Determinación del Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson en Concretos Estructurales con base al Diseño, Conceptualización y Fabricación de un equipo de ensayo adecuado para tal fin.

Br. Faria, Fernando

Tutor: Ing. Bonilla, Guillermo

Caracas, Junio de 2013

UCAB Universidad Católica ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: .....

JURADO EXAMINADOR

Firma: Firma: Firma:

Nombre: María Barrera Nombre: Guillermo Bonilla Nombre: .....

REALIZADO POR:

PROFESOR GUÍA: Guillermo Bonilla

FECHA: 15 - junio - 2013

Dedicatoria

Dedico el presente en especial:

En nombre de Mis padres Joao Luis y Lina Anais.

Mis hermanos, Luis y Juan.

Mi familia.

Mi Novia Luisa Cerrada.

Todas mis amistades que brindaron su apoyo incondicional.

Se les quiere.

Fernando Faria.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios por llegar a esta etapa de la vida y permitir cumplir esta grandiosa meta.

A todas las personas que brindaron su apoyo para la realización del Trabajo de Grado, en especial Andreina Osorio y Luisa Cerrada.

A los ingenieros Marlyn Silva y Javier Rodríguez por el interés y apoyo prestado durante el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a todo al Laboratorio de Estructuras y Patología de Concreto de la UCAB por brindar el apoyo logístico para la realización de los ensayos.

INDICE GENERAL

Dedicatoria ii

Agradecimientos iii

ÍNDICE DE TABLAS vii

RESUMEN xi

INTRODUCCION 1

CAPITULO I: EL PROBLEMA 2

1.1 Planteamiento del Problema **2**

1.2 Justificación de la Investigación **3**

1.3 Objetivos **4**

1.3.1 Objetivo General 4

1.3.2 Objetivos Específicos 4

1.4 Alcance y Limitaciones de la Investigación **5**

CAPITULO II: MARCO TEORICO 6

2.1. Antecedentes de la Investigación **6**

2.2. El Concreto. **7**

2.3. Concreto Estructural **8**

2.4. Características Reológicas del Concreto **8**

2.5. Diagrama Tensión Deformación del Concreto 9

2.6. Propiedades Mecánicas del Concreto Estructural 10

2.6.1. Fluencia. 10

2.6.2. Módulo de Elasticidad Estático (Ec) 10

2.6.2.1. Módulo Tangente 11

2.6.2.3. Módulo Secante 11

2.6.2.4. Módulo inicial 12

2.6.3. Relación de Poisson 12

2.7. Aspectos contemplados en la FONDONORMA 1753 (2006) 13

2.8. Aspectos contemplados en la ASTM C 469 (2002) 14

2.9. Aspectos contemplados en la ACI 318 (1998) 17

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO 19

3.1. Tipo y diseño de la investigación 19

3.2. Población y Muestra 19

3.1.1. Población 19

3.1.2. Muestra 19

3.3 Fases de la Investigación 20

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS 22

4.1. Concepción, arquitectura y fabricación de un equipo de ensayo para la medición del Módulo de Elasticidad Estático y Coeficiente de Poisson en probetas cilíndricas de concreto estructural. 22

4.2. Comportamiento mecánico del concreto estructural con base a la estimación del Módulo de Elasticidad Estático en probetas cilíndricas. 29

4.2.1 – Módulo de Elasticidad en función de las Resistencias 29

4.2.2 Módulo de Elasticidad en función de la Masa Unitaria 33

4.3. Comportamiento mecánico del concreto estructural con base a la estimación del Coeficiente de Poisson en probetas cilíndricas. 38

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 41

5.1. Conclusiones 41

5.2. Recomendaciones 42

CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 43

CAPITULO VII: ANEXOS 44

7.1. GLOSARIO 45

7.2. SIGLAS 47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de las piezas A y B de equipo de ensayo. 25

Tabla 2. Especificaciones finales para guías de desplazamiento longitudinal. 26

Tabla 3. Especificaciones de pieza base de transductor. 26

Tabla 4 Especificaciones de equipo ensayo deformación transversal. 27

Tabla 5. Resultado de Módulo de Elasticidad. 31

Tabla 6. Masa Unitaria con Módulo de Elasticidad..... 36

Tabla 7. Resultados de Relación de Poisson..... 38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación de desplazamiento de equipo de ensayo normativo. 15

