

**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO EN
VIGAS REFORZADAS Y NO REFORZADAS, COMPARADO CON EL
ESTABLECIDO EN EL TÍTULO C DE LA REGLAMENTACIÓN VIGENTE
COLOMBIANA Y EL OBTENIDO CON CILINDROS DE
CONCRETO:PRUEBA PILOTO A LOS 7 DÍAS**

**JAVIER FERNANDO GONZALEZ AREVALO
MANUEL JACOBO SANJUAN MONTES**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO EN
VIGAS REFORZADAS Y NO REFORZADAS, COMPARADO CON EL
ESTABLECIDO EN EL TÍTULO C DE LA REGLAMENTACIÓN VIGENTE
COLOMBIANA Y EL OBTENIDO CON CILINDROS DE
CONCRETO: PRUEBA PILOTO A LOS 7 DÍAS**

**JAVIER FERNANDO GONZALEZ AREVALO
MANUEL JACOBO SANJUAN MONTES**

**Tesis de grado como requisito para optar
al título de Ingeniero Civil**

**Director:
CLAUDIA PATRICIA RETAMOSO LLAMAS
M.I.C. Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Agosto de 2013.

*A Dios por permitirme seguir
construyendo mis sueños.*

*A mi madre, por todo el apoyo que me
ofreció, cada palabra de aliento me
ayudo a sacar adelante este proyecto*

*A mi padre, por el ejemplo que me brinda
cada día*

Javier

*A todas las personas que han creído
firmemente en sus sueños y han luchado
por alcanzar sus metas.*

*A todas las personas que sin importar las
dificultades encontradas se han
esforzado por superarlas y aprender de
ellas*

*A todos los que han sido mi fuente de
inspiración por su entrega y sacrificio;
en especial a mi madre y hermana.*

Jacobo

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos culminar esta etapa con éxito.

A nuestras familias que han sido los autores de este nuevo logro, la compañía que nos han brindado en este largo camino nos llevó a alcanzar nuestra meta de manera satisfactoria, hoy les agradecemos a cada uno de ellos por toda la comprensión que recibimos durante este proceso, la dedicación que pusieron para apoyar y afianzar nuestro camino los convierte en los interpretes de este triunfo.

A la directora del proyecto, MIC Claudia Patricia Retamoso Llamas por el apoyo y empeño que coloco para poder realizar este proyecto de grado, su orientación y confianza permitió culminar esta etapa de nuestra carrera profesional.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por colocar a nuestro alcance toda su excelencia, la educación que recibimos durante nuestro proceso de aprendizaje nos llevara a convertirnos en profesionales con gran sentido humano.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, por desempeñar esa labor tan ardua y ser nuestros guías, por su dedicación para encaminarnos hacia un mejor futuro.

Al personal del laboratorio, su coordinadora Ing. Luz Marina Torrado Gómez y su auxiliar José Vicente Páez Mendoza por la orientación y colaboración que nos ofrecieron a la hora de realizar los diferentes trabajos que se desarrollaron en el laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 7 |
| 1. OBJETIVOS..... | 8 |
| 1.1. Objetivo General..... | 8 |
| 1.2. Objetivos Específicos..... | 8 |
| 2. METODOLOGIA | 9 |
| 2.1. Pruebas Preliminares..... | 9 |
| 2.2. Ensayos sobre los Materiales Utilizados en el Diseño de Mezcla. | 12 |
| 2.3. Construcción de Vigas y Cilindros de Concreto para la Prueba Piloto a edades tempranas. | 15 |
| 2.4. Ensayo de Flexión en Vigas Reforzadas y no Reforzadas de la Prueba Piloto. | 18 |
| 2.5. Ensayo de Compresión y Módulo de Elasticidad en Cilindros de Concreto Simple en Laboratorio. | 19 |
| 2.6. Análisis de Resultados..... | 20 |
| 2.7. Conclusiones y Recomendaciones..... | 20 |
| 3. JUSTIFICACIÓN..... | 21 |
| 4. ALCANCE | 23 |
| 5. ANTECEDENTES..... | 25 |
| 6. MARCO TEÓRICO. | 27 |
| 6.1. Concreto. | 27 |
| 6.2. Cemento. | 29 |
| 6.3. Agua. | 30 |
| 6.4. Agregados. | 32 |
| 6.5. Concreto Reforzado. | 33 |
| 6.6. Módulo de Elasticidad del Concreto. | 35 |
| 6.7. Determinación de la Deflexión en la Parte Intermedia de la Viga.36 | |
| 7. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PRELIMINARES. | 37 |
| 7.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. | 37 |
| 7.1.1. Análisis granulométrico de agregados finos. | 37 |
| 7.1.2. Análisis Granulométrico Agregado Grueso..... | 38 |
| 7.2. Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de los ángeles. | 39 |
| 7.3. Gravedad específica y absorción de agregados finos. | 40 |
| 7.4. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos. | 42 |
| 7.5. Equivalente de arena de suelos y agregados finos..... | 43 |
| 7.6. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados..... | 43 |
| 7.7. Masa unitaria, rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto. | 44 |
| 7.8. Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados. . | 46 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.9. | Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados. | 47 |
| 7.10. | Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados. | 48 |
| 7.11. | Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos. | 49 |
| 8. | DISEÑO DE MEZCLA..... | 50 |
| 9. | RESULTADOS DE VIGAS REFORZADAS, NO REFORZADAS Y CILINDROS DE CONCRETO..... | 53 |
| 9.1. | Resultados Módulo Elasticidad Flexión Vigas No Reforzadas. | 53 |
| 9.2. | Resultados Módulo Elasticidad Flexión Vigas Reforzadas. | 55 |
| 9.3. | Ensayo de Módulo de Elasticidad en Cilindros de Concreto.... | 59 |
| 10. | ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 61 |
| 11. | CONCLUSIONES | 63 |
| 12. | RECOMENDACIONES..... | 64 |
| 13. | BIBLIOGRAFÍA..... | 65 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1. | Resultados de Fuerzas y Desplazamientos de las vigas reforzadas y no reforzadas. | 11 |
| Tabla 2. | Clasificación del cemento según sus propiedades | 31 |
| Tabla 3. | Influencia de la relación agua-cemento-agregado sobre las propiedades de un concreto. | 32 |
| Tabla 4. | Granulometría Agregado Fino (Ensayo 1). | 37 |
| Tabla 5. | Granulometría Agregado Fino (Ensayo 2). | 37 |
| Tabla 6. | Granulometría Agregado Fino (Ensayo 3). | 38 |
| Tabla 7. | Granulometría Agregado Grueso (Ensayo 1). | 38 |
| Tabla 8. | Granulometría Agregado Grueso (Ensayo 2). | 39 |
| Tabla 9. | Granulometría Agregado Grueso (Ensayo 3). | 39 |
| Tabla 10. | Resistencia al Desgaste (Ensayo 1). | 39 |
| Tabla 11. | Resistencia al Desgaste (Ensayo 2). | 40 |
| Tabla 12. | Resistencia al Desgaste (Ensayo 3). | 40 |
| Tabla 13. | Gravedad Específica y Absorción agregado fino (Ensayo 1).41 | |
| Tabla 14. | Gravedad Específica y Absorción agregado fino (Ensayo 2).41 | |
| Tabla 15. | Gravedad Específica y Absorción agregado fino (Ensayo 3).41 | |
| Tabla 16. | Gravedad Específica y Absorción agregado grueso (Ensayo 1) | 42 |
| Tabla 17. | Gravedad Específica y Absorción agregado grueso (Ensayo 2) | 42 |
| Tabla 18. | Gravedad Específica y Absorción agregados gruesos (Ensayo 3) | 42 |
| Tabla 19. | Equivalente de arena de suelos y agregado fino (ensayo 1).43 | |
| Tabla 20. | Equivalente de arena de suelos y agregado fino (ensayo 2).43 | |
| Tabla 21. | Equivalente de arena de suelos y agregado fino (ensayo 3).43 | |
| Tabla 22. | Porcentaje de caras fracturadas (Ensayo 1). | 43 |
| Tabla 23. | Porcentaje de caras fracturadas (Ensayo 2). | 44 |
| Tabla 24. | Porcentaje de caras fracturadas (Ensayo 3). | 44 |
| Tabla 25. | Masa unitaria agregado fino (Ensayo 1). | 44 |
| Tabla 26. | Masa unitaria agregado grueso (Ensayo 1). | 45 |
| Tabla 27. | Masa unitaria agregado fino (Ensayo 2). | 45 |
| Tabla 28. | Masa unitaria agregado grueso (Ensayo 2). | 45 |
| Tabla 29. | Masa unitaria agregado fino (Ensayo 3). | 46 |
| Tabla 30. | Masa unitaria agregado grueso (Ensayo 3). | 46 |
| Tabla 31. | Índice de aplanamiento y alargamiento (Ensayo 1). | 46 |
| Tabla 32. | Índice de aplanamiento y alargamiento (Ensayo 2). | 47 |
| Tabla 33. | Índice de aplanamiento y alargamiento (Ensayo 3). | 47 |
| Tabla 34. | Determinación de terrones de arcilla en los Agregados Gruesos. | 47 |
| Tabla 35. | Determinación de terrones de arcilla en los Agregados Finos.48 | |

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 36. | Humedad Agregado Grueso..... | 48 |
| Tabla 37. | Humedad Agregado Fino..... | 48 |
| Tabla 38. | Diseño de Concreto sin Ajuste de Agua..... | 52 |
| Tabla 39. | Diseño de Concreto con Ajuste de Agua..... | 52 |
| Tabla 40. | Resumen de Módulos de Elasticidad del Concreto Prueba Piloto..... | 61 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1. | Ensayo de Flexión en Vigas Preliminares..... | 9 |
| Figura 2. | Prueba de Compresión de Cilindros de Concreto Preliminares. | 10 |
| Figura 3. | Prueba de Módulo de Elasticidad en Cilindros Preliminares. | 10 |
| Figura 4. | Peso Específico y Absorción Agregado Grueso. | 12 |
| Figura 5. | Peso Específico y Absorción Agregado Fino. | 12 |
| Figura 6. | Granulometría Agregado Grueso y Fino. | 13 |
| Figura 7. | Equivalente de Arena..... | 13 |
| Figura 8. | Ensayo de Caras Fracturadas Agregado Grueso. | 14 |
| Figura 9. | Ensayo Máquina de los Ángeles Agregado Grueso. | 14 |
| Figura 10. | Colorimetría Agregado Fino..... | 15 |
| Figura 11. | Peso de Materiales para la Mezcla de Concreto. | 15 |
| Figura 12. | Mezcla de Concreto en Laboratorio y Asentamiento. | 16 |
| Figura 13. | Figurado de las Varillas de Acero de Refuerzo..... | 16 |
| Figura 14. | Vigas Reforzadas y No Reforzadas de la Prueba Piloto..... | 17 |
| Figura 15. | Formaletas engrasadas y Viga Reforzada, no reforzada y cilindro de concreto para realizar módulo de elasticidad. ... | 17 |
| Figura 16. | Acopio de Materiales. | 18 |
| Figura 17. | Prueba de Viga No Reforzada. | 18 |
| Figura 18. | Prueba de Viga Reforzada..... | 19 |
| Figura 19. | Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto. | 19 |
| Figura 20. | Ensayo de Módulo de Elasticidad sobre Cilindros de Concreto. | 20 |
| Figura 21. | Componentes básicos de una mezcla de concreto | 27 |
| Figura 22. | Esquema de Elaboración del Concreto..... | 28 |
| Figura 23. | Esquema general de la fabricación del cemento | 29 |
| Figura 24. | Esquema del proceso de hidratación del concreto. | 32 |
| Figura 25. | Agregado Fino y Grueso..... | 33 |
| Figura 26. | Barras de acero en columnas de concreto | 34 |
| Figura 27. | Vaciado de concreto fresco en estructura de acero..... | 35 |
| Figura 28. | Gráfica de Granulometría Promedio Agregado Grueso. | 50 |
| Figura 29. | Gráfica de Granulometría Promedio Agregado Fino..... | 50 |
| Figura 30. | Distribución de porcentajes agregado grueso y fino. | 51 |
| Figura 31. | Resultados de Fuerza y Deformación Viga 1. No Reforzada. | 53 |
| Figura 32. | Resultados de Fuerza y Deformación Viga 2. No Reforzada. | 54 |
| Figura 33. | Resultados de Fuerza y Deformación Viga 3. No Reforzada. | 54 |
| Figura 34. | Resultados de Fuerza y Deformación Viga 4. No Reforzada. | 55 |
| Figura 35. | Resultados de Fuerza y Deformación Viga 1R. Reforzada. | 55 |
| Figura 36. | Resultados de Fuerza y Deformación Viga 2R. Reforzada. | 56 |
| Figura 37. | Resultados de Fuerza y Deformación Viga 3R. Reforzada. | 57 |
| Figura 38. | Resultados de Fuerza y Deformación Viga 4R. Reforzada. | 58 |

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 39. | Resultados de Cilindro de Concreto Mezcla 2. | 59 |
| Figura 40. | Resultados de Cilindro de Concreto Mezcla 3. | 59 |
| Figura 41. | Resultados de Cilindro de Concreto Mezcla 4. | 60 |
| Figura 42. | Módulos de Elasticidad del Concreto en Vigas Reforzadas, No Reforzadas y Cilindros de Concreto. | 62 |

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

- TÍTULO:** Determinación del Módulo de Elasticidad del Concreto en Vigas Reforzadas y no Reforzadas, Comparado con el Establecido en el Título C de la Reglamentación Vigente Colombiana y el Obtenido con Cilindros de Concreto: Prueba Piloto a los 7 Días.
- AUTOR(ES):** Javier Fernando González Arévalo
Manuel Jacobo Sanjuan Montes
- FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Civil
- DIRECTOR(A):** Claudia Patricia Retamoso Llamas

RESUMEN

El módulo de elasticidad del concreto que establece el Título C del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR10, comparado con el obtenido en los ensayos de laboratorio sobre cilindros a compresión, presenta unas diferencias muy elevadas respecto al valor mencionado anteriormente. Por estas diferencias encontradas en diversos trabajos de grado desarrollados previamente, se decidió determinar esta característica en vigas reforzadas y no reforzadas y así comparar con el obtenido en el ensayo de compresión de cilindros en laboratorio. Después de realizar los correspondientes ensayos preliminares a los materiales (cemento, agregado grueso y fino), se desarrolló un diseño de mezcla y se construyen las vigas y los cilindros para la obtención del parámetro en estudio. Cuando se realizó la comparación, en este estudio piloto, entre los tres datos obtenidos en laboratorio y lo obtenido en el Título C del reglamento NSR10, se observó que el valor más cercano al establecido por el NSR10, es el obtenido con la viga reforzada. Es importante que en el Título C se establezca algún lineamiento al respecto, que solicite la realización del ensayo del módulo de elasticidad sobre vigas reforzadas y no sobre cilindros de concreto simple a compresión.

PALABRAS CLAVES: Módulo de Elasticidad, Esfuerzo de Compresión, Concreto Reforzado, Reglamentación Colombiana.

