm/mm	23694,286 MPa	26,801 MPa
16	0,203 mm/mm	23247,527 MPa	26,643 MPa
PROMEDIO	0,219 mm/mm	23067,546 MPa	27,608 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 15 INMERSION OBRA 2 21 MPA 28 DIAS

OBRA 2 28 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
22	0,231 mm/mm	19345,792 MPa	22,947 MPa
23	0,143 mm/mm	19397,543 MPa	22,953 MPa
24	0,168 mm/mm	24752,154 MPa	22,976 MPa
30	0,187 mm/mm	18404,854 MPa	25,311 MPa
31	0,187 mm/mm	18893,875 MPa	24,688 MPa
32	0,186 mm/mm	17403,714 MPa	25,162 MPa
PROMEDIO	0,184 mm/mm	19699,655 MPa	24,006 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 16 INMERSION OBRA 2 21 MPA 56 DIAS

OBRA 2 56 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
23	0,223 mm/mm	22611,974 MPa	28,550 MPa
24	0,187 mm/mm	21586,958 MPa	28,578 MPa
31	0,162 mm/mm	20393,189 MPa	34,919 MPa
32	0,207 mm/mm	19824,015 MPa	30,156 MPa
PROMEDIO	0,195 mm/mm	21104,034 MPa	30,551 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 17 INMERSION OBRA 3 21 MPA 28 DIAS

OBRA 3 28 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
38	0,212 mm/mm	19437,397 MPa	22,801 MPa
39	0,162 mm/mm	19185,694 MPa	22,801 MPa
40	0,167 mm/mm	23623,474 MPa	22,801 MPa
46	0,244 mm/mm	18470,281 MPa	23,935 MPa
47	0,206 mm/mm	18915,947 MPa	23,935 MPa
48	0,201 mm/mm	18117,317 MPa	23,935 MPa
PROMEDIO	0,199 mm/mm	19625,018 MPa	23,368 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 18 INMERSION OBRA 3 21 MPA 56 DIAS

OBRA 3 56 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
39	0,222 mm/mm	23943,411 MPa	30,476 MPa
40	0,217 mm/mm	21403,066 MPa	24,520 MPa
47	0,185 mm/mm	20989,431 MPa	33,730 MPa
48	0,186 mm/mm	19302,274 MPa	28,901 MPa
PROMEDIO	0,203 mm/mm	21409,546 MPa	29,407 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 19 INMERSION OBRA 1 28 MPA 28 DIAS

OBRA 1 28 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
6	0,196 mm/mm	21615,593 MPa	29,237 MPa
7	0,188 mm/mm	22407,476 MPa	28,951 MPa
8	0,196 mm/mm	21572,373 MPa	28,951 MPa
14	0,234 mm/mm	21365,402 MPa	32,487 MPa
15	0,246 mm/mm	21711,139 MPa	32,423 MPa
16	0,210 mm/mm	22972,241 MPa	32,263 MPa
PROMEDIO	0,212 mm/mm	21940,704 MPa	30,719 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 20 INMERSION OBRA 1 28 MPA 56 DIAS

OBRA 1 56 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA (Mpa)
7	0,203 mm/mm	28101,779 MPa	32,570 MPa
8	0,205 mm/mm	25234,346 MPa	32,570 MPa
15	0,222 mm/mm	25687,103 MPa	44,502 MPa
16	0,211 mm/mm	26284,429 MPa	44,283 MPa
PROMEDIO	0,210 mm/mm	26326,914 MPa	38,482 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 21 INMERSION OBRA 2 28 MPA 28 DIAS

OBRA 2 28 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
22	0,201 mm/mm	22027,034 MPa	28,073 MPa
23	0,217 mm/mm	24033,456 MPa	28,324 MPa
24	0,197 mm/mm	22487,400 MPa	28,194 MPa
30	0,207 mm/mm	21427,392 MPa	28,588 MPa
31	0,174 mm/mm	19804,610 MPa	28,699 MPa
32	0,209 mm/mm	21918,564 MPa	28,575 MPa
PROMEDIO	0,201 mm/mm	21949,743 MPa	28,409 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 22 INMERSION OBRA 2 28 MPA 56 DIAS

OBRA 2 56 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD(Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
23	0,219 mm/mm	23587,531 Mpa	49,392 MPa
24	0,212 mm/mm	23366,839 Mpa	49,165 MPa
31	0,217 mm/mm	25177,038 Mpa	43,523 MPa
32	0,209 mm/mm	25272,145 Mpa	43,333 MPa
PROMEDIO	0,214 mm/mm	24350,888 Mpa	46,353 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 23 INMERSION OBRA 3 28 MPA 28 DIAS

OBRA 3 28 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA (Mpa)
38	0,227 mm/mm	26915,301 Mpa	28,358 MPa
39	0,178 mm/mm	27152,304 Mpa	28,555 MPa
40	0,231 mm/mm	27090,160 Mpa	27,920 MPa
46	0,195 mm/mm	27591,527 Mpa	29,368 MPa
47	0,199 mm/mm	26638,757 Mpa	29,480 MPa
48	0,205 mm/mm	28641,237 Mpa	28,963 MPa
PROMEDIO	0,206 mm/mm	27338,214 Mpa	28,774 MPa

Fuente: Propia. (2015)

Tabla No 24 INMERSION OBRA 3 28 MPA 56 DIAS

OBRA 3 56 DIAS-CUR			
N.	RELACION DE POISSON	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	RESISTENCIA(Mpa)
39	0,198 mm/mm	27015,467 Mpa	40,920 MPa
40	0,224 mm/mm	28905,332 Mpa	39,851 MPa
47	0,227 mm/mm	16722,098 Mpa	41,528 MPa
48	0,247 mm/mm	21973,074 Mpa	39,381 MPa
PROMEDIO	0,224 mm/mm	23653,993 Mpa	40,420 MPa