Figura 2. Muestras de cilindros, Laboratorio de Estructuras y Patología del Concreto UCAB. 20

Figura 3 Equipo de medición de deformación longitudinal. 22

Figura 6 Fijación de pernos en equipo de ensayo 23

Figura 7 Base para transductor de desplazamiento 23

Figura 8. Equipo medición deformación transversal de cilindros. 24

Figura 9. Ajuste de equipo de fabricación propia. 25

Figura 10. Base en Plástico para los transductores desplazamiento. 26

Figura 11. Equipo base de medición de deformación transversal. 27

Figura 12. Nuevo equipo de ensayo 28

Figura 13. Realización de ensayo con programa de medición Andisoft. 28

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Diagrama Tensión Deformación del concreto 9

Gráfico 2. Diagrama Tensión Deformación a 0,40 fcr. 16

Gráfico 3. Curva de regresión de Módulo de Elasticidad. 32

Gráfico 4 Comparación Módulo Elasticidad vs Modulo Elasticidad Teórico. 33

Gráfico 5. Curva Regresión de Módulo de Elasticidad vs Masa Unitaria. 36

Gráfico 6. Relación entre Módulo de Elasticidad con Masa Unitaria, obtenido y teórico 37

Gráfico 7. Relación de Resistencia vs Relación de Poisson. 39

Gráfico 8. Relación entre Coeficiente de Poisson vs Módulo de Elasticidad 40

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Determinación Módulo Elasticidad Teórico. 13

Ecuación 2. Determinación Módulo Elasticidad mediante Gráfico. 16

Ecuación 3. Determinación Relación Poisson mediante Gráfico. 17

Ecuación 4. Determinación Módulo de Elasticidad y Masa Unitaria en función de la Resistencia 17

Ecuación 5 32

Ecuación 6 37

Ecuación 7 39

Ecuación 8 40

RESUMEN

En el análisis y diseño de estructuras en concreto, es utilizado el parámetro de Módulo de Elasticidad, conocido también como Módulo de Young, y el parámetro de Relación de Poisson para estimar el comportamiento del concreto en las estructuras.

En Venezuela, la norma de Proyecto y Construcción de Obras de Concreto Estructural 1753 (2006), plantea una ecuación de aproximación para determinar el Módulo de Elasticidad en concretos de peso normal por la ecuación: Ec= $15100*\sqrt{f`c}$ en (Kgf/cm^2), y el Coeficiente de Poisson en un valor constante de 0,20 si no se ha determinado experimentalmente.

En el presente estudio, se Conceptualiza, Diseña y Fabrica un equipo de ensayo capaz de realizar las mediciones de deformación en especímenes cilíndricos de concreto de una obra en la Ciudad de Caracas. Para la determinación de los parámetros de Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson en concreto.

Los resultados obtenidos de un total de 77 muestras, donde se compararon los resultados con los valores normativos, se observó con respecto a Módulo de Elasticidad vs Resistencia, que presenta un valor límite de 251kgf/cm^2 donde, valores inferiores, el Módulo de Elasticidad experimental es superior a los valores teóricos, mientras que superado el valor de resistencia mencionado, ocurre todo lo contrario.

La Relación de Poisson se comparó con el Módulo de Elasticidad obtenidos, encontrándose una relación en aumento del Coeficiente de Poisson a medida que aumenta el Módulo de Elasticidad, en el cual se proponen unas ecuaciones de cálculo experimental.

INTRODUCCION

La Resistencia del concreto depende de sus propiedades mecánicas, las cuales son necesarias para inferir las posibles deformaciones que podrían experimentar los elementos estructurales ante la acción de cargas.

El Módulo de Elasticidad del concreto es una propiedad mecánica que refleja la habilidad que tiene un concreto para deformarse elásticamente, la cuál puede ser obtenido aplicando cargas conocidas sobre un espécimen para evaluar la deformación del material.