GENERAL ABSTRACT OF DEGREE WORK

- TITLE:** Determination of Modulus of Elasticity of Concrete on Reinforced and non-Reinforced Beams, compared to obtained with Title C of Current Colombian Regulation and Obtained with Concrete Cylinders: Pilot Test 7 Days.
- AUTHOR(S):** Javier Fernando González Arévalo
Manuel Jacobo Sanjuan Montes
- FACULTY:** Civil Engineering Faculty
- DIRECTOR:** Claudia Patricia Retamoso Llamas

ABSTRACT

The Modulus of Elasticity of Concrete that establishing by Title C of Current Colombian Regulation of Seismic Resistant Construction NSR10, compared to obtained with laboratory test over concrete cylinders on compressive strength, presents very large differences regarding the value above. For these differences found in previous Undergraduate Degree Works, it was decided to determinate that characteristic en reinforced and non-reinforced beams and compared with obtained with test of strength compressive cylinders on laboratory. After making the preliminary test on different materials (Cement, Coarse and Fine Aggregate), it developed a mix design and constructed beams and cylinders for the parameter under consideration. When it compares, in this pilot study, between this three items obtained in laboratory and obtained with Title C in NSR10 Regulation, it shows that the closest value to the NSR10 was the obtained with the reinforced beam. It is important that in Title C of Colombian Regulation, it established some rule about it, that requested elaborate the test of Modulus of Elasticity on reinforced beams and not on a single concrete cylinders compression.

KEY WORDS: Modulus of Elasticity, Concrete Compressive Strength, Reinforcement Concrete, Colombian Regulation.

INTRODUCCIÓN

La determinación del Módulo de Elasticidad del concreto es de gran importancia para el adecuado diseño y análisis de estructuras, debido a que permite calcular las deformaciones que estas pueden presentar bajo determinadas condiciones durante su funcionamiento. El cálculo de las deformaciones resulta ser un parámetro muy relevante, porque de estas depende, en gran parte, la resistencia de la estructura ante fuerzas externas aplicadas a ellas tales como sismos, siendo inversamente proporcional la magnitud de las deformaciones calculadas con la seguridad de la estructura.

En el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR – 10), se encuentran las condiciones y parámetros de seguridad que deben presentar las edificaciones en Colombia en lo referente a la seguridad; en su Título C, el Reglamento establece que el Módulo de Elasticidad del concreto con densidad normal se debe determinar a través de la ecuación: $E = 4700 \cdot \sqrt{f'c}$ en donde $f'c$ corresponde al esfuerzo de compresión del concreto en MPa.

Investigaciones realizadas anteriormente han demostrado que en el momento de determinar el Módulo de Elasticidad (E) a través de ensayos a compresión en cilindros de concreto se obtienen valores inferiores a los que establece la NSR – 10. Partiendo de esto se encuentra la necesidad de realizar una comparación con el ensayo que ofrece la Norma Técnica Colombiana NTC – 4025, para la determinación del Módulo de Elasticidad del concreto a partir de la compresión, con el ensayo ASTM - C1609/1609M aplicado a vigas de concreto simples y reforzadas, relacionando los valores obtenidos a partir de ambos ensayos y poder concluir algunas causas por las cuales se presenta la variación para los valores del Módulo de Elasticidad del concreto (E).

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General.

Comparar el módulo de elasticidad obtenido del concreto simple y el concreto reforzado aplicando el ensayo de flexión en una viga simplemente apoyada, en relación al módulo de elasticidad obtenido del ensayo de compresión aplicado a cilindros de concreto y el establecido por la Reglamentación Vigente Colombiana.

1.2. Objetivos Específicos.

Determinar el módulo de elasticidad del concreto, en vigas reforzadas y no reforzadas simplemente apoyadas, aplicando una carga externa y midiendo las deformaciones obtenidas a través de un ensayo de flexión, como se indica en la norma ASTM C1609/1609M.

Calcular el módulo de elasticidad del concreto, realizando un ensayo de compresión en cilindros de concreto, como lo especifica la Norma Técnica Colombiana NTC – 4025.

Comparar los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad del concreto mediante el ensayo de flexión y el ensayo de compresión respecto al valor establecido por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR – 10).

2. METODOLOGIA

En este capítulo se realizará un resumen de la metodología empleada en este trabajo de grado para obtener los resultados de las pruebas. Es importante resaltar que se desarrollaron algunas muestras previas a la realización del anteproyecto, para poder determinar cómo se desarrollaría el ensayo de flexión en vigas, para tomar las medidas de deformación directamente sobre la muestras ensayadas en laboratorio.

2.1. Pruebas Preliminares.

En el mes de abril del año en curso, en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil, se desarrollaron pruebas a flexión en dos vigas no reforzadas, dos vigas reforzadas y cuatro cilindros a compresión.

En la Figura 1, se observa el ensayo de flexión que se desarrolló sobre las vigas preliminares. En este procedimiento, se realizó una mezcla por volumen o dosificación 1:2:3, de tal manera que no se tenía en cuenta un diseño de mezcla preliminar.



Figura 1. Ensayo de Flexión en Vigas Preliminares.

Posteriormente al ensayo de las vigas reforzadas y no reforzadas, se desarrolló el ensayo de compresión en cilindros de concreto y módulo de elasticidad sobre las muestras de cilindros, para poder comparar los resultados con los obtenidos en las vigas.

También en el laboratorio, se desarrolló el trabajo de obtener los esfuerzos de compresión de los cilindros de concreto simple y adicionalmente determinar el módulo de elasticidad. En la Figura 2, se observa el ensayo de laboratorio de compresión en cilindros.



Figura 2. Prueba de Compresión de Cilindros de Concreto Preliminares.

Después de desarrollar el análisis de los cilindros de concreto, se procede a desarrollar el ensayo del módulo de elasticidad, como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Prueba de Módulo de Elasticidad en Cilindros Preliminares.

De estos ensayos previos realizados, se pudieron obtener los siguientes resultados, como se muestra en la Tabla 1.

Para determinar el módulo de elasticidad en estas vigas de 45 cm, cuya carga y deformimetro fue ubicado en el centro de la luz del elemento, utiliza la fórmula que se muestra a continuación para obtener el módulo de elasticidad a partir de los resultados obtenidos.

$$E = \frac{P \cdot L^3}{48000 \cdot \delta \cdot I} \text{ (MPa)}$$

La inercia de la sección transversal es la que se muestra a continuación:

$$I = \frac{0.15 \cdot 0.15^3}{12} = 0.0000421875 \text{ (m}^4\text{)}$$

Es importante anotar que para las secciones con refuerzo, la sección que soporta es aquella que está fisurada, es decir se toma como el 70% de la sección transversal total del elemento, por lo cual:

$$I = 0.7 \cdot 0.0000421875 = 0.0000295313 \text{ (m}^4\text{)}$$

Tabla 1. Resultados de Fuerzas y Desplazamientos de las vigas reforzadas y no reforzadas.

| | Vigas | Fuerza (kN) | δ (mm) | E (MPa) |
|----------|---------------------|--------------------|---------------------------------|----------------|
| 1 | Reforzada | 28.036 | 0.14732 | 12234.01 |
| | No Reforzada | 11.273 | 0.05588 | 9078.11 |
| 2 | Reforzada | 26.027 | 0.18034 | 9123.03 |
| | No Reforzada | 9.345 | 0.06096 | 6898.36 |

Con estas pruebas previas realizadas a las vigas de concreto reforzado y no reforzado, se puede observar la manera de realizar el análisis de resultados de la prueba piloto del trabajo de grado a desarrollar.

Los resultados del módulo de elasticidad sobre los cilindros de concreto realizados de las muestras del concreto con el que se construyeron las vigas, no se pudo determinar ya que los datos del laboratorio no fueron confiables en las cuatro muestras que se tenían.

2.2. Ensayos sobre los Materiales Utilizados en el Diseño de Mezcla.

Previo a la realización del diseño de mezcla, se deben caracterizar todos los materiales del proyecto piloto, para poder determinar las proporciones de cada uno de estos en la mezcla a desarrollar para el concreto.

Como primera medida se realizan los ensayos sobre los agregados gruesos y finos.

El primero de ellos es el peso específico y absorción del agregado grueso, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Peso Específico y Absorción Agregado Grueso.

La realización de las pruebas del peso específico y absorción del agregado fino, son diferentes a las desarrolladas en el agregado grueso, como se puede apreciar en la Figura 5.



Figura 5. Peso Específico y Absorción Agregado Fino.

La granulometría de ambos agregados se realiza por diferentes tamices, ya que los tamaños requeridos por cada uno son diferentes en la proporción que aportan en el diseño de mezcla tanto el agregado grueso como el fino. Los tamices requeridos para el agregado grueso son: 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " y fondo. Para el agregado fino son No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, pasa 200 y fondo. En la Figura 6, se observa la granulometría para ambos materiales.



Figura 6. Granulometría Agregado Grueso y Fino.

El equivalente de arena se obtiene sobre el agregado fino, los laboratorios desarrollados en la muestra de la prueba piloto es la que se observa en la Figura 7.



Figura 7. Equivalente de Arena.

El ensayo de caras fracturadas se realiza sobre el agregado grueso, como se observa en la Figura 8. En este procedimiento se determina el porcentaje en peso del agregado grueso que presenta una o más caras fracturadas.



Figura 8. Ensayo de Caras Fracturadas Agregado Grueso.

El ensayo de desgaste de la máquina de los ángeles, se realiza sobre el agregado grueso que será parte de la mezcla. Se observa este proceso en la Figura 9.



Figura 9. Ensayo Máquina de los Ángeles Agregado Grueso.

La colorimetría es un ensayo que se realiza sobre el agregado fino de la mezcla. En la Figura 10, se observa este procedimiento.



Figura 10. Colorimetría Agregado Fino.

El ensayo de colorimetría se utiliza para determinar el contenido de materia orgánica en el agregado fino de la mezcla.

2.3. Construcción de Vigas y Cilindros de Concreto para la Prueba Piloto a edades tempranas.

En el proceso de construcción de las vigas y cilindros de concreto para la prueba piloto que se desarrollará en este trabajo de grado, se debe tener en cuenta el diseño de mezcla, el cual se muestra en un capítulo posterior de este trabajo de grado.

Primero se determina la cantidad de material que se debe mezclar para desarrollar la mezcla de concreto, como se muestra en la Figura 11. Es importante anotar en esta parte, que las proporciones se realizan en peso y no en volumen, para lograr más exactitud en los resultados de esfuerzos que se obtendrán en los ensayos finales sobre los cilindros y las vigas reforzadas y no reforzadas.



Figura 11. Peso de Materiales para la Mezcla de Concreto.

Después de tener las proporciones de los materiales, se procede a desarrollar la mezcla en el trompo del Laboratorio de Ingeniería Civil, ubicado en el edificio K de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Después de realizada la mezcla, se debe comprobar el asentamiento de la misma y así comparar con el supuesto en el diseño de mezcla inicial (teórico). En la Figura 12, se observa este procedimiento de Mezcla en el Trompo y la determinación del slump o asentamiento, el cual es importante para observar si la mezcla está muy fluida respecto a lo asumido en el diseño.



Figura 12. Mezcla de Concreto en Laboratorio y Asentamiento.

Al tiempo que se realiza la mezcla, se debe ir trabajando en la construcción de las varillas de refuerzo de las vigas que tienen este material, para poder realizar el vaciado del concreto en estos elementos estructurales. Es importante aclarar que el figurado se compró ya con las medidas establecidas en el despiece estructural preliminar realizado, para este proyecto particular.

En la Figura 13, se observa el figurado de una de las vigas que se desarrollaron en el proyecto piloto.



Figura 13. Figurado de las Varillas de Acero de Refuerzo.

Después de desarrollar la mezcla y el armado de las varillas de refuerzo, se procede a realizar la fundida de las vigas reforzadas y no reforzadas, como se observa en la Figura 14.



Figura 14. Vigas Reforzadas y No Reforzadas de la Prueba Piloto.

Con la misma mezcla de concreto realizada se desarrollan los cilindros de concreto que se utilizarán para desarrollar el ensayo de módulo de elasticidad sobre estos elementos (Figura 15).



Figura 15. Formaletas engrasadas y Viga Reforzada, no reforzada y cilindro de concreto para realizar módulo de elasticidad.

2.4. Ensayo de Flexión en Vigas Reforzadas y no Reforzadas de la Prueba Piloto.

En el laboratorio, después de construidas las vigas y cilindros del numeral anterior, se procede a desarrollar la prueba piloto sobre las vigas y los cilindros a los siete (7) días de construidas.

En la Figura 16, se observa el transporte y acopio de materiales de los ensayos de flexión en vigas reforzadas y no reforzadas en la carretilla.



Figura 16. Acopio de Materiales.

La primera prueba que se realiza es sobre las vigas no reforzadas, como se observa en la Figura 17. Este ensayo tiene por objetivo medir las deflexiones en diferentes momentos de la realización del ensayo, directamente sobre la viga y en donde se está aplicando la carga, para poder determinar a partir de esto datos el módulo de elasticidad de la viga.



Figura 17. Prueba de Viga No Reforzada.

De la misma manera que para la viga no reforzada, se toman las deflexiones y las cargas en diferentes puntos, con una velocidad controlada, de tal

manera que después se puede determinar el módulo de elasticidad del concreto a partir de la flexión de vigas.

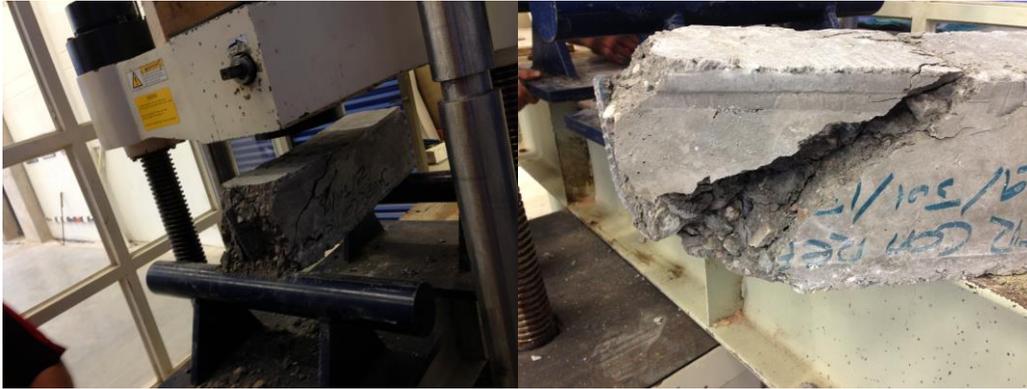


Figura 18. Prueba de Viga Reforzada.

2.5. Ensayo de Compresión y Módulo de Elasticidad en Cilindros de Concreto Simple en Laboratorio.

El ensayo de compresión de cilindros de concreto tiene por objetivo conocer cuál es el máximo valor de carga (esfuerzo) que se puede aplicar al cilindro, para en la pareja, colocar la camisa para realizar el módulo de elasticidad del concreto. Este ensayo se observa en la Figura 19.



Figura 19. Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.