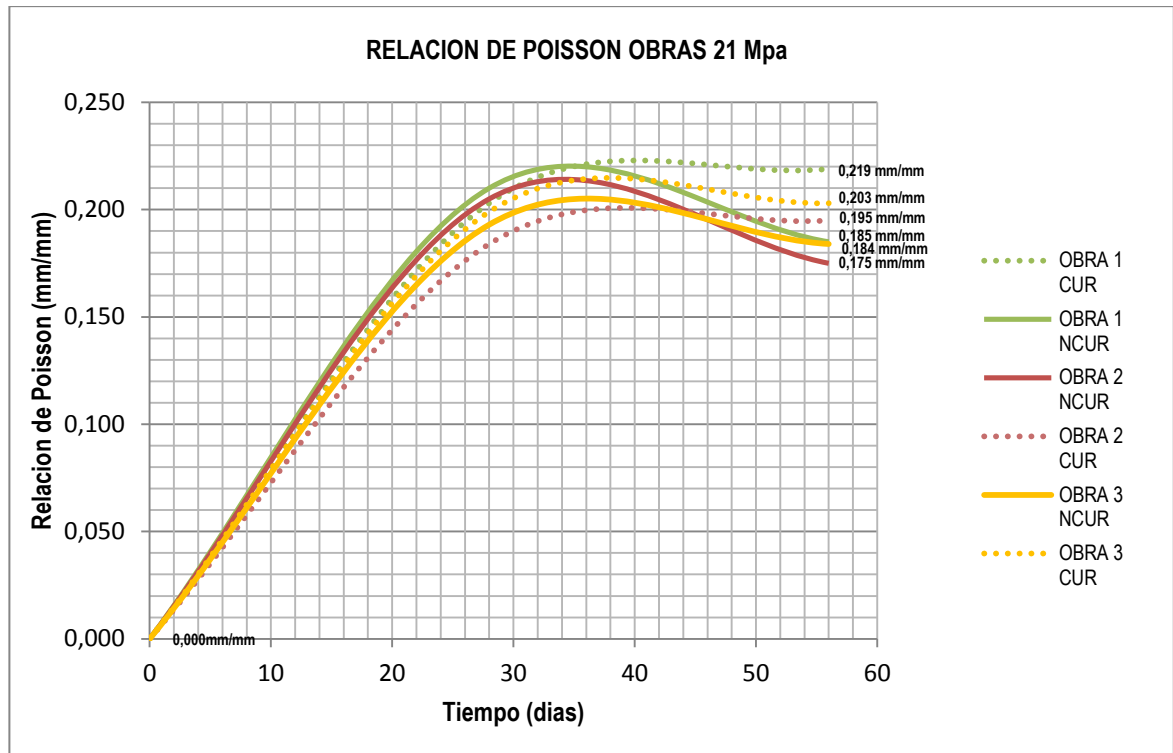
Fuente: Propia. (2015)

8.2 Relación de Poisson de acuerdo con la resistencia del concreto de obra y el tipo de curado

En las siguientes gráficas se mostrarán los valores de la relación de Poisson obtenidos en la investigación con base en las tablas mostradas anteriormente

8.2.1 Relación de Poisson obras 21 Mpa

Figura 10. Relación de Poisson en obras de 21 Mpa

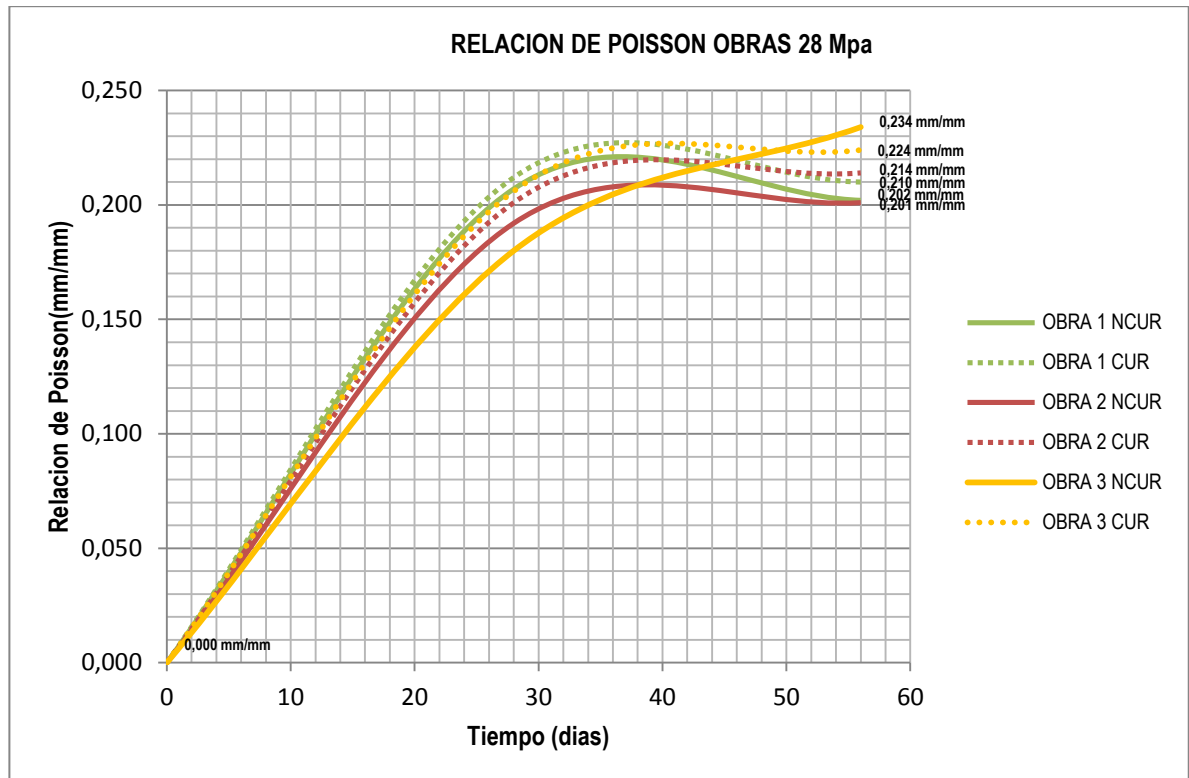


Fuente: propia (2015)

De la gráfica anterior se puede observar que el valor de la relación de Poisson oscila entre 0,175 y 0,219, los valores obtenidos no se ven influenciados por el tipo de curado, el promedio de datos arroja un valor de 0,20 en la relación de Poisson para el caso de las obras de 21 Mpa.