El Coeficiente de Poisson está asociada a la relación existente entre la deformación longitudinal con respecto a la transversal de un espécimen de concreto sometido a una carga axial, donde se determina mediante un coeficiente cuan dúctil es el concreto ensayado.

Tomando en cuenta que el concreto es un material no homogéneo, su comportamiento no se puede predecir con exactitud. Por tal razón y en vista de lo necesario de la determinación del comportamiento del concreto, en el presente se Diseña un equipo de medición de deformación capaz de obtener experimentalmente el Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson mediante un ensayo a compresión de cilindros de concreto.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El uso masivo del concreto como principal material de construcción en Venezuela hace indispensable conocer todas sus propiedades mecánicas para garantizar diseños acertados de los proyectos; en este sentido, un aspecto importante del análisis de estructuras se relaciona con las deformaciones que causan las cargas aplicadas a las mismas.

Dos propiedades mecánicas de gran relevancia constituyen el Módulo de Elasticidad y el Coeficiente de Poisson; los cuales relacionan las deformaciones unitarias con el esfuerzo a que se somete el material en la dirección de la deformación y la correspondencia de estas primeras con las deformaciones transversales, respectivamente.

En Venezuela, el Módulo de Elasticidad usado en el diseño estructural está basado en los valores obtenidos de dos (02) fórmulas recomendadas en la Norma "Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural" (1753:06, Art. 8.5); una basada en el valor de la resistencia a la compresión y la otra en función del peso específico del material.

Cuando se obtiene el Módulo de Elasticidad por cualquiera de las fórmulas especificadas en la Norma, la medida obtenida es indirecta y está asociada al origen y composición de los componentes de la mezcla al ser el concreto un material heterogéneo.

Tanto el peso específico como la resistencia están estrechamente ligados a la estructura mineralógica de los agregados, los cuales varían de una región a otra del país.

Si bien las fórmulas presentadas en la referida Norma se basan en ensayos de laboratorio realizados con concretos de distintas regiones del mundo, los valores están

asociados a una curva de distribución normal con un porcentaje de fracción defectuosa, a saber del diez por ciento en este caso.

En lo referente al Coeficiente de Poisson, la Norma venezolana establece un valor de 0,20 (Art. 8.5) aunque deja abierta la posibilidad de determinar tanto este parámetro como el Módulo de Elasticidad Estático mediante el procedimiento establecido en la Norma ASTM C-469-02, sin especificar en qué casos.

El método propuesto en la Norma ASTM C-469-02 no permite obtener el valor del Coeficiente de Poisson de forma directa.

Por su cualidad de material heterogéneo, es evidente que la relación entre las deformaciones longitudinales y transversales no corresponde a un valor único. Tanto las características de los materiales constitutivos así como la preparación de la mezcla (Relación de vacíos) y todo el proceso de construcción de los cilindros a ensayar así como la manipulación y la realización de las medidas conforman un conjunto de fuentes de error que al ser sumadas a la utilización de una fórmula indirecta llevan a valores que no pueden ni deben ser tomados como verdades absolutas.

Es por ello que se plantea en el presente Trabajo de Grado la determinación del Módulo de Elasticidad Estático y el Coeficiente de Poisson por medio de un equipo que permita obtener estas magnitudes sin recurrir a las mencionadas formulas, disminuyendo fuentes de error en la medida.

Este equipo es de diseño, conceptualización y fabricación propios y permitirá evaluar los parámetros señalados en probetas cilíndricas con diversos valores de resistencia.

1.2 Justificación de la Investigación

En la actualidad se emplean en el diseño de estructuras de concreto reforzado, diversos programas de cálculo los cuales incluyen de forma predeterminada algunas propiedades

mecánicas de los materiales constitutivos.

Si bien estos programas ofrecen la posibilidad de introducir valores de propiedades diferentes a las preestablecidas, es una realidad que los proyectistas hacen uso de los que la herramienta les ofrece.