Este ensayo es el que oficialmente se tiene en cuenta para determinar el módulo de elasticidad en laboratorio. Es importante anotar, que a partir de este ensayo, se obtiene principalmente el módulo de elasticidad en concreto simple (sin refuerzo), motivo por el cual se construyeron las vigas reforzadas y obtener el módulo de elasticidad en estas y compararlos con el del Título C de la Reglamentación Vigente en Colombia.



Figura 20. Ensayo de Módulo de Elasticidad sobre Cilindros de Concreto.

2.6. Análisis de Resultados.

En este capítulo del trabajo de grado, se desarrolla el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas sobre las vigas de concreto simple, concreto reforzado y cilindros de concreto, comparando los resultados con los que establece el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR10. Se realizan las gráficas necesarias para realizar esta interpretación.

2.7. Conclusiones y Recomendaciones.

En este punto de esta prueba piloto, se procede a concluir respecto a los objetivos planteados dentro del trabajo de grado.

3. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que varios trabajos de grado previamente aprobados y desarrollados por la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga se obtuvo como resultado para el módulo de elasticidad del concreto valores que no concuerdan con lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR-10), se propone en este trabajo la tarea de obtener resultados del módulo de elasticidad comparado entre la flexión (tomando medidas de deflexión) y la compresión del concreto simple (con el aparato respectivo), para observar si estos dos valores se asemejan, así mismo, realizar con el mismo concreto una viga reforzada (acero de refuerzo), para estos datos compararlos con lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR-10).

Se planea continuar con la metodología empleada en el trabajo de grado “Comparación de los módulos de elasticidad de concreto normal, con el ensayo de compresión y el ensayo de flexión”, en la cual para obtener los resultados, se utilizó el procedimiento establecido por la Norma Técnica Colombiana NTC – 4025, se validen con un ensayo de alternativo en vigas de concreto simple y en este caso con la variación de adicionar refuerzo a un número determinado de vigas de concreto, sometiéndolas a un ensayo de flexión, con el fin de establecer si produce una variación al módulo de elasticidad en el momento de aplicar refuerzo a las vigas, se realiza una variación a la dimensión de las vigas realizadas, de tal manera que se utilizan las formaletas para vigas de pavimentos con las que se cuenta en el laboratorio.

Cuando se realiza el análisis sísmico de las estructuras, el módulo de elasticidad que se propone trabajar, es directamente proporcional al desplazamiento que se produce en las estructuras.

En las conclusiones anteriores, se ha determinado que el módulo de elasticidad experimental es mucho menor que el módulo de elasticidad propuesto en la Reglamentación NSR-10, por este motivo particular, se propone que se observe el comportamiento del concreto reforzado para obtener el módulo de elasticidad sobre este material y así comparar estos resultados con los obtenidos en el Reglamento y determinar si existe más cercanía con la ecuación:

$$E = 4700 \cdot \sqrt{f'c} (MPa)^1$$

Otro factor importante son los resultados obtenidos en investigaciones previas realizadas en la Universidad Pontificia Bolivariana, ya que en las recomendaciones se observa que los resultados obtenidos del módulo de elasticidad del concreto obtenido con el Reglamento NSR10, es muy diferente al que se obtiene en laboratorio, por lo cual se optó por analizar si tiene que ver el refuerzo en las vigas para determinar el módulo de elasticidad.

¹ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10. Enero 2011. Título C. Literal C.8.5.1. Página C-62.

4. ALCANCE

En el presente trabajo de grado se determinará el módulo de elasticidad (E), para el concreto, a través de ensayos de flexión para vigas simplemente apoyadas de concreto simple y concreto reforzado, además se realizarán ensayos de compresión a cilindros de concreto, realizados con el mismo diseño de mezcla utilizado en la elaboración de las vigas y así comparar el resultado de módulo de elasticidad obtenido en ambas pruebas de laboratorio.

A los materiales utilizados en la elaboración del concreto de las vigas y los cilindros y la varilla de acero, se probarán previamente a la elaboración del diseño de mezcla, para de esta manera, obtener los pesos requeridos de agregado grueso, agregado fino, agua y cemento que hacen parte de la mezcla. De la varilla se requiere conocer el módulo de elasticidad y su esfuerzo de fluencia.

La Norma Técnica Colombiana NTC – 4025 y la Norma ASTM – C469/469M, son las utilizadas para desarrollar el ensayo de módulo de elasticidad en cilindros de concreto simple, mientras que la Norma ASTM - C1609/1609M, es la utilizada para determinar el módulo de elasticidad en vigas de concreto simple y concreto reforzado. Estos valores se comparan entre sí (concreto simple) y además se comparan con lo que establece el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10, observando si la ecuación que establece el Reglamento se relaciona de una manera más cercana a la viga que está reforzada.

Además se realizaron cuatro (4) cilindros de concreto, a los cuales se les aplicará el ensayo de módulo de elasticidad propuesto por la Norma Técnica Colombiana NTC – 4025. El primer cilindro se prueba a compresión, estableciendo un valor máximo de carga que se pueda aplicar y de esta manera se prosigue a desarrollar el ensayo de módulo de elasticidad a los tres (3) cilindros restantes.

Después se realizaron cuatro (4) vigas de concreto simple y cuatro (4) vigas de concreto reforzado (a flexión en la parte superior e inferior y cortante), a las cuales se les aplicará la Norma ASTM - C1609/1609M, para determinar el módulo de elasticidad a partir de un desplazamiento medido en campo, basado en una carga aplicada, funcionando este como alternativa para validar los resultados obtenidos en el ensayo anterior del módulo de elasticidad.

Si los resultados obtenidos en los dos (2) ensayos anteriores son diferentes a los valores que establece el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10, se justificarán las conclusiones de trabajos de grado anteriores en los que se demuestra, que los valores que establece el Reglamento, son inferiores a los obtenidos en las pruebas de laboratorio y si este valor se parece en una proporción más cercana al obtenido con las vigas reforzadas, se debe realizar el ensayo de vigas reforzadas, para obtener el módulo de elasticidad.

5. ANTECEDENTES.

En la investigación colombiana no se encontraron estudios previos para el módulo de elasticidad del concreto reforzado por otro lado con el concreto simple se tienen varias referencias las cuales han arrojado valores para el módulo de elasticidad inferiores a los que propone el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 NSR-10.

En 1998 la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98; planteó la ecuación para determinar el Módulo de Elasticidad del concreto cuyas masas unitarias estén entre los 1450 y 2450 Kg/m³, para todo el país sin importar el agregado existente en las distintas regiones.

$$E = (Wc)^{1.5} \cdot 0.034 \cdot \sqrt{f'c} (MPa)^2$$

Cuando no se disponía de un valor de masa unitaria del concreto (Wc), y tampoco de un valor experimental del módulo de elasticidad (Ec), para todo el país sin importar el agregado existente en las distintas regiones.

$$E = 3900 \cdot \sqrt{f'c} (MPa)^2$$

En 2004 en Bucaramanga se llevaron a cabo los estudios de la mano de Hernández Suarez³, para determinar el módulo de elasticidad del concreto (Ec), con concreto premezclado, para las tres más importantes plantas de concreto de la ciudad.

En el estudio la ecuación de mayor valor cuantitativo de módulo de elasticidad del concreto (Ec), fue la siguiente:

$$E = 1878 \cdot \sqrt{f'c} (MPa)^3$$

La ecuación arrojaba valores menores a los que proponía la NSR 98, como en los trabajos que se habían realizado anteriormente.

² Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR98. Enero 1999. Título C. Literal C.8.5.4. Página C-53.

³ Hernández S., Adriana. Determinación de los Módulos de Elasticidad de Concreto producido con los diferentes materiales existentes en Bucaramanga y su Área Metropolitana. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Civil. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2004.

Un estudio realizado por Torrado y otro⁴ (2009), determinó mediante la realización de especímenes de concreto con agregados pétreos de la región de Bucaramanga y su Área Metropolitana, una ecuación con la cual se puede obtener el Módulo de Elasticidad Estático del Concreto de Bucaramanga. Las ecuaciones propuestas fueron:

$$E = (Wc)^{1.5} \cdot 0.016 \cdot \sqrt{f'c} (MPa)^4$$
$$E = 1875 \cdot \sqrt{f'c} (MPa)^4$$

Una investigación realizada por Carvajal Buenahora y otro (2012)⁵, proponía comparar los Módulos de Elasticidad de concreto simple mediante ensayos a compresión y flexión, en donde se corroboró una diferencia notable en cuanto a los valores de módulo de elasticidad propuestos por el Reglamento de Construcción Sismo Resistente 2010 NSR-10 y los calculados en el laboratorio utilizando la siguiente ecuación para determinar el módulo de elasticidad en el ensayo a flexión:

$$E = 1969 \cdot \sqrt{f'c} (MPa)^5$$

Para la determinación del módulo de elasticidad según el ensayo a compresión se determinó la siguiente ecuación:

$$E = 2056 \cdot \sqrt{f'c} (MPa)^5$$

⁴ Torrado G., Luz M. Porras A., Natalia A. Determinación de las ecuaciones del módulo de elasticidad estático y dinámico del concreto producido en Bucaramanga y su Área Metropolitana. Trabajo de Grado para optar al título de Ingenieros Civiles. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2009.

⁵ Carvajal B., Manuel F.; Gonzalez B., Edisson A. Comparación de los Módulos de Elasticidad de Concreto Normal, con el Ensayo de Compresión y el Ensayo de Flexión. Trabajo de Grado para optar al título de Ingenieros Civiles. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2012.

6. MARCO TEÓRICO.

Partiendo de que el módulo de elasticidad del concreto es una propiedad mecánica que indica la rigidez del material, su estudio es importante porque de este depende el diseño y análisis de diferentes estructuras.

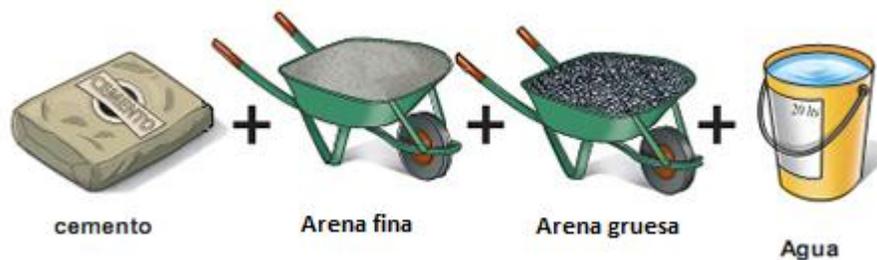
El progreso de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana en materia de construcción va en alza, con el transcurrir del tiempo surge la necesidad de contar con fórmulas propias para determinar el módulo de elasticidad del concreto en la ciudad ya que esta cuenta con materiales pétreos de diferentes características a las demás zonas del país.

La orientación de este trabajo es calcular el módulo de elasticidad del concreto, con la ayuda de ensayos del ensayo de flexión y compresión, para luego comparar con la norma sismo resistente NSR10 y corroborar si el resultado es el indicado.

A continuación se presentará una definición del concreto, concreto reforzado y lo más relevante sobre el módulo de elasticidad.

6.1. Concreto.

El concreto es uno de los materiales compuestos (Figura 21) más utilizados por el hombre, donde la mezcla de dos o más materiales dan lugar a la combinación de propiedades que lo hacen ideal para su uso en construcción. Desde su descubrimiento a finales del siglo XIX, el concreto es el material más empleado en la industria de la construcción, abarcando obras de arquitectura e ingeniería, como edificios, puentes, diques, puertos, canales, túneles, etc. Incluso en aquellas edificaciones donde la estructura principal es de acero, su uso es imprescindible para conformar la cimentación. El diseño de concretos especializados según su aplicación, basado en investigaciones científicas en los campos de la química, los materiales y la mecánica, ha permitido consolidarlo como un material de altas prestaciones.



Fuente: <http://www.acerosarequipa.com/manuales/manual-para-propietarios/7-procedimientos-por-partidas/77-techos/774-vaciado-del-concreto-en-techos.html> <consultado 06 de agosto de 2013>

Figura 21. Componentes básicos de una mezcla de concreto

De manera básica está formado por una mezcla que contiene: 1) un aglomerante, que tiene la función de mantener las partículas cohesionadas; 3) partículas de agregado, que confiere solidez a la mezcla y confiere gran parte de sus propiedades constructivas; 2) agua, esencial para la formación de la pasta; y 4) aditivos específicos, que confieren propiedades según los requerimientos de la estructura. La conformación de esta mezcla se realiza mediante el uso de moldes o cajas denominadas *formaletas* o *encofrado*.

Al diseñar y obtener la mezcla, previo a su conformación (Figura 22), la proporción de los constituyentes puede variar y por ende su densidad, dando lugar a una las clasificaciones más usuales para el concreto: pesado cuando la densidad del concreto es superior a 3200 kg/m^3 debido al empleo de agregados densos como el usado para la protección contra las radiaciones; normal cuando la densidad del concreto está alrededor de 2400 kg/m^3 ; y ligero con densidades entre $800 - 2000 \text{ kg/m}^3$ debido a la presencia de vacíos en la matriz del concreto endurecido.



Fuente: <http://www.acerosarequipa.com/manuales/manual-para-propietarios/7-procedimientos-por-partidas/77-techos/774-vaciado-del-concreto-en-techos.html> <consultado 06 de agosto de 2013>

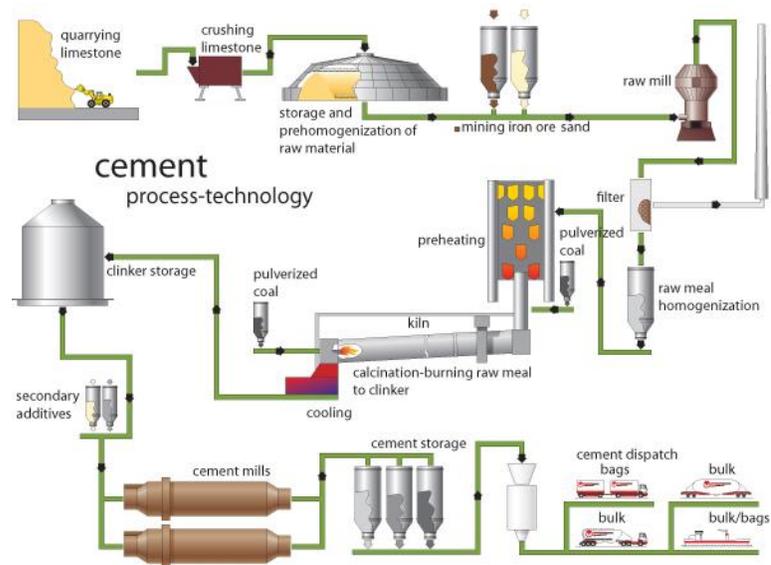
Figura 22. Esquema de Elaboración del Concreto

La característica más relevante del concreto es su elevada resistencia a los esfuerzos de compresión y su pobre comportamiento ante otros tipos de esfuerzos como tracción, flexión o cortante. Esta deficiencia suele ser compensada con la inclusión de vigas de acero en su matriz, lo que permite obtener un conjunto que presenta muy buen comportamiento ante los diversos tipos de esfuerzos; este tipo de concreto recibe el nombre de *concreto reforzado*.