8.2.2 Relación de Poisson obras 28 Mpa

Figura 11. Relación de Poisson en obras de 28 Mpa



Fuente: propia (2015)

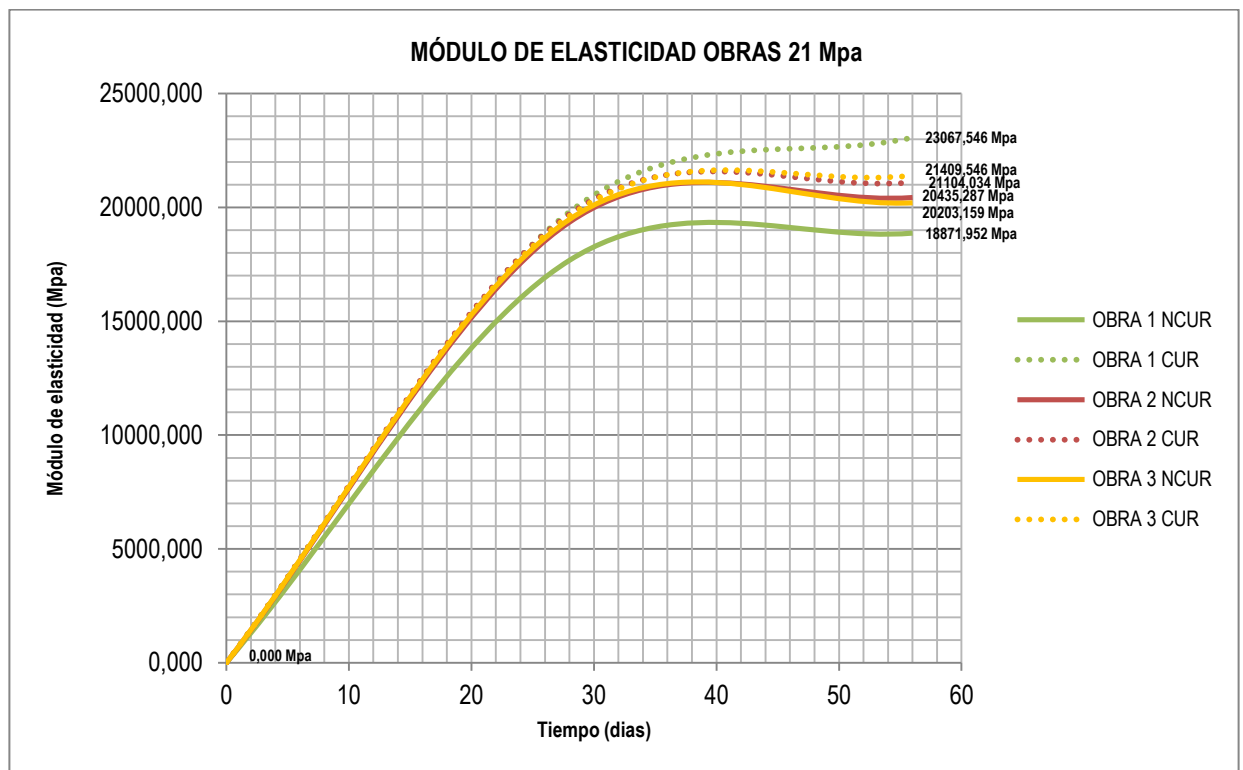
De la gráfica anterior se puede observar que el valor de la relación de Poisson oscila entre 0,201 y 0,234, los valores obtenidos no se ven influenciados por el tipo de curado; el promedio de datos arroja un valor de 0,21 en la relación de Poisson para el caso de las obras de 28 Mpa.

8.3 Módulo de elasticidad de acuerdo con la resistencia del concreto de obra y el tipo de curado.

En las siguientes gráficas se mostrarán los valores del módulo de elasticidad obtenidos en la investigación con base en las tablas mostradas anteriormente:

8.3.1 Módulo de elasticidad obras 21 Mpa

Figura 12. Módulo de elasticidad en obras de 21 Mpa

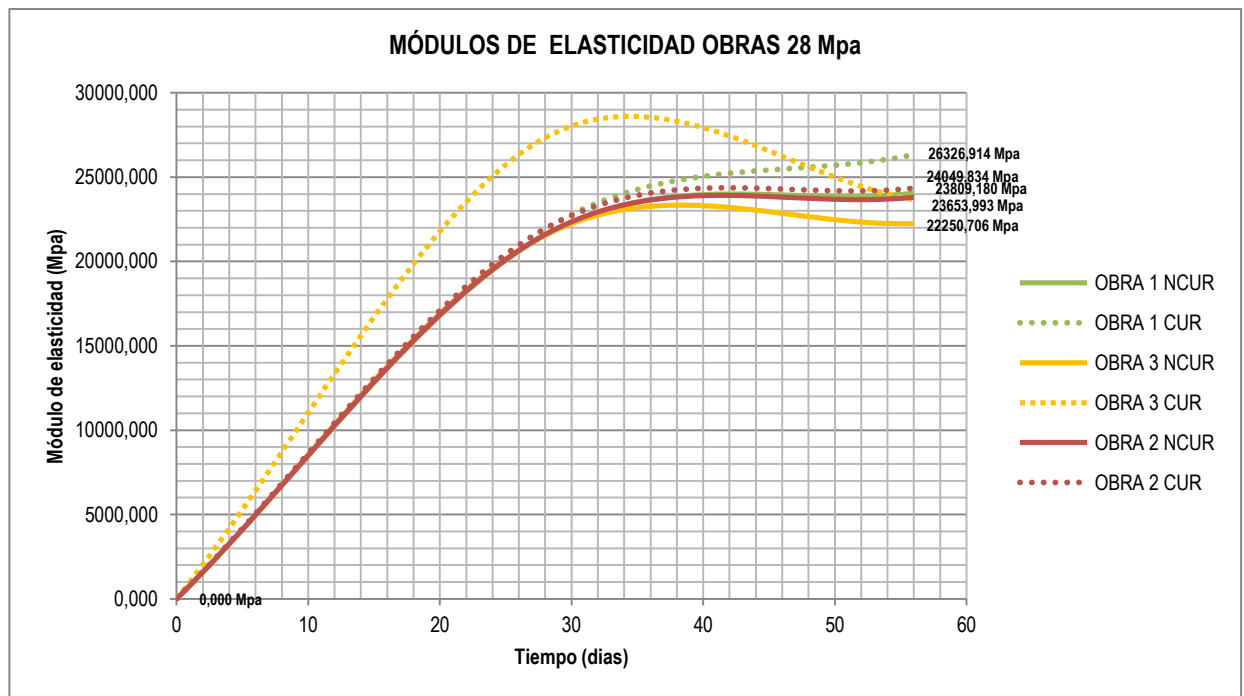


Fuente: propia (2015)