Por ser un material heterogéneo que en su constitución involucra muchas variables, es importante discriminar la variabilidad de estos valores en un lugar geográfico determinado y la relación del parámetro ofrecido por la herramienta con un rango asociado al sitio.

Por otra parte, la dificultad referente a la adquisición de equipos especiales para ensayos en el área de concreto, pone en evidencia la importancia de desarrollar tecnologías que realicen registros de forma más directa disminuyendo errores.

Por último, tener un buen conocimiento del Módulo de Elasticidad del concreto bajo condiciones de carga lenta servirá de base en futuras investigaciones acerca del Módulo de Elasticidad Dinámico (Bajo cargas rápidas), de suma importancia para evaluar el comportamiento real del concreto bajo la acción de un sismo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar el Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson en Cilindros de Concreto con Base al Diseño, Conceptualización y Fabricación de un Equipo de Ensayo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar la concepción, arquitectura y fabricación de un equipo de ensayo para la medición del Módulo de Elasticidad Estático y Coeficiente de Poisson en probetas

cilíndricas de concreto estructural.

- Analizar el comportamiento mecánico del concreto estructural con base a la estimación del Módulo de Elasticidad Estático en probetas cilíndricas.
- Analizar el comportamiento mecánico del concreto estructural con base a la estimación del Coeficiente de Poisson en probetas cilíndricas.

1.4 Alcance y Limitaciones de la Investigación

Este trabajo de grado pretende resaltar la importancia de la variabilidad de los parámetros analizados y su influencia en el comportamiento del concreto estructural; no aspira reemplazar las fórmulas propuestas en la normativa venezolana sino crear conciencia en los profesionales del área sobre la necesidad de revisar y reconsiderar parámetros preestablecidos.

Las probetas cilíndricas se construyeron con materiales de la región de la Gran Caracas y con cemento tipo I CPCA1.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

La determinación del Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson en el concreto, es un tema de interés tanto nacional como internacional, de ello se contempla un sin número de investigaciones realizadas mediante ensayos de concretos elaborados en varias regiones del mundo, con estructuras mineralógicas de agregados y cualidades distintas unos de otros.

Una de las investigaciones a nivel internacional, por parte de Guzmán, M. y Ruiz, D. donde realizaron un análisis del Módulo de Elasticidad Estático en concretos estructurales elaborados en la región de Bucaramanga (Colombia), realizaron el muestreo de varias concreteras distribuidas en toda la ciudad, donde evaluaron un total de 611 especímenes totales de las concreteras evaluadas, con resistencias superiores a 210kgf/cm^2.

En su investigación correlacionaron los resultados obtenidos con los valores establecidos en la norma NSR (98) de Colombia, donde concluyen que la norma mencionada sobrestima los valores del Módulo de Elasticidad estático en un 50%, en cambio, compararon con la norma ACI donde concluyen que sobrestima el Módulo de Elasticidad en un 24,5%.

La ecuación propuesta del resultado de sus estudios para la región de Bucaramanga fue la siguiente: Ec= $6250*\sqrt{f'c}$, en (kgf/cm^2), pero instan a realizar mayores investigaciones evaluando el comportamiento de concretos en la región en función de que los resultados obtenidos generan mucha dispersión, debido a que el Módulo de Elasticidad es muy sensible a la calidad de los agregados que lo contienen.

Por otra parte, Álvarez, A. Orantes, E. y Turcios, V. determinaron en su investigación la correlación del Módulo de Elasticidad con respecto al módulo de rotura en concreto, donde evaluaron de los resultados obtenidos, una ecuación de correlación comparada con los valores normativos, concluyeron que el Módulo de Elasticidad para el caso de concretos húmedos aumenta, mientras que el módulo de ruptura su comportamiento es inversamente proporcional al primero.

Esta guía aporta a la investigación información valiosa en función del comportamiento del concreto y a lo que se quiere llegar en el presente, de manera tal de diseñar y desarrollar un equipo de ensayo que cumpla con los requerimientos mínimos necesarios para la determinación del Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson y obtener ecuaciones de correlación en función de los resultados obtenidos, para compararlos con los normativos y evaluar el comportamiento del concreto bajo un régimen de carga.