El concreto es el material más utilizado en la fabricación de estructuras en Colombia y de su adecuado comportamiento depende la seguridad de la edificación, por lo que existe una normatividad regida por la Norma Técnica Colombiana que establece los valores de las propiedades que debe cumplir el concreto de acuerdo al diseño de la estructura a construir.

6.2. Cemento.

Es posible establecer tres definiciones para el cemento: 1) cualquier material aglomerante con capacidad de unir fragmentos con propiedades físicas diferentes, como las calizas naturales calcinadas; 2) compuesto con propiedades aglomerantes con capacidad de unir fragmentos en forma sólida o líquida, como el cemento duco, el cemento acrílico, la cal y el asfalto; 3) mezcla de calizas y arcillas pulverizadas y posteriormente calcinadas a grandes temperaturas, a la que se adiciona yeso y que al entrar en contacto con agua desarrolla la capacidad de unir fragmentos de grava y arena, conocido como *cemento portland*. Esta última es la definición ingenieril.



Fuente: <http://www.crusher-inchina.es/6-4-sand-cement-production-line.html> <consultado 13 de agosto de 2013>

Figura 23. Esquema general de la fabricación del cemento

La fabricación del cemento a nivel industrial se esquematiza en la Figura 23 y se divide en 3 etapas básicas:

- 1) Obtención de las materias primas (materiales calcáreos y arcillas principalmente), para conseguir la composición deseada de óxidos reactivos al agua en la producción del Clinker;
- 2) Molienda y cocción de las materias primas, la primera se realiza con equipos mecánicos rotatorios que reducen el tamaño de las partículas de materias para que las reacciones químicas de cocción en el horno se realicen de forma adecuada;
- 3) Molienda del cemento con equipos mecánicos, junto con la molienda conjunta del clinker, yeso (en proporciones bajas, su función es de retardador de fraguado) y aditivos (dan características especiales a los cementos). Este proceso se realiza debido a que el material obtenido debe ser homogeneizado para garantizar la calidad del producto final de la cocción – *Clinker* – y la correcta operación del horno.

El tamaño de partícula del producto obtenido da las propiedades de resistencia del cemento, cuanto menor sea el tamaño de partícula, es decir un material más fino, aumenta su resistencia. Este material tiene la propiedad de reaccionar con el agua gracia a una reacción de hidratación, por lo que la mezcla de concreto presenta una transición de líquido a sólido, y de adquirir propiedades de cohesión y adhesión que le permite aglomerar todos los compuestos para darle vida al concreto. Se puede tener una mezcla compuesta sólo por cemento con arena y agua (sin la presencia de un agregado), que se denomina *mortero* (Tabla 2).

6.3. Agua.

Dentro de la mezcla de concreto, el agua cumple dos funciones principales. La primera, es reaccionar químicamente con el cemento para producir la parte sólida de la pasta de cemento Portland (HCP) que da la resistencia al concreto; y la segunda es proveer la manejabilidad de la mezcla, que es fundamental para que el concreto sea homogéneo y bien compactado. Por lo tanto, es importante determinar la cantidad de agua necesaria según el contenido de sólidos – cemento y agregados – y las propiedades a que da lugar (Figura 24).⁶

⁶ <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.HidratacionCEMENTO.pdf>. <consultado 6 de Agosto de 2013>

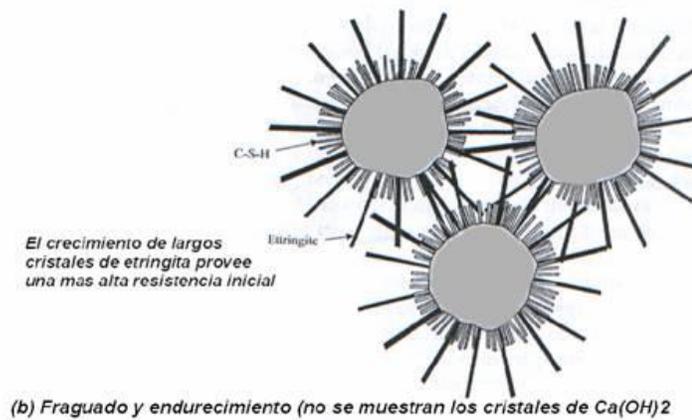
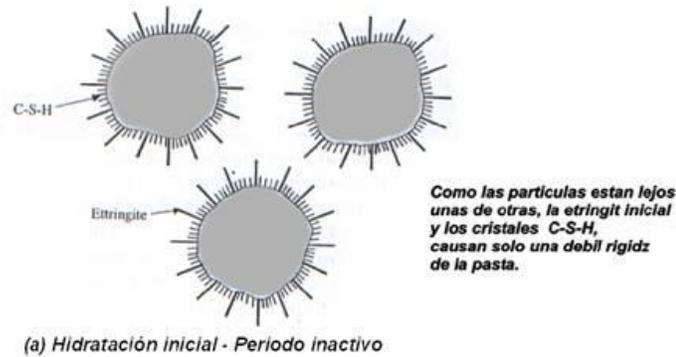
Tabla 2. Clasificación del cemento según sus propiedades

| | | |
|--|--|--|
| TIPO DE CEMENTO | CEM | Cementos comunes. |
| | CEM I | Cemento Pórtland |
| | CEM II | Cemento Pórtland con adiciones |
| | CEM III | Cemento con escorias de hornos alto. |
| | CEM IV | Cemento puzolánico |
| | CEM V | Cemento compuesto |
| TIPOS DE SUBDIVISIONES DEL CEMENTO PRINCIPAL | A, B ó C | Subtipos de cemento, van seguidos de guión (-) y la letra de la adición. |
| | M | Cementos Pórtland compuestos. |
| | I, II, III, IV, V | Cementos con características adicionales (sin la letra CEM). |
| CLASE RESISTENTE | 32,5 | Clase de resistencia (a compresión en N (mm ²). |
| | 42,5 | |
| | 52,5 | |
| TIPO RESISTENCIA | R | Cemento de alta resistencia inicial. |
| | N | Cemento de resistencia normal. |
| ADICIONES | S | Escoria de horno alto. |
| | O | Humo de sílice. |
| | P | Puzolana natural |
| | Q | Puzolana natural caliza |
| | V | Ceniza volante sílices |
| | W | Ceniza volante calcárea |
| | T | Esquistos calcinados |
| | L y LL | Caliza. |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LOS CEMENTOS | SR |
| MR | | Cementos resistentes al agua de mar |
| BC | | Cementos de bajo calor de hidratación |
| ESP | | Cementos para usos especiales |
| MC | | Cementos de albañilería |
| X | | Cementos de aditivo aireante |
| BL | | Cementos blanco comunes |
| CAC/R | Cementos de aluminato de calcio | |

Fuente: <http://www.anter.es/pdf/L1.pdf> <consultado 06 de agosto de 2013>

Cantidades de agua inferiores al contenido mínimo necesario, producirán un concreto denso y seco, difícil de compactar y de homogeneizar y por lo tanto, con poca resistencia. De otra parte, el exceso de agua provoca la formación de muchos poros después de la evaporación del agua, favoreciendo la segregación y afectando la homogeneidad del concreto, resultando también en un material poco resistente. Es posible afirmar que la manejabilidad de la mezcla depende principalmente de la cantidad de agregados más cemento de la mezcla, por lo tanto la cantidad de agua es la principal variable para determinar la manejabilidad deseada; y también que la resistencia de una mezcla es función principalmente del porcentaje de vacíos en la pasta de cemento, por lo tanto la relación agua cemento (Tabla 3) también es determinante en la resistencia del concreto.⁷

⁷ <http://prltap.org/eng/wp-content/uploads/2013/02/Microestructura.pdf>. <consultado 06 agosto de 2013>



Fuente: <http://www.concrete.0catch.com/Capitulo2.htm>

Figura 24. Esquema del proceso de hidratación del concreto.

Tabla 3. Influencia de la relación agua-cemento-agregado sobre las propiedades de un concreto.

| Mezcla | Agua | Cemento | Agregados | Cemento + Agregados | w/c | Vacios HCP | Manejabilidad | Resistencia |
|--------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|------------|---------------|-------------|
| 1 | 315 lb (5.05 ft ³) | 787.5 lb (4.01 ft ³) | (17.94 ft ³) | (21.95 ft ³) | 0.4 | 20.9% | Ref | Ref |
| 2 | 315 lb (5.05 ft ³) | 700 lb (3.56 ft ³) | (18.39 ft ³) | (21.95 ft ³) | 0.4 5 | 26.1% | Igual | Disminuye |
| 3 | 340 lb (5.45 ft ³) | 850 lb (4.32 ft ³) | (17.23 ft ³) | (21.55 ft ³) | 0.4 | 20.9% | Aumenta | Igual |
| 4 | 340 lb (5.45 ft ³) | 755.6 lb (3.84 ft ³) | (17.71 ft ³) | (21.55 ft ³) | 0.4 5 | 26.1% | Aumenta | Disminuye |

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.HidratacionCEMENTO.pdf> <consultado 06 de agosto de 2013>

6.4. Agregados.

Un material agregado (Figura 25) se define como aquel que puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, que se emplea con un medio cementante

para formar concreto hidráulico. Estos materiales no alteran el proceso de endurecimiento y ayudan a dar cohesión a la mezcla.

Los agregados no reaccionan químicamente con los demás materiales que posee la mezcla de concreto, convirtiéndolo en el material ideal para trabajar de forma conjunta con estos dentro de la mezcla; es importante resaltar que el tamaño, la forma y la textura del agregado son los factores que influyen en el comportamiento del concreto.



Fuente: <http://www.materialesdeconstruccion.com.mx/productos-agregados.php> <consultado 06 de Agosto de 2013>

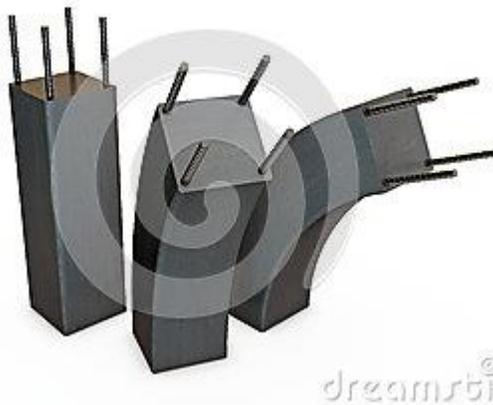
Figura 25. Agregado Fino y Grueso.

Generalmente los agregados son grava o arena, clasificación que se realiza a través de un proceso de tamizado. Los agregados finos son aquellos que pasan por el tamiz N° 4, y se denominan *arenas*. Los gruesos son los que quedan retenidos en el tamiz N°4, y se denominan *gravas*, *gravillas*, o *pedra*, según su tamaño de partícula. De la densidad de estos depende que la resistencia de la mezcla sea la indicada para la aplicación particular para la que se diseña. Por esta razón y debido a la cohesión que proporcionan a las partículas de la pasta de cemento, es fundamental lograr una adecuada selección y trabajar con materiales de calidad; de lo contrario la resistencia del concreto estará por fuera de los requerimientos deseados.

6.5. Concreto Reforzado.

Una de las propiedades más valiosas del concreto es su gran resistencia a los esfuerzos a compresión y también una de sus características es su pobre resistencia a los esfuerzos de tensión, llegando a fallar con cargas relativamente bajas. Esta deficiencia representaba una gran limitación en cuanto a su aplicación en edificaciones donde los esfuerzos de tensión fueran superiores a los valores máximos soportados por el concreto, lo que

llevó a buscar alternativas de diseño que permitieran superar esta debilidad, dando como resultado el *concreto reforzado* (Figura 26), que consiste en la inserción de algún tipo de refuerzo dentro de la matriz del concreto ó la combinación entre el concreto simple con un refuerzo. Por lo general, estos refuerzos son barras de acero corrugadas ubicadas en las zonas donde se pueden llegar a presentar fallas debido a las tensiones aplicadas. Estos soportes ayudan a restringir la aparición de grietas, aumentando su resistencia a la fractura.



Fuente: <http://es.dreamstime.com/imagenes-de-archivo-columnas-del-concreto-reforzado-image26092644>
<consultado 06 de agosto de 2013>

Figura 26. Barras de acero en columnas de concreto

Cuando se proyecta una estructura de concreto reforzado se deben establecer las dimensiones de los elementos, el tipo de concreto, los aditivos y el acero que se debe ubicar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a las que estará expuesta la edificación. En la Figura 27 se observa el vertido de concreto fresco sobre barras de acero que conforman una armadura para componer un elemento superficial de concreto reforzado. Estas piezas se pueden fabricar en obra o se pueden adquirir de fábrica – *prefabricados*.



Fuente:http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod_resource/content/1/Hormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf

Figura 27. Vaciado de concreto fresco en estructura de acero

6.6. Módulo de Elasticidad del Concreto.

Es una propiedad mecánica que indica la rigidez del material, realizar el estudio pertinente es de suma importancia porque sirve para determinar las deformaciones que sufren los materiales al aplicarle esfuerzos.

Las normas para determinación el módulo de elasticidad en Colombia las propone la norma NTC 4025. Se deben realizar probetas moldeadas cilíndricamente y se les deben aplicar unas cargas una vez se cumpla el tiempo de fraguado, las cargas se realizan a compresión por debajo de su límite elástico. Se deben recurrir a la ayuda de un extensómetro para medir las deformaciones cuando se estén aplicando las cargas. Este se calcula mediante la siguiente ecuación (1).

$$E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - 0.00005}$$

Donde:

E= módulo de elasticidad secante, en MPa (psi).

S₂ =esfuerzo correspondiente al 40% de la carga ultima.

S₁ = esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal, ϵ_1 , de la 50 millonésima, en MPa.

ϵ_2 = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂.

6.7. Determinación de la Deflexión en la Parte Intermedia de la Viga.

Con las metodologías del Análisis de Estructuras, y una carga intermedia aplicada en el centro de la luz de una viga, se obtiene la ecuación que se muestra a continuación para obtener el módulo de elasticidad a partir de la carga aplicada en el laboratorio y la deflexión medida en el punto en el cual se aplicó la carga.

$$E = \frac{P \cdot L^3}{48000 \cdot \delta \cdot I}^8$$

Donde:

P → Carga aplicada en laboratorio (kN)

L → Longitud del elemento (m)

E → Módulo de Elasticidad del Concreto (MPa)

δ → Deflexión medida en el punto de aplicación de la carga. (m)

Como en el procedimiento se determinan varios puntos con los cuales se puede determinar la pendiente secante de la gráfica entre δ (deflexión) vs P (carga), se realiza una regresión lineal y se determina la pendiente de esa recta entre el último punto de deflexión y un valor fijo de 0.035 mm.

⁸ HIBBELER, Rusell C. Análisis Estructural. 3a Edición. México: Prentice Hall. 1997. 417p.

7. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PRELIMINARES.