De la gráfica anterior se puede observar que el valor del módulo de elasticidad oscila entre 18871,952 MPa y 23067,546 MPa, se evidencia que los especímenes de concreto curados CUR (inmersión) presentan el mayor módulo de elasticidad y los cilindros no curados NCUR (aireación) el menor módulo de elasticidad, para el caso de las obras estructurales de 21 Mpa.

8.3.2 Módulo de elasticidad obras 28 Mpa

Figura 13 Módulos de elasticidad obras 28 Mpa



Fuente: propia (2015)

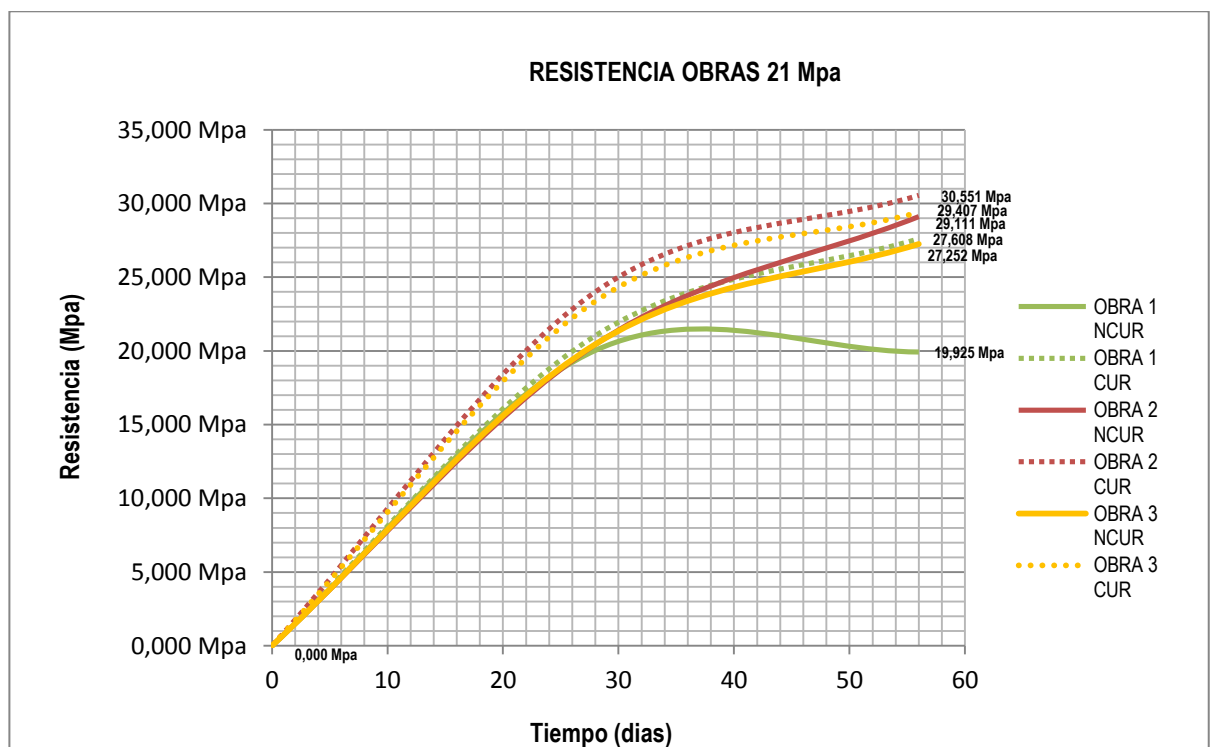
De la gráfica anterior se puede observar que el valor del módulo de elasticidad oscila entre 22250,706 MPa y 26326,914 MPa, se evidencia la influencia del tipo de curado en los especímenes de concreto dando mayores resultados para los curados y menores valores a los no curados, para el caso de las muestras de concreto de 28 Mpa.

8.4 Resistencia a la compresión de acuerdo con la resistencia del concreto de obra y el tipo de curado.

En las siguientes gráficas se muestran los valores de la resistencia obtenidos en la investigación en base a las tablas mostradas anteriormente:

8.4.1 Resistencia a la compresión obras 21 Mpa

Figura 14. Resistencia a la compresión en obras de 21 Mpa

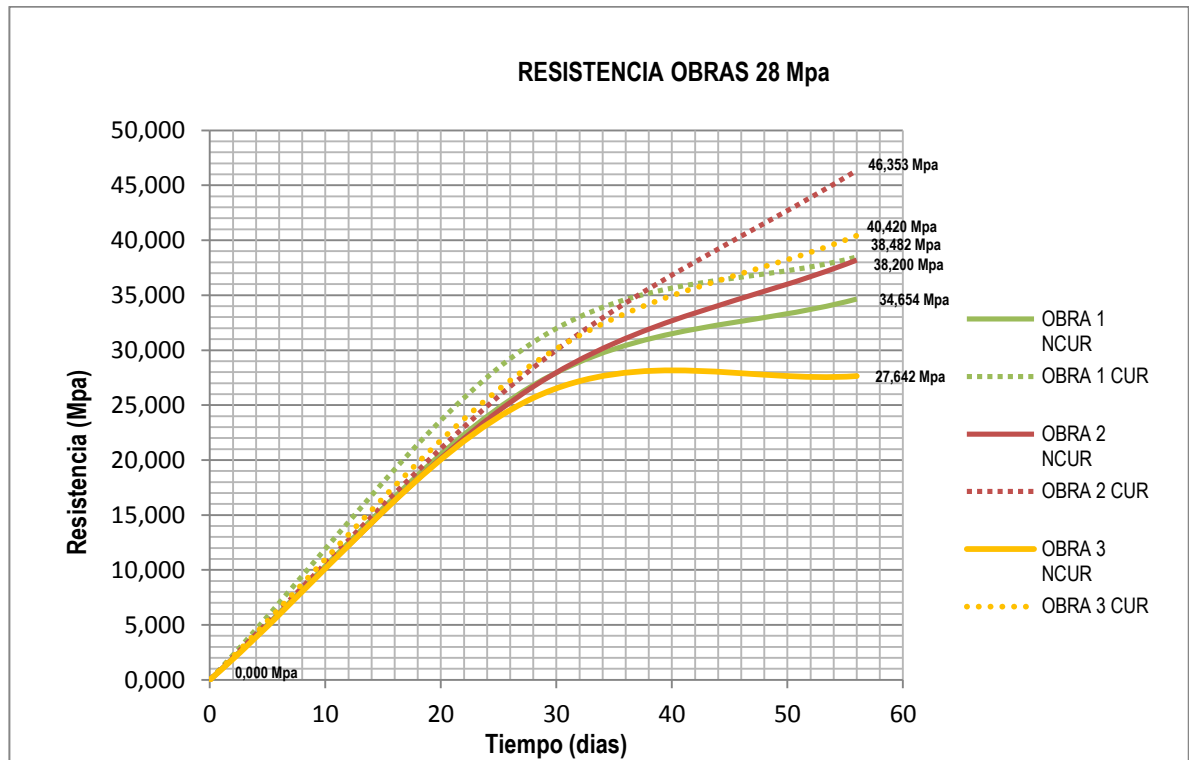


Fuente: propia (2015)

De la gráfica anterior se puede observar que el valor de la resistencia a la compresión oscila entre 19,925 MPa y 30,551 MPa, de los resultados mostrados en la gráfica cabe resaltar la influencia del tipo de curado, ya que los cilindros curados presentan un 15% más de resistencia frente a los cilindros no curados; para las muestras de concreto de obra de 21 Mpa.

8.4.2 Resistencia a la compresión obras 28 Mpa

Figura 15 Resistencia a la compresión en obras de 28 Mpa



Fuente: propia (2015)

De la gráfica anterior se puede observar que el valor de la resistencia a la compresión oscila entre 27,642 MPa y 46,353 MPa, y al igual que en las muestras de 21 Mpa es notable la influencia del tipo de curado, ya que los cilindros curados presentan un 25% más de resistencia frente a los cilindros no curados; para las muestras de concreto de obra de 21 Mpa.

8.5 Análisis de los valores de la relación de Poisson con relación a los proveedores del concreto de obra y el tipo de curado.

En la siguiente gráfica se muestran los valores obtenidos de la relación de Poisson para cada una de las obras, su resistencia y el proveedor del concreto en cada una de ellas, teniendo en cuenta el tipo de curado.

Tabla No 25 Obras y su respectivo proveedor

RESISTENCIA	Obra 1	Obra 2	Obra 3
	CONCRETERA		
R.21 Mpa	CEMEX	CEMEX	ARGOS
R.28 Mpa	CEMEX	CEMEX	CEMEX

Fuente: Propia (2015)

Tabla No 26 valores promedio de la relación de Poisson

OBRAS 21 Mpa NCUR		
CONCRETERA	CEMEX	ARGOS
DIAS	$\mu(\text{mm/mm})$	$\mu(\text{mm/mm})$
0	0,000	0,000
28	0,207	0,193
56	0,180	0,184

OBRAS 21 Mpa CUR		
CONCRETERA	CEMEX	ARGOS
DIAS	$\mu(\text{mm/mm})$	$\mu(\text{mm/mm})$
0	0,000	0,000
28	0,193	0,199
56	0,207	0,203

Fuente: Propia (2015)

Figura 16 Relación de Poisson Cemex vs Argos

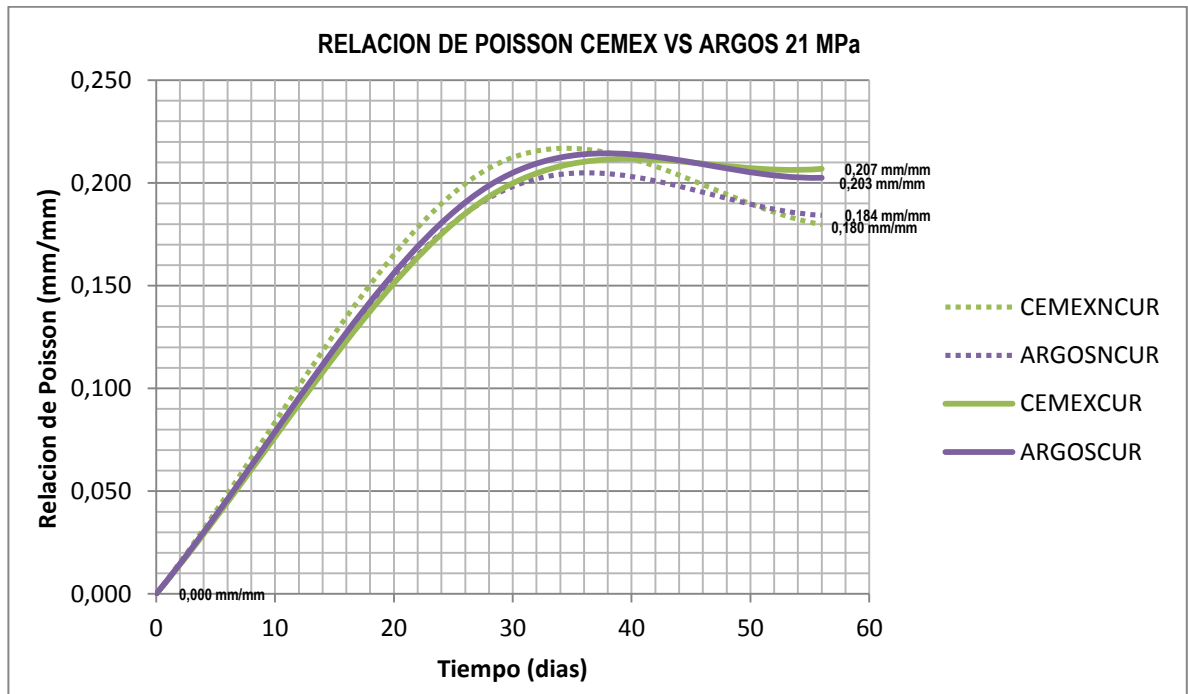


Figura: propia (2015)

De la gráfica anterior se puede observar que los valores de la relación de Poisson varían en un rango de 0,180 a 0,207 una tendencia fija no se puede establecer frente al comportamiento de la relación de Poisson con respecto al tipo de curado ya que como se muestra en la gráfica los valores son aleatorios y no dependen de la variable mencionadas previamente.