2.2. El Concreto.

El concreto, es el resultado de la mezcla de cemento, agregados inertes que son la arena y piedra, y agua; esta mezcla se endurece en cierto tiempo formando una piedra artificial. Los elementos activos de la mezcla son el cemento y el agua, que constituyen el componente químico que le da al concreto solidez; mientras los elementos inertes como son la arena y piedra, se encargan de dar volumen a la mezcla, abaratando costos como también forman parte del esqueleto total de la misma.

Este material de construcción es de extenso uso, ya que ofrece la bondad de ser resistente a agentes agresivos a la intemperie, son mezclas trabajables y moldeables lo que permite darle ciertas formas y tamaños, como también es de menor costo en comparación a otros materiales constructivos.

2.3. Concreto Estructural

Dado que el concreto simple carece de ductilidad necesaria que deben poseer las estructuras, es necesario el uso de concreto estructural y definir sus características para que cumpla con los requisitos mínimos en términos de comportamiento y seguridad necesarios en las estructuras.

El concreto estructural considera un rango de resistencia mínima en la cual se debe basar los estudios, como también la calidad de los agregados que componen las muestras de concreto.

Dado que la norma ACI 318 (98) considera el concreto como un material homogéneo, toma en cuenta únicamente los aspectos de resistencia y calidad del concreto para evaluar su seguridad y su comportamiento, donde se especifica resistencias mínimas a compresión de concreto estructural, ya que el concreto pobre, se considera un material heterogéneo que presenta características y comportamiento no compatibles con los requerimientos exigidos en las estructuras en concreto.

2.4. Características Reológicas del Concreto

El concreto se ha definido como un material *"pseudosólido, elasto-visco-plástico"* debido a su compleja reología manifestada en el tiempo ya que en la mezcla, está presente el estado sólido reflejado en los áridos y cemento, la fase liquida con el agua, como también la fase gaseosa con el aire ocluido en el concreto. Fuente: Montoya, P. Meseguer, A. Cabré, F (1991).

El concreto en estado fresco puede ser considerado como fluido (líquido), para asentamientos mayores a 10cm, en los cuales se aplican las propiedades propias de los fluidos en la que entran en juego la fluencia y la viscosidad del concreto.

El estudio de la reología del concreto tiene su base en como determinar las características y comportamiento del concreto durante el amasado, fraguado y endurecimiento, ya que conlleva a fabricar cementos con características especiales para distintos usos, para ello se busca concretos plastificantes que en estado fluido rompan los enlaces entre los granos de cemento y presenten un comportamiento fluido, como en estado endurecido donde se desee lograr resistencia del mismo por proceso de hidratación de las moléculas presentes en el concreto.

2.5. Diagrama Tensión Deformación del Concreto

El diagrama de tensión deformación se presenta en dos bloques, una parte inicial sensiblemente rectilínea lo que se denomina rango elástico del material concreto, y una parte final en forma parabólica donde ocurren grandes deformaciones en rango plástico presentados en gráfico N° 1. Donde en el Tramo O-A perfectamente lineal, el comportamiento de la estructura se puede considerar elástico. Pero si existe un aumento de carga superando el punto A, Tramo AMN, donde ocurren deformaciones relativamente grandes que pueden llevar a la rotura, ocurre bajo un comportamiento netamente plástico del concreto.

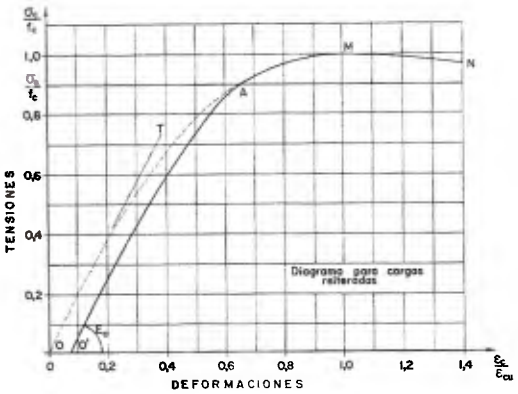


Gráfico 1. Diagrama Tensión Deformación del concreto
Fuente Montoya, P. Meseguer, A. Cabré, F (1991).