7.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

7.1.1. Análisis granulométrico de agregados finos.

Tabla 4. Granulometría Agregado Fino (Ensayo 1).

| | |
|-----|-----|
| Wi | 500 |
| Wii | 496 |
| Wt | 4 |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RET | % RETENIDO | % RET TOTAL | % PASA TOTAL |
|--------------|---------------|----------|------------|-------------|--------------|
| No. 4 | 4,75 | 5,2 | 1,04 | 1,04 | 98,96 |
| 8 | 2,38 | 33 | 6,6 | 7,64 | 92,36 |
| 16 | 1,19 | 186 | 37,2 | 44,84 | 55,16 |
| 30 | 0,59 | 152,2 | 30,44 | 75,28 | 24,72 |
| 50 | 0,297 | 104,8 | 20,96 | 96,24 | 3,76 |
| 100 | 0,149 | 13,4 | 2,68 | 98,92 | 1,08 |
| 200 | 0,074 | 4 | 0,8 | 99,72 | 0,28 |
| FONDO | | 1,4 | 0,28 | 100 | 0 |
| | | 500 | | | 0 |

| | |
|----|--------|
| MF | 3,2396 |
|----|--------|

Tabla 5. Granulometría Agregado Fino (Ensayo 2).

| | |
|-----|-------|
| Wi | 500 |
| Wii | 496,8 |
| Wt | 3,2 |

MF = 3.2052

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RET | % RETENIDO | % RET TOTAL | % PASA TOTAL |
|--------------|---------------|----------|------------|-------------|--------------|
| No. 4 | 4,75 | 4,4 | 0,88 | 1,04 | 99,12 |
| 8 | 2,38 | 35,6 | 7,12 | 8,16 | 92 |
| 16 | 1,19 | 150 | 30 | 38,16 | 62 |
| 30 | 0,59 | 192,8 | 38,56 | 76,72 | 23,44 |
| 50 | 0,297 | 102 | 20,4 | 97,12 | 3,04 |
| 100 | 0,149 | 11 | 2,2 | 99,32 | 0,84 |
| 200 | 0,074 | 3 | 0,6 | 99,92 | 0,24 |
| FONDO | | 0,4 | 0,08 | 100 | 0,16 |
| | | 499,2 | | | |

Tabla 6. Granulometría Agregado Fino (Ensayo 3).

| | |
|-----|-------|
| Wi | 500 |
| Wii | 498,2 |
| Wt | 1,8 |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RET RET | % RETENIDO | % RET TOTAL | % PASA TOTAL |
|--------------|---------------|--------------|------------|-------------|--------------|
| No. 4 | 4,75 | 2,4 | 0,48 | 0,48 | 99,52 |
| 8 | 2,38 | 31,4 | 6,28 | 6,76 | 93,24 |
| 16 | 1,19 | 150,8 | 30,16 | 36,92 | 63,08 |
| 30 | 0,59 | 192,8 | 38,56 | 75,48 | 24,52 |
| 50 | 0,297 | 104 | 20,8 | 96,28 | 3,72 |
| 100 | 0,149 | 13,4 | 2,68 | 98,96 | 1,04 |
| 200 | 0,074 | 4,2 | 0,84 | 99,8 | 0,2 |
| FONDO | | 1 | 0,2 | 100 | 0 |
| | | 500 | | | |

| | |
|----|--------|
| MF | 3,1488 |
|----|--------|

7.1.2. Análisis Granulométrico Agregado Grueso.

Tabla 7. Granulometría Agregado Grueso (Ensayo 1).

| | |
|----|-----|
| Wi | 800 |
|----|-----|

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RET | % RETENIDO | % RET TOTAL | % PASA TOTAL |
|--------------|---------------|----------|------------|-------------|--------------|
| 1" | 25,4 | 0 | 0 | 0,575 | 100 |
| 3/4" | 19,05 | 164,2 | 20,525 | 21,1 | 79,475 |
| 1/2" | 12,7 | 577,4 | 72,175 | 93,275 | 7,3 |
| 3/8" | 9,52 | 49,8 | 6,225 | 99,5 | 1,075 |
| No. 4 | 4,75 | 3,6 | 0,45 | 99,95 | 0,625 |
| FONDO | | 0,4 | 0,05 | 100 | 0,575 |
| | | 795,4 | | | |

Tabla 8. Granulometría Agregado Grueso (Ensayo 2).

| | |
|----|-----|
| Wi | 800 |
|----|-----|

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RET | % RETENIDO | % RET TOTAL | % PASA TOTAL |
|--------------|---------------|----------|------------|-------------|--------------|
| 1" | 25,4 | 0 | 0 | 0,9 | 100 |
| 3/4" | 19,05 | 178,6 | 22,325 | 23,225 | 77,675 |
| 1/2" | 12,7 | 528,8 | 66,1 | 89,325 | 11,575 |
| 3/8" | 9,52 | 75 | 9,375 | 98,7 | 2,2 |
| No. 4 | 4,75 | 10,2 | 1,275 | 99,975 | 0,925 |
| FONDO | | 0,2 | 0,025 | 100 | 0,9 |
| | | 792,8 | | | |

Tabla 9. Granulometría Agregado Grueso (Ensayo 3).

| | |
|----|-----|
| Wi | 800 |
|----|-----|

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RET | % RETENIDO | % RET TOTAL | % PASA TOTAL |
|--------------|---------------|----------|------------|-------------|--------------|
| 1" | 25,4 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 3/4" | 19,05 | 270 | 33,75 | 33,75 | 66,25 |
| 1/2" | 12,7 | 454,4 | 56,8 | 90,55 | 9,45 |
| 3/8" | 9,52 | 74,2 | 9,275 | 99,825 | 0,175 |
| No. 4 | 4,75 | 1,2 | 0,15 | 99,975 | 0,025 |
| FONDO | | 0,2 | 0,025 | 100 | 0 |
| | | 800 | | | |

7.2. Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de los ángeles.

En la Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12, se muestran los ensayos de resistencia al desgaste de los agregados gruesos utilizados en la mezcla realizada en el laboratorio de ingeniería civil, del edificio K, en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Tabla 10. Resistencia al Desgaste (Ensayo 1).

| TAMIZ | | Peso de la fracción (gr) |
|-------|---------|--------------------------|
| Pasa | Retiene | |
| 3/4" | 1/2" | 2500 |
| 1/2" | 3/8" | 2500 |

| P ₁ | P ₂ | % DESGASTE |
|----------------|----------------|------------|
| 5000 | 3658,4 | 26,832 |

Tabla 11. Resistencia al Desgaste (Ensayo 2).

| TAMIZ | | Peso de la fracción (gr) |
|-------|---------|--------------------------|
| Pasa | Retiene | |
| 3/4" | 1/2" | 2500 |
| 1/2" | 3/8" | 2500 |

| P ₁ | P ₂ | % DESGASTE |
|----------------|----------------|------------|
| 5000 | 3612,2 | 27,756 |

Tabla 12. Resistencia al Desgaste (Ensayo 3).

| TAMIZ | | Peso de la fracción (gr) |
|-------|---------|--------------------------|
| Pasa | Retiene | |
| 3/4" | 1/2" | 2500 |
| 1/2" | 3/8" | 2500 |

| P ₁ | P ₂ | % DESGASTE |
|----------------|----------------|------------|
| 5000 | 3775,6 | 24,488 |

7.3. Gravedad específica y absorción de agregados finos.

Tabla 13. Gravedad Específica y Absorción agregado fino (Ensayo 1).

| | |
|---|-------|
| A | 494 |
| B | 638,4 |
| C | 947,2 |
| S | 500 |

| Gravedad específica bulk | Gravedad específica bulk saturada y superficie seca | Gravedad específica aparente | % de absorción |
|---------------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------|
| 2,584 | 2,615 | 2,667 | 1,215 |

Tabla 14. Gravedad Específica y Absorción agregado fino (Ensayo 2).

| | |
|---|-------|
| A | 495,2 |
| B | 638,4 |
| C | 948,6 |
| S | 500 |

| Gravedad específica bulk | Gravedad específica bulk saturada y superficie seca | Gravedad específica aparente | % de absorción |
|---------------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------|
| 2,609 | 2,634 | 2,677 | 0,969 |

Tabla 15. Gravedad Específica y Absorción agregado fino (Ensayo 3).

| | |
|---|-------|
| A | 494,8 |
| B | 638,4 |
| C | 947,8 |
| S | 500 |

| Gravedad específica bulk | Gravedad específica bulk saturada y superficie seca | Gravedad específica aparente | % de absorción |
|---------------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------|
| 2,596 | 2,623 | 2,669 | 1,051 |

7.4. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos.

Tabla 16. Gravedad Específica y Absorción agregado grueso (Ensayo 1)

| | |
|---|--------|
| A | 3401 |
| B | 3442,4 |
| C | 2055 |

| Gravedad específica bulk | Gravedad específica bulk saturada y superficie seca | Gravedad específica aparente | % de absorción |
|--------------------------|---|------------------------------|----------------|
| 2,451 | 2,481 | 2,527 | 1,217 |

Tabla 17. Gravedad Específica y Absorción agregado grueso (Ensayo 2)

| | |
|---|--------|
| A | 3116 |
| B | 3151,4 |
| C | 1910 |

| Gravedad específica bulk | Gravedad específica bulk saturada y superficie seca | Gravedad específica aparente | % de absorción |
|--------------------------|---|------------------------------|----------------|
| 2,510 | 2,539 | 2,584 | 1,136 |

Tabla 18. Gravedad Específica y Absorción agregados gruesos (Ensayo 3)

| | |
|---|--------|
| A | 3651,6 |
| B | 3690,2 |
| C | 2243 |

| Gravedad específica bulk | Gravedad específica bulk saturada y superficie seca | Gravedad específica aparente | % de absorción |
|--------------------------|---|------------------------------|----------------|
| 2,523 | 2,550 | 2,592 | 1,057 |

7.5. Equivalente de arena de suelos y agregados finos.

Tabla 19. Equivalente de arena de suelos y agregado fino (ensayo 1).

| ARENA | ARCILLA | % EQUIVALENCIA DE ARENA |
|--------------|----------------|--------------------------------|
| 3,7 | 3,7 | 100 |

Tabla 20. Equivalente de arena de suelos y agregado fino (ensayo 2).

| ARENA | ARCILLA | % EQUIVALENCIA DE ARENA |
|--------------|----------------|--------------------------------|
| 3,8 | 3,8 | 100 |

Tabla 21. Equivalente de arena de suelos y agregado fino (ensayo 3).

| ARENA | ARCILLA | % EQUIVALENCIA DE ARENA |
|--------------|----------------|--------------------------------|
| 3,9 | 4 | 97,5 |

7.6. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados.

Tabla 22. Porcentaje de caras fracturadas (Ensayo 1).

| TAMIZ | | Peso total de la muestra (gr) | Peso caras fracturadas del material (gr) | Peso caras no fracturadas del material (gr) |
|-------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|---|--|
| PASA | RETENIDO | | | |
| 1" | 3/4" | 178,6 | 178,6 | 0 |
| 3/4" | 1/2" | 478,8 | 478,8 | 0 |
| 1/2" | 3/8" | 75 | 75 | 0 |
| 3/8" | No.4 | 10,2 | 10,2 | 0 |
| PESO TOTAL | | 742,6 | 742,6 | 0 |
| Porcentaje Caras Fracturadas | | 100% | | |

Tabla 23. Porcentaje de caras fracturadas (Ensayo 2).

| TAMIZ | | Peso total de la muestra (gr) | Peso caras fracturadas del material (gr) | Peso caras no fracturadas del material (gr) |
|-------------------------------------|----------|-------------------------------|--|---|
| PASA | RETENIDO | | | |
| 1" | 3/4" | 164,2 | 164,2 | 0 |
| 3/4" | 1/2" | 577,4 | 572,05 | 5,35 |
| 1/2" | 3/8" | 49,8 | 49,8 | 0 |
| 3/8" | No.4 | 10,2 | 10,2 | 0 |
| PESO TOTAL | | 801,6 | 796,25 | 5,35 |
| Porcentaje Caras Fracturadas | | 99% | | |

Tabla 24. Porcentaje de caras fracturadas (Ensayo 3).

| TAMIZ | | Peso total de la muestra (gr) | Peso caras fracturadas del material (gr) | Peso caras no fracturadas del material (gr) |
|-------------------------------------|----------|-------------------------------|--|---|
| PASA | RETENIDO | | | |
| 1" | 3/4" | 271,2 | 271,2 | 0 |
| 3/4" | 1/2" | 454,8 | 449,57 | 5,23 |
| 1/2" | 3/8" | 74,4 | 74,4 | 0 |
| 3/8" | No.4 | 1,2 | 1,2 | 0 |
| PESO TOTAL | | 801,6 | 796,25 | 5,35 |
| Porcentaje Caras Fracturadas | | 99% | | |

7.7. Masa unitaria, rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.

Tabla 25. Masa unitaria agregado fino (Ensayo 1).

| Agregado Fino | | |
|-----------------------------------|---------|----------|
| Peso molde (g) | 3086 | |
| Volumen molde (cm ³) | 2188,43 | |
| | Suelta | Compacta |
| Masa molde y agregado | 10754 | 11258 |
| Masa molde y agregado | 10717 | 11327 |
| Masa molde y agregado | 10728 | 11378 |
| Masa de los agregados | 7668 | 8172 |
| Masa de los agregados | 7631 | 8241 |
| Masa de los agregados | 7642 | 8292 |
| Masa promedio | 7647 | 8235 |
| Masa Unitaria(g/cm ³) | 3,49 | 3,76 |

Tabla 26. Masa unitaria agregado grueso (Ensayo 1).

| Agregado Grueso | | |
|-----------------------------------|---------|----------|
| Peso molde (g) | 3086 | |
| Volumen molde (cm ³) | 2188,43 | |
| | Suelta | Compacta |
| Masa molde y agregado | 10048 | 10596 |
| Masa molde y agregado | 9962 | 10773 |
| Masa molde y agregado | 10165 | 10700 |
| Masa de los agregados | 6962 | 7510 |
| Masa de los agregados | 6876 | 7687 |
| Masa de los agregados | 7079 | 7614 |
| Masa promedio | 6972 | 7604 |
| Masa Unitaria(g/cm ³) | 3,19 | 3,47 |

Tabla 27. Masa unitaria agregado fino (Ensayo 2).

| Agregado Fino | | |
|-----------------------------------|---------|----------|
| Peso molde (g) | 3086 | |
| Volumen molde (cm ³) | 2188,43 | |
| | Suelta | Compacta |
| Masa molde y agregado | 10726 | 11333 |
| Masa molde y agregado | 10786 | 11288 |
| Masa molde y agregado | 10682 | 11315 |
| Masa de los agregados | 7640 | 8247 |
| Masa de los agregados | 7700 | 8202 |
| Masa de los agregados | 7596 | 8229 |
| Masa promedio | 7645,33 | 8226 |
| Masa Unitaria(g/cm ³) | 3,49 | 3,76 |

Tabla 28. Masa unitaria agregado grueso (Ensayo 2).

| Agregado Grueso | | |
|-----------------------------------|---------|----------|
| Peso molde (g) | 3086 | |
| Volumen molde (cm ³) | 2188,43 | |
| | Suelta | Compacta |
| Masa molde y agregado | 9834 | 10520 |
| Masa molde y agregado | 10254 | 10713 |
| Masa molde y agregado | 10234 | 10818 |
| Masa de los agregados | 6748 | 7434 |
| Masa de los agregados | 7168 | 7627 |
| Masa de los agregados | 7148 | 7732 |
| Masa promedio | 7021 | 7598 |
| Masa Unitaria(g/cm ³) | 3,21 | 3,47 |

Tabla 29. Masa unitaria agregado fino (Ensayo 3).

| Agregado Fino | | |
|-----------------------------------|---------|----------|
| Peso molde (g) | 3086 | |
| Volumen molde (cm ³) | 2188,43 | |
| | Suelta | Compacta |
| Masa molde y agregado | 10735 | 11347 |
| Masa molde y agregado | 10742 | 11377 |
| Masa molde y agregado | 10782 | 11276 |
| Masa de los agregados | 7649 | 8261 |
| Masa de los agregados | 7656 | 8291 |
| Masa de los agregados | 7696 | 8190 |
| Masa promedio | 7667 | 8247,33 |
| Masa Unitaria(g/cm ³) | 3,50 | 3,77 |

Tabla 30. Masa unitaria agregado grueso (Ensayo 3).

| Agregado Grueso | | |
|-----------------------------------|---------|----------|
| Peso molde (g) | 3086 | |
| Volumen molde (cm ³) | 2188,43 | |
| | Suelta | Compacta |
| Masa molde y agregado | 10211 | 10795 |
| Masa molde y agregado | 10145 | 10830 |
| Masa molde y agregado | 9942 | 10571 |
| Masa de los agregados | 7125 | 7709 |
| Masa de los agregados | 7059 | 7744 |
| Masa de los agregados | 6856 | 7485 |
| Masa promedio | 7013 | 7646 |
| Masa Unitaria(g/cm ³) | 3,20 | 3,49 |

7.8. Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados.