Se puede establecer los valores promedio de la relación de Poisson para el caso de la OBRA 1 y OBRA 2 cuyo proveedor es CEMEX es 0,19, para la OBRA 3 cuyo proveedor es ARGOS es de 0,19, dejando como resultado un valor de 0,19 el cual se encuentra dentro del rango mencionado en la norma sismo resistente del 2010 NSR-10 en el título C artículo CR.8.5.1. El cual dice que el valor de la relación de Poisson para el concreto debe estar en el rango de 0.15 a 0.20, y se debe tomar 0.20 cuando no se dispone de valores experimentales.

Por otra parte los valores obtenidos son muy similares a los obtenidos en la investigación realizada en la universidad La Gran Colombia por los ingenieros Alfonso Amezquita, Arnold Gutiérrez, Lucio Lopez; mostrando la misma tendencia e independencia en cuanto a la variable ya mencionada.

8.6 Análisis de los valores de Módulo de Elasticidad con relación a los proveedores del concreto de obra y el tipo de curado.

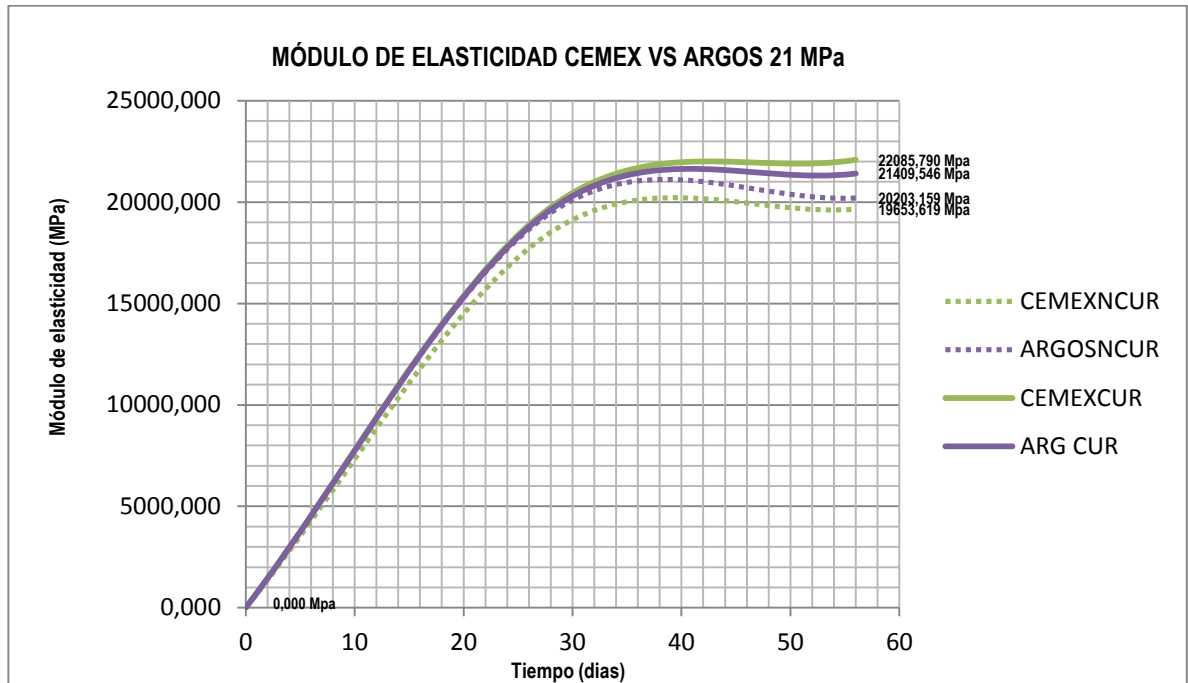
En la siguiente gráfica se muestran los valores obtenidos del módulo de elasticidad para cada obra OBRA 1, OBRA 2 Y OBRA 3, teniendo en cuenta el tipo de curado CUR y NCUR.

Tabla No 27 valores promedio de módulo de elasticidad

<i>OBRAS 21 Mpa NCUR</i>			<i>OBRAS 21 Mpa CUR</i>		
<i>CONCRETERA</i>	<i>CEMEX</i>	<i>ARGOS</i>	<i>CONCRETERA</i>	<i>CEMEX</i>	<i>ARGOS</i>
<i>DIAS</i>	<i>E(MPa)</i>	<i>E(MPa)</i>	<i>DIAS</i>	<i>E(MPa)</i>	<i>E(MPa)</i>
0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
28	18513,845	19473,598	28	19750,733	19625,018
56	19653,619	20203,159	56	22085,790	21409,546

Fuente: Propia (2015)

Figura 17. Módulo de elasticidad Cemex vs Argos



Fuente: propia (2015)

De la gráfica anterior se puede observar que el rango del módulo de elasticidad oscila entre 19653,619 MPa y 22085,790 MPa, se ve claramente la incidencia del tipo de curado en los valores del módulo de elasticidad, los cilindros curados proporcionan un mayor módulo de elasticidad frente a los cilindros no curados.

Encontramos que el mayor módulo lo presenta CEMEX con un valor promedio de 20869,70 Mpa y el menor ARGOS con un valor promedio 20806,354 Mpa, para las obras de 21 Mpa ya que permiten realizar el comparativo antes mencionado.