2.6. Propiedades Mecánicas del Concreto Estructural

2.6.1. Fluencia.

La fluencia en el concreto ocurre durante la aplicación de carga mantenida a la misma, donde literalmente este empieza a deformarse lentamente sin que la carga aplicada supere a la carga de rotura. Ella la componen la deformación elástica (tramo O-A), deformación plástica (tramo AMN) y la deformación permanente (O-O´).

La edad del concreto influye en la magnitud de la fluencia en relación al comportamiento del concreto bajo cargas permanente en el tiempo, este fenómeno genera en concretos más jóvenes mayores deformaciones reflejadas en diagrama esfuerzo deformación Fuente: Montoya, P. Meseguer, A. Cabré, F (1991).

2.6.2. Módulo de Elasticidad Estático (Ec)

La relación entre el esfuerzo que actúa sobre un cuerpo y la deformación unitaria se denomina Módulo de Elasticidad, que en el caso del concreto como cuerpo elástico, es la resistencia que ofrece el mismo contra la deformación hasta ciertos valores de carga. Este se determina mediante un ensayo a compresión en especímenes de concreto de 15cm de diámetro por 30 cm altura, aplicando una carga gradual hasta que el cilindro falla, midiendo las deformaciones longitudinales y transversales ocurridas en el espécimen, según lo especificado en la "NORMA ASTM C-469". Este Módulo también conocido como "Módulo de Young".

El Módulo de Elasticidad en materiales como este, donde el diagrama esfuerzo deformación es una curva, se proponen variados métodos, entre los cuales está el Módulo Tangente de un punto de la curva, Módulo Secante desde el origen a otro punto y el Módulo Inicial.

2.6.2.1. Módulo Tangente

Es una recta tangente trazada en varios puntos de la curva, lo que representa la pendiente de la curva de tensiones deformación según los puntos referenciales utilizados para su determinación.

$$Ec = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

Fuente: Montoya, P. Meseguer, A. Cabré, F (1991).

Dónde:

$d\sigma$ = Esfuerzo en el punto de estudio.

$d\varepsilon$ = Deformación unitaria en el punto de estudio.

2.6.2.3. Módulo Secante

Es denominado Módulo de deformación y se define como la recta trazada desde el origen del diagrama esfuerzo deformación hasta el punto en estudio. Se determina mediante ensayo para distintos valores crecientes de esfuerzo que corresponde a determinados porcentajes de la resistencia total del material.

$$Ec = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Fuente: Montoya, P. Meseguer, A. Cabré, F (1991).

Dónde:

σ = Esfuerzo en el punto de estudio.

ε = Deformación unitaria en el punto de estudio.

2.6.2.4. Módulo inicial

Es el llamado Módulo de Elasticidad en el origen correspondiente a la tensión nula, en cuyo caso coinciden el Módulo tangente y secante. Este módulo de mide por la pendiente de la recta tangente al origen.

Cuando se trata de determinar deformaciones para cargas próximas a las de servicio en una estructura (que producen en el concreto tensiones alrededor del 40% del esfuerzo rotura como máximo) se puede adoptar como Módulo de deformación un valor constante, para cada tipo de concreto a una humedad determinada, que será igual o algo menor al Módulo de Elasticidad inicial. Fuente: Montoya, P. Meseguer, A. Cabré, F (1991)

2.6.3. Relación de Poisson

Montoya, P. Meseguer, A. Cabré, F (1991), define como la Relación, entre las deformaciones transversales y longitudinales en piezas que trabajan a compresión simple, esto se determina evaluando los gráficos esfuerzo deformación longitudinal y transversal. La norma venezolana del concreto estima un valor constante de 0,2 lo que representa en el concreto es que se deforma un 20% transversalmente con respecto a lo que se deforma longitudinalmente.

$$v = \frac{Ec\ Longitudinal}{Ec\ Transversal}$$

Fuente: Montoya, P. Meseguer, A. Cabré, F (1991).