Tabla 31. Índice de aplanamiento y alargamiento (Ensayo 1).

| TAMIZ | | | Peso retenido (gr) | Peso Aplanamiento | Peso Alargamiento |
|-------------------------------|---|------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1" | - | 3/4" | 288 | 17 | 271 |
| 3/4" | - | 1/2" | 459,2 | 78,8 | 380,4 |
| 1/2" | - | 3/8" | 43,6 | 6 | 38,6 |
| 3/8" | - | No4 | 0 | 0 | 0 |
| INDICE DE APLANAMIENTO | | | 13% | | |
| INDICE DE ALARGAMIENTO | | | 87% | | |

Tabla 32. Índice de aplanamiento y alargamiento (Ensayo 2).

| TAMIZ | | | Peso retenido (gr) | Peso Aplanamiento | Peso Alargamiento |
|-------------------------------|---|------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1" | - | 3/4" | 234,2 | 55,4 | 178,8 |
| 3/4" | - | 1/2" | 531,8 | 115,4 | 416,4 |
| 1/2" | - | 3/8" | 44 | 6 | 38 |
| 3/8" | - | No4 | 0 | 0 | 0 |
| INDICE DE APLANAMIENTO | | | 22% | | |
| INDICE DE ALARGAMIENTO | | | 78% | | |

Tabla 33. Índice de aplanamiento y alargamiento (Ensayo 3).

| TAMIZ | | | Peso retenido (gr) | Peso Aplanamiento | Peso Alargamiento |
|-------------------------------|---|------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1" | - | 3/4" | 204,8 | 40,4 | 164,4 |
| 3/4" | - | 1/2" | 532,6 | 45,8 | 486,8 |
| 1/2" | - | 3/8" | 40,8 | 4,6 | 36,2 |
| 3/8" | - | No4 | 0 | 0 | 0 |
| INDICE DE APLANAMIENTO | | | 12% | | |
| INDICE DE ALARGAMIENTO | | | 88% | | |

7.9. Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados.

Tabla 34. Determinación de terrones de arcilla en los Agregados Gruesos.

| TAMIZ | Peso antes del lavado (gr) | Peso después del lavado y secado (gr) |
|--|----------------------------|---------------------------------------|
| 3/4" | 3000 | 2997,4 |
| 1/2" | - | - |
| 3/8" | 2000 | 1995,6 |
| No4 | - | - |
| TOTALES | 5000 | 4993 |
| % Arcilla y partículas deleznable | 0,14% | |

Tabla 35. Determinación de terrones de arcilla en los Agregados Finos.

| TAMIZ | Peso retenido antes del lavado (gr) | Peso retenido después del lavado y secado (gr) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--|
| No. 16 | 25 | 24,8 |
| TOTALES | 25 | 24,8 |
| % Arcilla y partículas deleznales | 0,80% | |

7.10. Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados.

Tabla 36. Humedad Agregado Grueso.

| MUESTRA | PESO SECO AMBIENTE | PESO SECO HORNO |
|---------|--------------------|-----------------|
| 1 | 188 | 187,6 |
| 2 | 129,3 | 129,0 |

| | | |
|---|-------|-----------|
| P | 0,213 | % humedad |
| P | 0,233 | % humedad |

| | | |
|-------------------|-------|-----------|
| P _{prom} | 0,223 | % humedad |
|-------------------|-------|-----------|

Tabla 37. Humedad Agregado Fino.

| MUESTRA | PESO SECO AMBIENTE | PESO SECO HORNO |
|---------|--------------------|-----------------|
| 1 | 109,0 | 99,6 |
| 2 | 117,4 | 105,2 |

| | | |
|---|--------|-----------|
| P | 9,438 | % humedad |
| P | 11,597 | % humedad |

| | | |
|-------------------|--------|-----------|
| P _{prom} | 10,517 | % humedad |
|-------------------|--------|-----------|

7.11. Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos.

Después de realizado el ensayo se puede afirmar que la arena no posee componentes orgánicos perjudiciales, ya que la muestra no tuvo alteración en su coloración.

8. DISEÑO DE MEZCLA.

En esta parte del trabajo se realiza el diseño de mezcla con los resultados obtenidos en las pruebas preliminares realizadas a los materiales que componen esta mezcla.

Como primera medida se realizaron las granulometrías de tres (3) muestras de agregado grueso y tres (3) granulometrías de muestras de agregado fino y el promedio que se obtuvo entre todos es el que se muestra en la Figura 28 y la Figura 29.

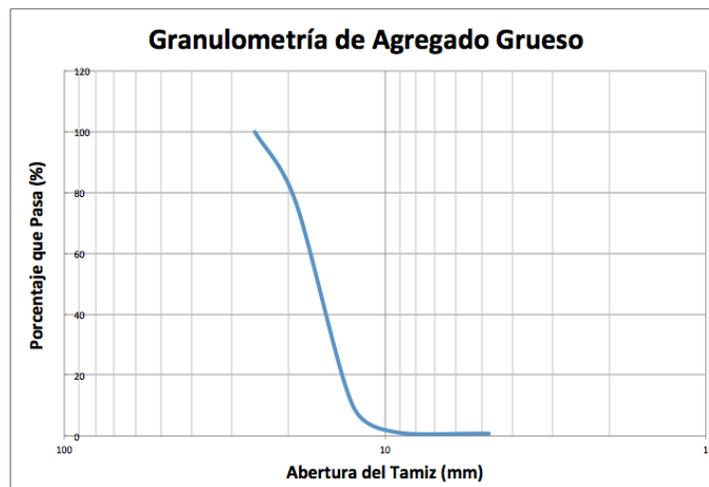


Figura 28. Gráfica de Granulometría Promedio Agregado Grueso.

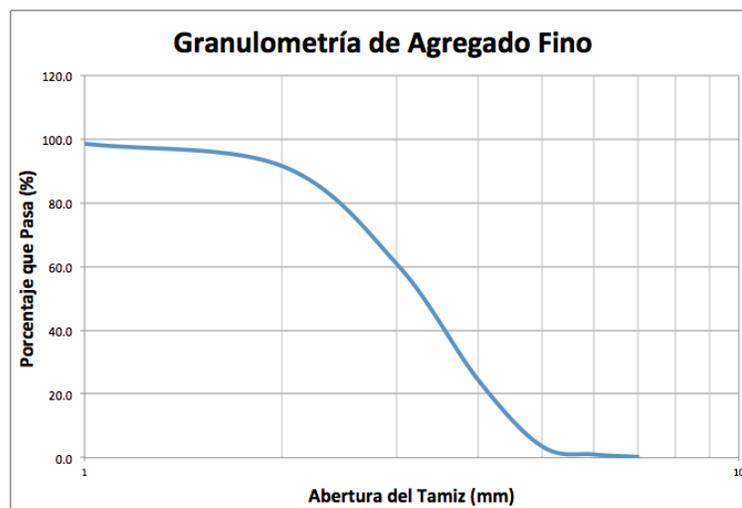


Figura 29. Gráfica de Granulometría Promedio Agregado Fino.

Como las granulometrías encontradas en los ensayos de laboratorio del agregado grueso y agregado fino, se procede a realizar un análisis de la proporción de agregado grueso y agregado fino, de tal manera que cumpla la relación gravimétrica exigida.

A continuación, se observa el resultado de este análisis en la Figura 30.

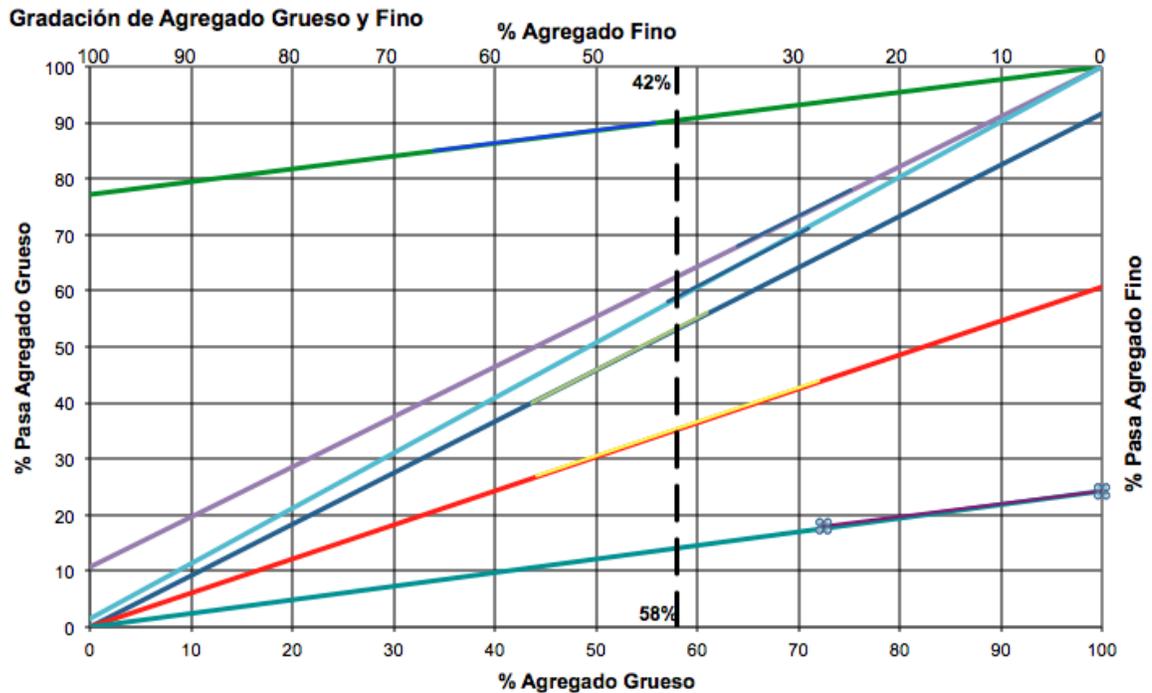


Figura 30. Distribución de porcentajes agregado grueso y fino.

Con la proporción anterior de la gradación de los agregados gruesos y finos, se procede a determinar todos los parámetros del diseño de mezcla para establecer las proporciones de los diferentes materiales que lo componen.

Los datos iniciales utilizados en el diseño de mezcla son:

| | |
|---------------------|--------|
| Asentamiento → | 10 cm |
| TMN → | 1" |
| % Aire → | 1.5% |
| Relación a/c → | 0.58 |
| f'c → | 21 MPa |
| % Agregado Grueso → | 58% |
| % Agregado Fino → | 42% |

Después de obtener los datos iniciales mostrados se procede a realizar el diseño de mezcla sin ajuste de agua, como se observa en la Tabla 38, con la distribución de porcentajes de agregado grueso y fino mostrado en la Figura 30.

Tabla 38. Diseño de Concreto sin Ajuste de Agua.

| Material | Peso (kg) | Densidad (kg/m³) | Volumen (m³) |
|-----------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Aire | 0.0 | 0.0 | 0.015 |
| Agua | 194.6 | 1000 | 0.195 |
| Cemento | 335.5 | 3130 | 0.107 |
| Agregado Grueso | 967.2 | 2620 | 0.388 |
| Agregado Fino | 760.0 | 2420 | 0.314 |

Cuando se tiene en cuenta la absorción de agua de los agregados se procede a realizar el ajuste del agua, como se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39. Diseño de Concreto con Ajuste de Agua.

| Material | Peso (kg) | Densidad (kg/m³) | Volumen (m³) |
|-----------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Aire | 0.0 | 0.0 | 0.015 |
| Agua | 207.97 | 1000 | 0.195 |
| Cemento | 335.52 | 3130 | 0.107 |
| Agregado Grueso | 968.74 | 2620 | 0.388 |
| Agregado Fino | 763.68 | 2420 | 0.314 |

Con el diseño encontrado en la Tabla 39, se obtienen los porcentajes específicos para la mezcla necesaria en laboratorio y se procede, con esos mismos valores y con las densidades de los materiales a determinar los pesos de materiales necesarios para realizar las muestras en laboratorio.

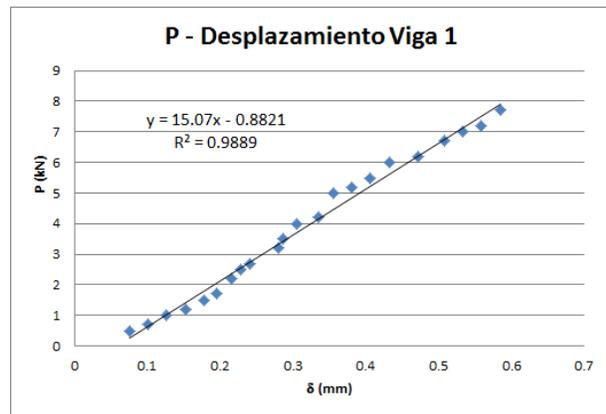
9. RESULTADOS DE VIGAS REFORZADAS, NO REFORZADAS Y CILINDROS DE CONCRETO.

En este capítulo se muestran los resultados de las vigas reforzadas, no reforzadas y el ensayo de compresión, que se desarrollaron en este estudio piloto.