En relación con la investigación mencionada anteriormente se observa que los valores del módulo de elasticidad crecen con la edad del espécimen y de igual forma sus valores son mayores para los cilindros curados.

A pesar de haber fallado cada uno de los cilindros a 28 y 56 días el módulo no se ve afectado y muestra la misma tendencia que las investigaciones antes realizadas.

8.7 Análisis de los valores de Resistencia a la compresión en relación a los proveedores del concreto de obra y el tipo de curado.

En la siguiente gráfica se muestran los valores obtenidos de la resistencia a la compresión para cada obra OBRA 1, OBRA 2 Y OBRA 3, teniendo en cuenta el tipo de curado CUR y NCUR.

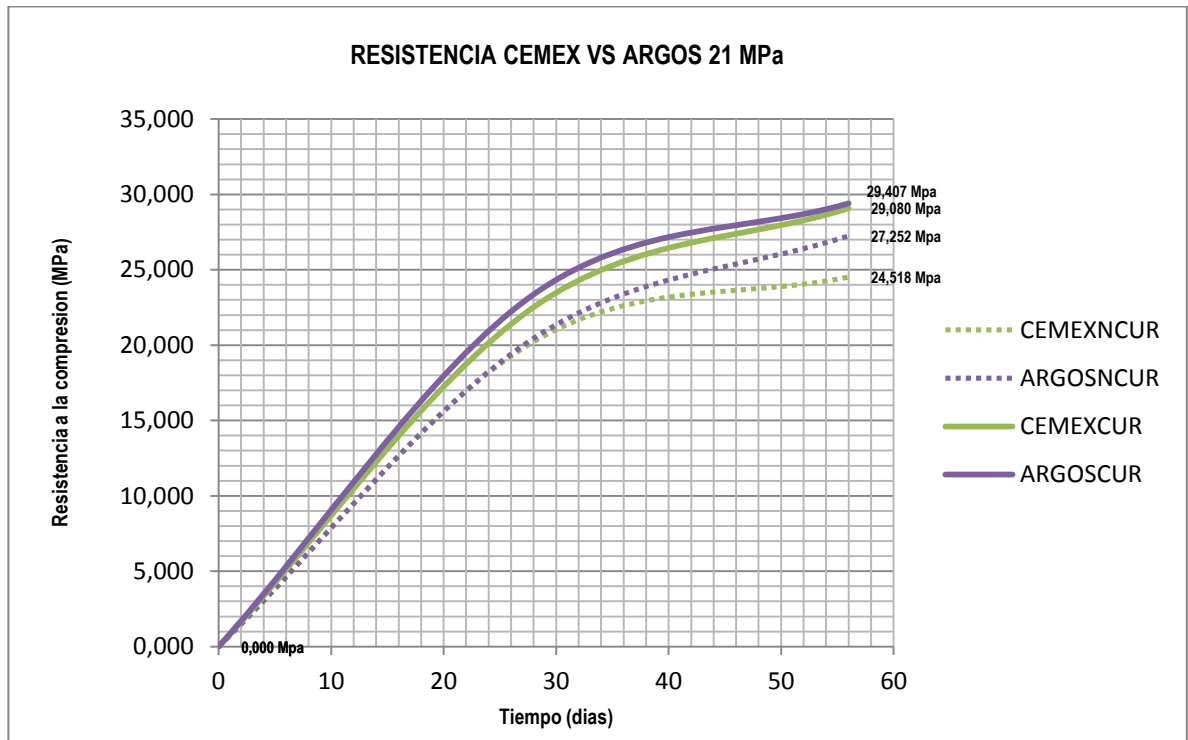
Tabla No 28 valores promedio de resistencia a la compresión

<i>OBRAS 21 Mpa NCUR</i>		
<i>CONCRETERA</i>	<i>CEMEX</i>	<i>ARGOS</i>
<i>DIAS</i>	<i>σ(MPa)</i>	<i>σ(MPa)</i>
0	0,000	0,000
28	20,235	20,454
56	24,518	27,252

<i>OBRAS 21 Mpa CUR</i>		
<i>CONCRETERA</i>	<i>CEMEX</i>	<i>ARGOS</i>
<i>DIAS</i>	<i>σ(MPa)</i>	<i>σ(MPa)</i>
0	0,000	0,000
28	22,520	23,368
56	29,080	29,407

Fuente: Propia (2015)

Figura 19. Resistencia a la compresión Cemex vs Argos 21 MPa



Fuente: propia (2015)

De la gráfica anterior se puede deducir que los valores de la resistencia a la compresión oscilan entre 24,518 MPa; y 29,407 MPa, el tipo de curado es de gran incidencia en los valores de resistencia ya que los cilindros curados proporcionan valores mayores, para el caso de OBRAS CEMEX el cilindro curado tiene una resistencia del 19% mayor frente al cilindro no curado, para la OBRA ARGOS un 8% más que el no curado.

Con respecto al valor de resistencia de los cilindros por parte de Cemex y Argos no curados estos no alcanzaron la resistencia de diseño en ninguno de los casos aunque le faltó menos porcentaje con respecto a la resistencia de diseño a Argos, lo cual da lugar a una gran incertidumbre y poca credibilidad con respecto a los concretos usados en obra, dado que el concreto en obra no es curado.

9 CONCLUSIONES

- El estudio de la variabilidad de la relación de Poisson y el módulo de elasticidad en concretos de obra convencionales de 21 Mpa y 28Mpa en la ciudad de Bogotá resulta importante dentro de la amplia gama de investigaciones realizadas actualmente.
- De acuerdo con los resultados y análisis realizados para determinar los valores del módulo de elasticidad, se encontró que son menores respecto a lo indicado por la NSR-10. En cuanto a la relación de Poisson se encontró que estos valores se encuentran en el rango de la norma.
- Los resultados obtenidos indican una mejor selección en cuanto a los valores de relación de Poisson y módulo de elasticidad en los concretos de obra, en relación a lo estipulado en la norma sismo resistente NSR-10.
- La investigación permite ampliar el campo de investigación en cuanto al concreto en obra, teniendo en cuenta información más detallada de los mismos como asentamiento, tipo de agregado y relación agua cemento.