De igual forma que ocurre en el Módulo de Elasticidad, la influencia de los agregados es determinante en el comportamiento frente a la deformación en el concreto. Ya que al aumentar la proporción unitaria de los agregados de buena calidad en la mezcla, la Relación de

Poisson tiende a disminuir debido a que el concreto tiende a ser menos dúctil, aumentando su Módulo de Elasticidad. Fuente: Rodríguez (1986).

Según el informe 363 de la ACI, específica el rango elástico, la Relación de Poisson no representa cambios considerables con relación a la resistencia, es decir, que no hay cambios en el concreto por la variación de la resistencia. Sin embargo, bajo el efecto de grandes esfuerzos, ocurre agrietamiento interno en el concreto, que aumenta en gran magnitud la Relación de Poisson para este caso.

2.7. Aspectos contemplados en la FONDONORMA 1753 (2006)

La norma de Proyecto y Construcción de Obras de Concreto Estructural 1753 (2006) especifica como requerimientos mínimos de concreto en el artículo (5.2.1), para estructuras una resistencia mínima de 210kgf/cm2.

En relación al Módulo de Elasticidad, establece que para concretos con agregados de peso normal, la ecuación siguiente:

$$Ec = 15100 * \sqrt{f'c}$$

Ecuación 1. Determinación Módulo Elasticidad Teórico.
Fuente: Norma Proyecto y Construcción de obras de concreto Estructural 1753 (2006).

Dónde:

Ec= Módulo Elasticidad del concreto $\frac{kgf}{cm^2}$

f´c= esfuerzo en $\frac{kgf}{cm^2}$

Con respecto al Coeficiente de Poisson, mantiene un valor constante de 0,20 como la Relación de Poisson teórica, salvo que se determinen experimentalmente, por el método de ensayo de determinación de Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson en concreto descrito en la norma ASTM C 469 (2002).

2.8. Aspectos contemplados en la ASTM C 469 (2002)

La norma describe un método de ensayo para la determinación experimental del Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson en probetas cilíndricas normalizadas de concreto.

Se realiza mediante el uso de una prensa universal de ensayos y un equipo capaz de realizar mediciones de deformación al espécimen.

El equipo que indica la norma, permite determinar la deformación longitudinal y transversal de la muestra durante un lapso de aplicación de carga, debido a que el concreto en sí, se considera un material no homogéneo que involucra muchas variables en el estudio de su comportamiento, se propone en la norma la determinación del Módulo Secante hasta un 40% de la resistencia de diseño del cilindro, de manera tal de evaluar únicamente los efectos elásticos en la gráfica esfuerzo deformación.

Debido a que el equipo propuesto en la norma, realiza la medición por efecto de rotación de un anillo adosado al cilindro, se requiere corregir las mediciones por un método grafico que se detalla:

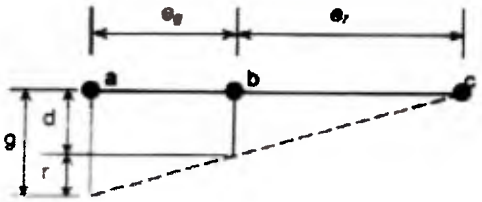


Figura 1. Relación de desplazamiento de equipo de ensayo normativo.

Fuente: Norma ASTM C469 (2002)

Dónde:

d = desplazamiento debido a la deformación del espécimen
r = desplazamiento debido a la rotación del anillo alrededor de la barra pivote
a = localización del Transductor de desplazamiento
b = punto de soporte del anillo rotativo
c = localización de la barra pivote
g = lectura del Transductor de desplazamiento.

Con respecto a la medición en la "Norma ASTM C469" se especifica el método de ensayo y la determinación del Módulo de Elasticidad mediante un gráfico de esfuerzo deformación en probetas normalizadas. Se realiza mediante el Módulo Secante, tomando como punto de estudio la ordenada del gráfico esfuerzo deformación a la 50 micro deformaciones (punto A) y la abscisa al 0,40 fcr (Punto B) en el rango plenamente elástico como se detalla en Grafico N°2.