9.1. Resultados Módulo Elasticidad Flexión Vigas No Reforzadas.

En la Figura 32, Figura 32, Figura 33 y Figura 34, se observan los resultados de los ensayos de las vigas que no presentaban refuerzo de acero, a una edad de 7 días, para la prueba piloto de este trabajo de grado.

| Lectura | δ (mm) | P (kN) |
|---------|---------------|--------|
| 1 | 0.0762 | 0.5 |
| 2 | 0.1016 | 0.7 |
| 3 | 0.127 | 1 |
| 4 | 0.1524 | 1.2 |
| 5 | 0.1778 | 1.5 |
| 6 | 0.19558 | 1.7 |
| 7 | 0.2159 | 2.2 |
| 8 | 0.2286 | 2.5 |
| 9 | 0.2413 | 2.7 |
| 10 | 0.2794 | 3.2 |
| 11 | 0.28702 | 3.5 |
| 12 | 0.3048 | 4 |
| 13 | 0.33528 | 4.2 |
| 14 | 0.3556 | 5 |
| 15 | 0.381 | 5.2 |
| 16 | 0.4064 | 5.5 |
| 17 | 0.4318 | 6 |
| 18 | 0.47244 | 6.2 |
| 19 | 0.508 | 6.7 |
| 20 | 0.5334 | 7 |
| 21 | 0.5588 | 7.2 |
| 22 | 0.5842 | 7.7 |

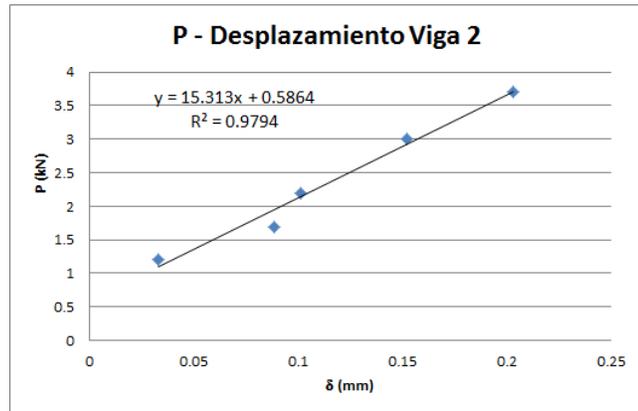


$$E = 1175.588 \text{ MPa}$$

Figura 31. Resultados de Fuerza y Deformación Viga 1. No Reforzada.

Se observa en la Figura 31, que los datos muestran una relación, casi, perfectamente lineal, lo que muestra que los datos tomados a pequeños intervalos de tiempo en el laboratorio, muestra buenos resultados.

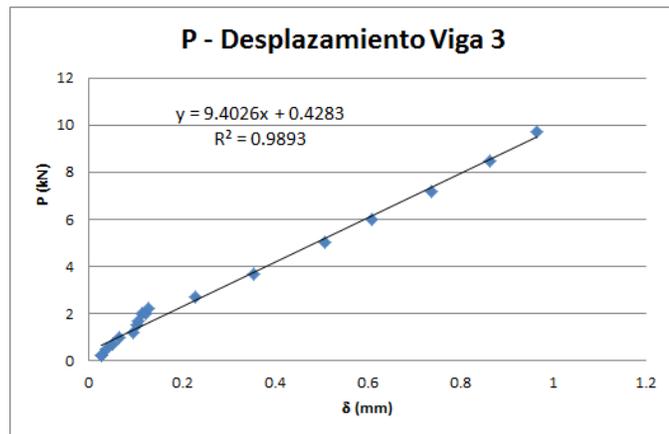
| δ (mm) | P (kN) |
|---------------|--------|
| 0.03302 | 1.2 |
| 0.0889 | 1.7 |
| 0.1016 | 2.2 |
| 0.1524 | 3 |
| 0.2032 | 3.7 |



E = 1220.05 MPa

Figura 32. Resultados de Fuerza y Deformación Viga 2. No Reforzada.

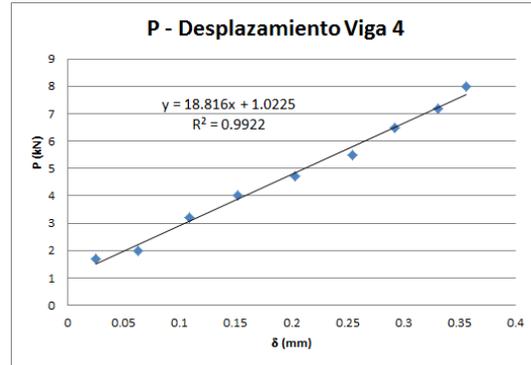
| δ (mm) | P (kN) |
|---------------|--------|
| 0.0254 | 0.2 |
| 0.0254 | 0.2 |
| 0.0381 | 0.5 |
| 0.0508 | 0.7 |
| 0.0635 | 1 |
| 0.09398 | 1.2 |
| 0.1016 | 1.5 |
| 0.10668 | 1.7 |
| 0.1143 | 2 |
| 0.12192 | 2 |
| 0.127 | 2.2 |
| 0.2286 | 2.7 |
| 0.3556 | 3.7 |
| 0.508 | 5 |
| 0.6096 | 6 |
| 0.7366 | 7.2 |
| 0.8636 | 8.5 |
| 0.9652 | 9.7 |



E = 770.597 MPa

Figura 33. Resultados de Fuerza y Deformación Viga 3. No Reforzada.

| δ (mm) | P (kN) |
|---------------|--------|
| 0.0254 | 1.7 |
| 0.0635 | 2 |
| 0.10922 | 3.2 |
| 0.1524 | 4 |
| 0.2032 | 4.7 |
| 0.254 | 5.5 |
| 0.2921 | 6.5 |
| 0.3302 | 7.2 |
| 0.3556 | 8 |



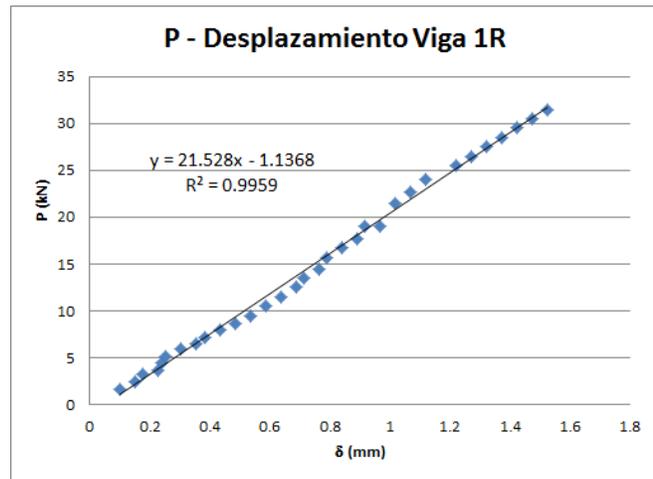
E = 1590.1 MPa

Figura 34. Resultados de Fuerza y Deformación Viga 4. No Reforzada.

9.2. Resultados Módulo Elasticidad Flexión Vigas Reforzadas.

En la Figura 35, Figura 36, Figura 37 y Figura 38 , se observan los resultados de los ensayos de las vigas que presentaban refuerzo de acero.

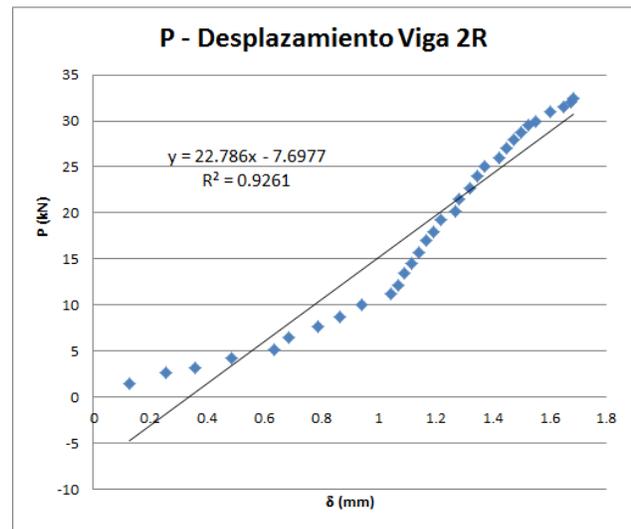
| δ (mm) | P (kN) |
|---------------|--------|
| 0.1016 | 1.7 |
| 0.1524 | 2.5 |
| 0.1778 | 3.2 |
| 0.2286 | 3.7 |
| 0.2413 | 4.5 |
| 0.254 | 5.2 |
| 0.3048 | 6 |
| 0.3556 | 6.5 |
| 0.381 | 7.2 |
| 0.4318 | 8 |
| 0.4826 | 8.7 |
| 0.5334 | 9.5 |
| 0.5842 | 10.5 |
| 0.635 | 11.5 |
| 0.6858 | 12.5 |
| 0.7112 | 13.5 |
| 0.762 | 14.5 |
| 0.7874 | 15.7 |
| 0.8382 | 16.7 |
| 0.889 | 17.7 |
| 0.9144 | 19 |
| 0.9652 | 19 |
| 1.016 | 21.5 |
| 1.0668 | 22.7 |
| 1.1176 | 24 |
| 1.2192 | 25.5 |
| 1.27 | 26.5 |
| 1.3208 | 27.5 |
| 1.3716 | 28.5 |
| 1.4224 | 29.5 |
| 1.4732 | 30.5 |
| 1.524 | 31.5 |



E = 1066.2 MPa

Figura 35. Resultados de Fuerza y Deformación Viga 1R. Reforzada.

| δ (mm) | P (kN) |
|---------------|--------|
| 0.127 | 1.5 |
| 0.254 | 2.7 |
| 0.3556 | 3.2 |
| 0.4826 | 4.2 |
| 0.635 | 5.2 |
| 0.6858 | 6.5 |
| 0.7874 | 7.7 |
| 0.8636 | 8.7 |
| 0.9398 | 10 |
| 1.0414 | 11.2 |
| 1.0668 | 12.2 |
| 1.0922 | 13.5 |
| 1.1176 | 14.5 |
| 1.143 | 15.7 |
| 1.1684 | 17 |
| 1.1938 | 18 |
| 1.2192 | 19.2 |
| 1.27 | 20.2 |
| 1.2827 | 21.5 |
| 1.3208 | 22.7 |
| 1.3462 | 24 |
| 1.3716 | 25 |
| 1.4224 | 26 |
| 1.4478 | 27 |
| 1.4732 | 28 |
| 1.4986 | 28.7 |
| 1.524 | 29.5 |
| 1.5494 | 30 |
| 1.6002 | 31 |
| 1.651 | 31.5 |
| 1.6764 | 32 |
| 1.68402 | 32.5 |



E = 1189.8 MPa

Figura 36. Resultados de Fuerza y Deformación Viga 2R. Reforzada.

Se puede observar en la Tabla 36, Figura 35, Figura 36, Figura 37 y Figura 38, que los resultados de deformación y fuerza que se tomaron en laboratorio son más que los obtenidos en las vigas no reforzadas, por cuanto la viga reforzada soporta más carga que la no reforzada.

| δ (mm) | P (kN) |
|---------------|--------|
| 0.1016 | 2 |
| 0.1524 | 2.7 |
| 0.254 | 3.7 |
| 0.3302 | 4.5 |
| 0.4064 | 5.2 |
| 0.508 | 6.5 |
| 0.5842 | 7.2 |
| 0.6604 | 8.5 |
| 0.75184 | 9.2 |
| 0.8128 | 10.2 |
| 0.889 | 11 |
| 0.9398 | 11.7 |
| 1.0414 | 12.5 |
| 1.0668 | 13.5 |
| 1.1176 | 14.2 |
| 1.143 | 15 |
| 1.2192 | 15.7 |
| 1.3208 | 16.5 |
| 1.3462 | 17.2 |
| 1.3589 | 17.7 |
| 1.4478 | 18.5 |
| 1.4986 | 19.5 |
| 1.5748 | 20.2 |
| 1.6256 | 21 |
| 1.6764 | 22 |
| 1.7272 | 22.7 |
| 1.8034 | 23.5 |
| 1.8542 | 24 |
| 1.905 | 24.7 |
| 1.9812 | 25.5 |
| 2.0574 | 26 |
| 2.1082 | 27 |
| 2.1844 | 27.5 |
| 2.2606 | 28 |
| 2.413 | 28.7 |
| 2.4384 | 29.7 |
| 2.5146 | 30.5 |
| 2.6162 | 31.2 |
| 2.667 | 32.7 |
| 2.794 | 33.5 |
| 2.9972 | 34.7 |
| 3.048 | 35.5 |

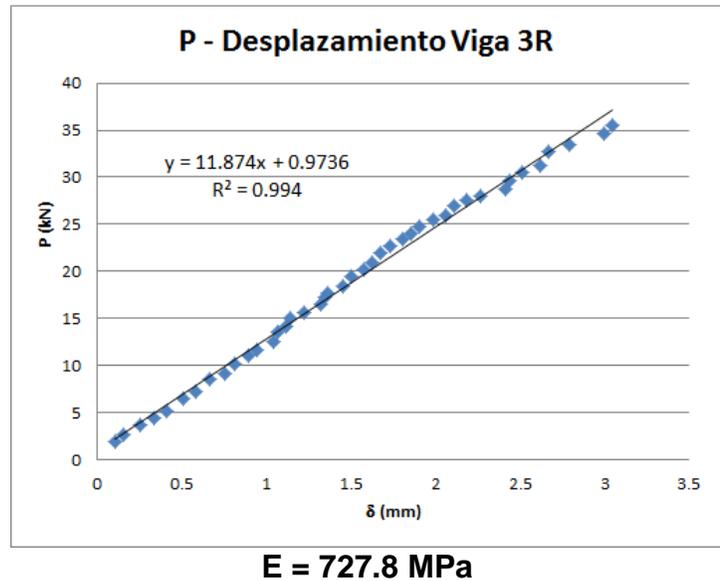
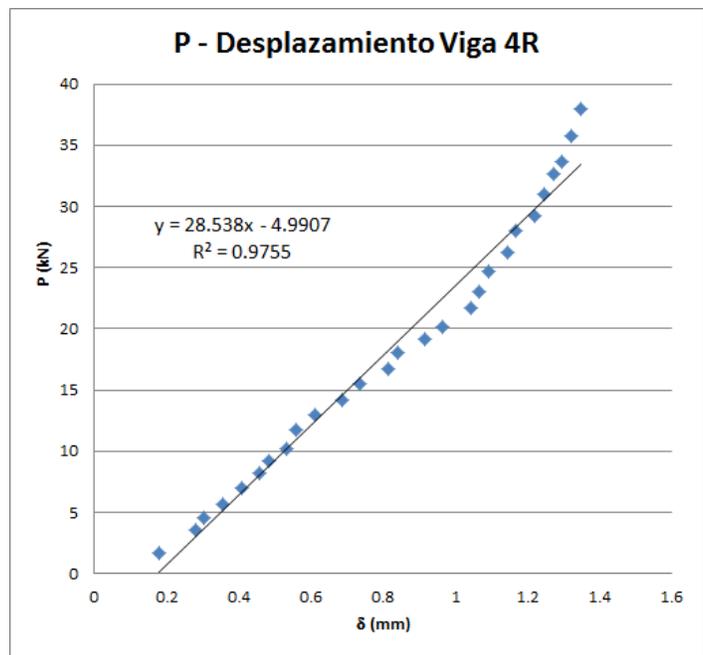