10 RECOMENDACIONES

- Buscar una mejor disposición de las camisas de laboratorio en términos del préstamo de las mismas ya que no existe un procedimiento debidamente establecido para tal fin.
- Reequipamiento del laboratorio estructural en cuanto a la creciente demanda en la línea de investigación.
- Realizar el debido mantenimiento periódico a las máquinas de ensayo con el fin de evitar demoras, retrasos y resultados ambiguos en las investigaciones en curso y por haber.
- Resulta importante el cálculo del módulo de elasticidad y la relación de Poisson en obra dada la baja resistencia presentada en los cilindros no curados; teniendo en cuenta que el concreto de obra es no curado.
- En la presente investigación se dieron a lugar múltiples inconvenientes para la obtención de las muestras de obra dada la poca cooperación del sector de la construcción para con las prácticas de formación profesional.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO ALCARAZ, Nalleli de Jesús. Influencia de la morfología de pétreos: volcánicos, triturados y cantos rodados; correlacionando matemáticamente los módulos de elasticidad, estático y dinámico, en cilindros de concreto de 10cmx20cm. Morelia, Michoacán, México. 2010, p. 24. Proyecto de grado para obtener el título de Ingeniería Civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería Civil.
- ASOCIACION COLOMIANA DE INGENIERIA SISMICA, MINISTERIO DEL AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombia de construcción sismo resistente NCR-10. Primera Edición. Título C articulo CR.8.5.1. Bogotá D.C. 2011. Pag. 113.
- BAYONA GIL, Guillermo Alberto y PATIÑO ROJAS, Diego Andrés y POVEDA MARTINEZ, William Alfredo. Estudio de la variabilidad de la relación de Poisson en el concreto utilizando agregados de diferente origen litológico con relaciones agua/cemento 0.45, 0.55 y 0.65. Bogotá D.C., 2012. p.29. Proyecto de grado para obtener el título de Ingeniería Civil. Universidad La Gran Colombia. Facultad de Ingeniería Civil.
- Copyright © 2013 CEMEX S.A.B. DE C.V .Disponible en Internet: < <http://www.cemexcolombia.com/np/files/CementoUsoGeneral.pdf> >.
- Copyright © 2013 CEMEX S.A.B. DE C.V Disponible en Internet: < <http://www.cemexcolombia.com/np/files/CementoSuperResistente.pdf> >.
- Copyright © 2013 CEMEX S.A.B. DE C.V Disponible en Internet: <<http://www.cemexcolombia.com/np/files/CementoUsoEstructural.pdf>>.
- Copyright © 2013 CEMEX S.A.B. DE C.V Disponible en Internet: <<http://www.cemexcolombia.com/np/files/CementoUsoAmbienteMarino.pdf>>.
- Copyright © 2013 CEMEX S.A.B. DE C.V. Disponible en Internet: <http://www.cemexcolombia.com/np/np_ag.html>.
- DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Manual de geología para Ingenieros: Ciclo geológico. Primera edición. Manizales: 2002.

- E. HARMSEN, Teodoro. Diseño de estructuras de concreto armado: Materiales, Aditivos. Tercera Edición. Lima, Perú: Fondo Editorial, 2002. P. 13.
- FORERO MONCERA, William Leandro. Valoración del Módulo de Elasticidad del concreto en cilindros de diferentes tamaños. Bogotá D.C., 2008 p.18. Trabajo de grado para obtener al título de Ingeniería Civil. Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". Facultad de Ingeniería Civil.
- FORERO LUQUE, Felipe Alejandro. Valoración del Módulo de Elasticidad del concreto en cilindros de diferentes tamaños. Bogotá D.C., 2008 p.11. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniería Civil. Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". Facultad de Ingeniería Civil.
- GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción: Agregados, propiedades físicas. Segunda edición. Manizales: Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia, 2003. p. 18.
- HERRERIA CISNEROS, Sofía Elizabeth y VILLEGAS DAVILA, Fausto Marcelo. Módulos de Elasticidad y curvas de Esfuerzo Deformación, en base a la Compresión del Hormigón a 21, 28, 35 MPa. Sogamoso. 2008. p.17. Proyecto de grado para obtener el título de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ingeniería Civil.
- HIBBELER, Russell Charles. Mecánica de materiales: Propiedades mecánicas de los materiales. Sexta Edición. México: PEARSON Educación, 2006. P. 87.
- H. NILSON, Arthur. Diseño de estructuras de concreto: Cemento. Duodécima edición. Bogotá D.C.: MCGRAW-HILL, Inc, 1999. p. 28.
- INSTITUTO COLOMBIANOS DE NORMAS TÉCNICAS. Cemento Portland. Clasificación y nomenclatura. NTC 30. Bogotá D.C.: El Instituto. p. 1.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. Bogotá D.C. El instituto. Pag.4.

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Ingeniería Civil y Arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio. Bogotá D.C. El instituto. Pag.2
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto. Bogotá D.C. El instituto. Pag.4.
- INSTITUTO COLOMBIANOS DE NORMAS TÉCNICAS. Ingeniería civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. Bogotá D.C. El Instituto. Pp. 1-4.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS Y TECNICAS. Concretos. método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concretos a compresión. Bogotá D.C.: El instituto Pag.1.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO. Conceptos básicos del concreto. México, Ciudad de México. IMCYC. 2004. p. 6.
- QUIROZ CRESPO, Mariela Vivian y SALAMANCA OSUNA, Lucas Esteban. Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de "tecnología del hormigón". Cochabamba-Bolivia, 2006, p. 78. Proyecto de grado para optar al Diploma académico de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ingeniería Civil.
- SALAMANCA CORREA, Rodrigo. Aplicación del cemento portland y los cementos adicionados. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina. No. 10 (Julio.2001); p. 33-38.
- SERRANO GUZMÁN, María Fernanda y PEREZ RUIZ, Diego Darío. Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto. En: Cemento hormigón. Diciembre, 2010. vol. 2. no. 1. p. 17-30.
- ZABALETA G., Hernán. Compendio de tecnología del hormigón. Primera edición. Chile: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1992. P. 42