Figura 37. Resultados de Fuerza y Deformación Viga 3R. Reforzada.

| δ (mm) | P (kN) |
|---------------|--------|
| 0.1778 | 1.7 |
| 0.2794 | 3.5 |
| 0.3048 | 4.5 |
| 0.3556 | 5.7 |
| 0.4064 | 7 |
| 0.4572 | 8.2 |
| 0.4826 | 9.2 |
| 0.5334 | 10.2 |
| 0.5588 | 11.7 |
| 0.6096 | 13 |
| 0.6858 | 14.2 |
| 0.7366 | 15.5 |
| 0.8128 | 16.7 |
| 0.8382 | 18 |
| 0.9144 | 19.2 |
| 0.9652 | 20.2 |
| 1.0414 | 21.7 |
| 1.0668 | 23 |
| 1.0922 | 24.7 |
| 1.143 | 26.2 |
| 1.1684 | 28 |
| 1.2192 | 29.2 |
| 1.2446 | 31 |
| 1.27 | 32.7 |
| 1.2954 | 33.7 |
| 1.3208 | 35.7 |
| 1.3462 | 38 |



E = 1709.3 MPa

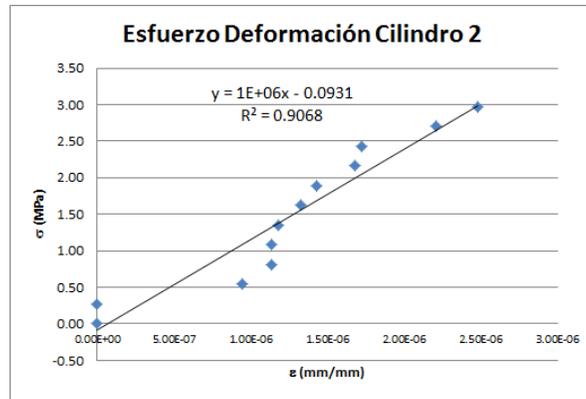
Figura 38. Resultados de Fuerza y Deformación Viga 4R. Reforzada.

9.3. Ensayo de Módulo de Elasticidad en Cilindros de Concreto.

Es importante aclarar en este punto, que el ensayo de módulo de elasticidad del concreto se desarrolló únicamente con las muestras de la mezcla de la viga 2 y viga 2R hasta la viga 4 y viga 4R.

A continuación se muestran los resultados en la Figura 39, Figura 40 y Figura 41, de estos ensayos y el valor del módulo de elasticidad para cada una de estas muestras.

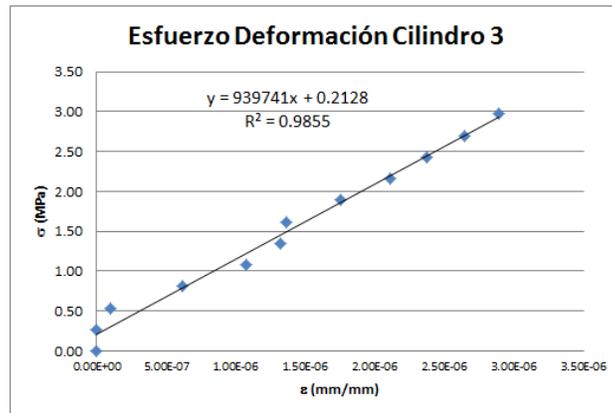
| ϵ_{Lprom} | Esfuerzo (MPa) |
|--------------------|----------------|
| 0.00E+00 | 0.00 |
| 0.00E+00 | 0.27 |
| 9.47E-07 | 0.54 |
| 1.14E-06 | 0.81 |
| 1.14E-06 | 1.08 |
| 1.18E-06 | 1.35 |
| 1.33E-06 | 1.62 |
| 1.43E-06 | 1.89 |
| 1.68E-06 | 2.16 |
| 1.72E-06 | 2.43 |
| 2.21E-06 | 2.70 |
| 2.48E-06 | 2.97 |



E = 1243.05 MPa

Figura 39. Resultados de Cilindro de Concreto Mezcla 2.

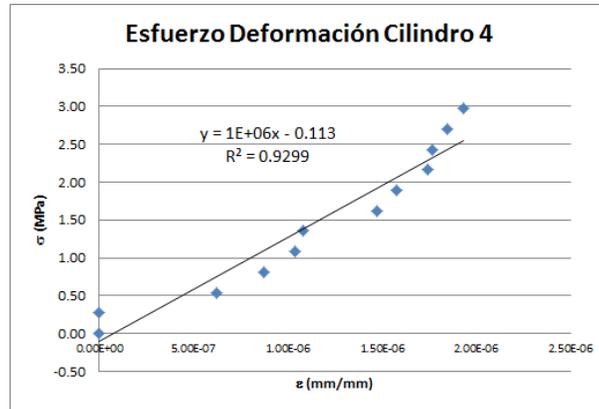
| ϵ_{Lprom} | Esfuerzo (MPa) |
|--------------------|----------------|
| 0.00E+00 | 0.00 |
| 0.00E+00 | 0.27 |
| 1.04E-07 | 0.54 |
| 6.20E-07 | 0.81 |
| 1.07E-06 | 1.08 |
| 1.32E-06 | 1.35 |
| 1.36E-06 | 1.62 |
| 1.76E-06 | 1.89 |
| 2.11E-06 | 2.16 |
| 2.38E-06 | 2.43 |
| 2.64E-06 | 2.70 |
| 2.89E-06 | 2.97 |



E = 938.85 MPa

Figura 40. Resultados de Cilindro de Concreto Mezcla 3.

| ϵ_{Lprom} | Esfuerzo (MPa) |
|--------------------|----------------|
| 0.00E+00 | 0.00 |
| 0.00E+00 | 0.27 |
| 6.24E-07 | 0.54 |
| 8.72E-07 | 0.81 |
| 1.04E-06 | 1.08 |
| 1.08E-06 | 1.35 |
| 1.47E-06 | 1.62 |
| 1.58E-06 | 1.89 |
| 1.74E-06 | 2.16 |
| 1.76E-06 | 2.43 |
| 1.85E-06 | 2.70 |
| 1.93E-06 | 2.97 |



E = 1366.34 MPa

Figura 41.

Resultados de Cilindro de Concreto Mezcla 4.

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Realizando la comparación de los módulos de elasticidad de los diferentes elementos que se realizaron para este estudio piloto, a edades tempranas, se tiene el resumen de los resultados obtenidos en la Tabla 40.

Es importante aclarar, que aunque se determinó el valor del módulo de elasticidad del concreto con el Reglamento NSR10, se observa que estos resultados son muy alejados, se considera que este factor se está presentando, porque el estudio piloto se desarrolló a edades tempranas.

Tabla 40. Resumen de Módulos de Elasticidad del Concreto Prueba Piloto.

| Muestra No | $E_{flexión}$ (MPa) Sin Refuerzo | $E_{flexión}$ (MPa) Con Refuerzo | E compresión (MPa) | f'_c (MPa) | E NSR10 (Mpa) |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------|------------------|
| 1 | 1175.6 | 1066.2 | - | 7.374 | 12763.28 |
| 2 | 1220.1 | 1189.8 | 1243.05 | 6.255 | 11754.67 |
| 3 | 770.6 | 727.8 | 938.85 | 9.224 | 14274.32 |
| 4 | 1590.1 | 1709.3 | 1366.34 | 7.727 | 13065.09 |

El módulo de elasticidad de la muestra No 1, no se encuentra, ya que se requería probar esta muestra para obtener el valor de carga máxima que soportarían los cilindros y allí si proceder a desarrollar los ensayos del módulo de elasticidad del resto de cilindros. Es importante tener en cuenta hacer parejas de datos de la misma mezcla para poder determinar el módulo de elasticidad de las mezclas específicas y comparar.

En la Figura 42, se observa la comparación entre las vigas reforzadas, no reforzadas y el módulo de elasticidad del concreto a compresión, el análisis no se desarrolla con el módulo obtenido con el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR10, por la diferencia tan alta de valores.

Es importante observar que los datos de módulo de elasticidad en vigas reforzadas y no reforzadas, dan muy similares, lo cual muestra que, independiente del refuerzo que tiene el concreto en los diferentes elementos, el módulo de elasticidad de este material, depende única y exclusivamente del concreto.

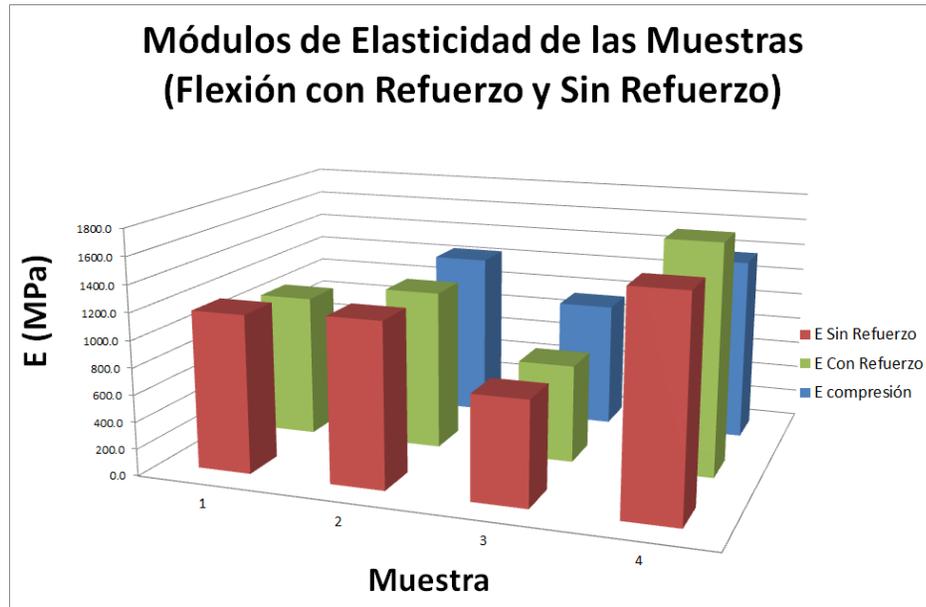


Figura 42. Módulos de Elasticidad del Concreto en Vigas Reforzadas, No Reforzadas y Cilindros de Concreto.

11. CONCLUSIONES

Se determinó el módulo de elasticidad del concreto en el ensayo de vigas reforzadas y no reforzadas y se observó que independientemente que el elemento esté reforzado, los valores del módulo de elasticidad son los mismos, además comparado con el módulo de elasticidad obtenido con los cilindros de concreto, se observó que los valores son muy similares, por lo cual el estudio piloto denota que se deben seguir trabajando las comparaciones, para poder validar el ensayo de módulo de elasticidad sobre cilindros de concreto.

Aunque se está trabajando con datos de resistencia a los 7 días es conveniente investigar un poco más de donde se obtiene la ecuación del módulo de elasticidad del concreto, respecto al obtenido con los ensayos en Colombia, por cuanto se está presentando una alta diferencia entre estos valores y es importante analizar esta propiedad, ya que es directamente proporcional a la propiedad de deriva en las edificaciones y se está colocando un valor de módulo muy alto, respecto al que realmente se presenta en las estructuras.

No se comparó con el módulo de elasticidad obtenido con la ecuación establecida por el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, ya que el valor obtenido es mayor 10 veces más que el obtenido con los ensayos, ya que estos se realizan a edades tempranas y no hay punto de comparación hasta obtener el máximo valor de su resistencia a los 28 días.

Se observó en las muestras que independiente del acero de refuerzo, el módulo de elasticidad encontrado en la flexión es el mismo en ambos elementos y los valores del módulo de elasticidad en los cilindros de compresión también presentan unos valores muy similares.

12. RECOMENDACIONES

Verificar si los aparatos de medida de las deformaciones de las vigas y el cilindro están arrojando datos coherentes, ya que el error se puede presentar en esta medida, que es la que hace variar de esa manera el ensayo.

Es importante realiza la pareja de cilindros para realizar el módulo de elasticidad de los cilindros de concreto, ya que se pierde la primera muestra, para saber el valor de la carga máxima en la mezcla y hasta un 40% de esa carga probar los cilindros del módulo.

Se recomienda continuar con este estudio, realizarlo más a fondo que un estudio piloto, para poder comprobar que con un concreto normal, los valores del módulo de elasticidad (reforzado o no reforzado) son iguales, importante anotar que no a edades tempranas como en este estudio si no a 28 días y más.

Se recomienda adicionalmente, empezar a mencionar este tipo de resultados para alertar a los gremios constructores, ya que los resultados del módulo de elasticidad obtenido en laboratorio difiere en un valor alto respecto al propuesto por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10.

13. BIBLIOGRAFÍA

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10. Enero 2011. Título C. Literal C.8.5.1 Pagina C-62.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR98. Enero 1999. Título C. Literal C.8.5.4 Pagina C-53.

Hernández S., Adriana. Determinación de los Módulos de Elasticidad de Concreto producido con los diferentes materiales existentes en Bucaramanga y su Área Metropolitana. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Civil. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga 2004.

Torrado G., Luz M. Porras A., Natalia A. Determinación de las Ecuaciones del Módulo de Elasticidad Estático y Dinámico del Concreto Producido en Bucaramanga y su Área Metropolitana. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Civil. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga 2009.

Carvajal B., Manuel F., González B., Edison A. Comparación de los Módulos de Elasticidad de Concreto Normal, con el Ensayo de Compresión y el Ensayo de Flexión. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Civil. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga 2009.

Sánchez De Guzmán, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Bhandar Editores. Edición Quinta 2011.

Association Standard Test Materials. C1609/C1609M-12. Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading). 2012 Consultado Marzo 20 en http://enterprise.astm.org/filtrexx40.cgi?+REDLINE_PAGES/C1609C1609M.htm.

Association Standard Test Materials. C469/C469M-10. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. 2012 Consultado Marzo 20 en http://enterprise.astm.org/filtrexx40.cgi?+REDLINE_PAGES/C469C469M.htm.

Asociación Nacional Técnica de Estabilización de Suelos y Reciclado de Firmes. Madrid, España. En Línea, <http://www.anter.es/pdf/L1.pdf>

El Cemento. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. España. En Línea, http://ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179

MORGUES, A. Procesos de hidratación del cemento y microestructura del hormigón. E.T.S.I Caminos, Canales y Puertos. En línea, <http://prltap.org/eng/wp-content/uploads/2013/02/Microestructura.pdf>

Hormigón. Arquitectura Técnica, Escuela de Ingeniería Técnica Civil. En Línea, http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod_resource/content/1/Hormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf

Materiales para la producción de concretos de alto desempeño. Capítulo II. En Línea, <http://www.concrete.0catch.com/Capitulo21.htm>

Hidratación del cemento portland. En Línea, <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.HidratacionCEMENTO.pdf>