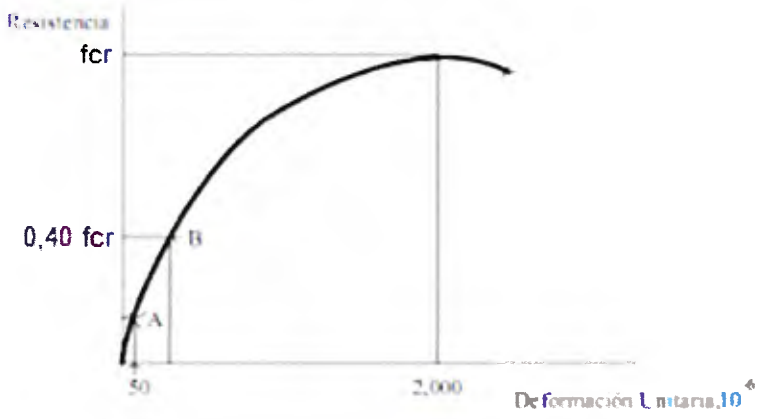


Gráfico 2. Diagrama Tensión Deformación a 0,40 fcr.
Fuente: Montoya, P. Meseguer, A. Cabré, F (1991)

El Módulo de Elasticidad secante tanto longitudinal como transversal, se obtiene determinando la pendiente de la cuerda entre los puntos AB de la gráfica la norma "ASTM C469" la ecuación siguiente:

$$Ec = \frac{\sigma B(0{,}40fcr) - \sigma A}{\varepsilon B - 0{,}00005}$$

Ecuación 2. Determinación Módulo Elasticidad mediante Gráfico.
Fuente: Norma ASTM C 469

Dónde:

Ec= Módulo de Elasticidad del Concreto kgf/cm^2

fcr= Resistencia a compresión kgf/cm^2.

ε= deformación unitaria del concreto.

Las deformaciones transversales se pueden determinar de forma similar que el Módulo de Elasticidad, se calcula un valor medio representativo mediante la ecuación:

$$\mu = \frac{\varepsilon tb - \varepsilon ta}{\varepsilon b - 0{,}00005}$$

Ecuación 3. Determinación Relación Poisson mediante Gráfico.
Fuente: Norma ASTM C 469 (2002).

Dónde:

εtb = deformación unitaria transversal producida por un esfuerzo al 0,40 fcr.

εta = Deformación unitaria longitudinal producida por un esfuerzo a una deformación unitaria de 0,00005.

2.9. Aspectos contemplados en la ACI 318 (1998)

El Módulo de Elasticidad, es dependiente de las propiedades de los componentes del concreto, es decir, de los áridos y cemento, por ello la "NORMA DE LA AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 318 (98)" define una relación entre el Módulo de Elasticidad y la masa unitaria del concreto, mediante la siguiente ecuación:

$$Ec = 33 * W^{\frac{3}{2}} * \sqrt{f'c}$$

Ecuación 4. Determinación Módulo de Elasticidad y Masa Unitaria en función de la Resistencia

Fuente: American Concrete Institute ACI 318 (2002).

Dónde:

Ec= Módulo Elasticidad del concreto en lb/pulg^2

W= Masa Unitaria del concreto Lb/pie^3

f´c= Resistencia a compresión en lb/pulg^2

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

Esta investigación es del tipo experimental, de carácter **correlacional** ya que se encarga de determinar la relación entre el Módulo de Elasticidad con respecto a resistencia, masa unitaria, como también la Relación de Poisson en función del Módulo de Elasticidad

Es un método **descriptivo** debido a que se busca relacionar los valores teóricos con los datos obtenidos del Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson en las muestras ensayadas en base a la operación de un equipo de diseño propio.

Por último es un estudio **aplicado** ya que se propone un equipo cuyo diseño simplifica la toma de mediciones de deformación en las muestras de concreto, en comparación al equipo y método de medición propuesto en la norma ASTM C469.

3.2. Población y Muestra

3.1.1. Población.

La población concierne a 67 probetas de concreto de una construcción ubicada en la Ciudad de Caracas

3.1.2. Muestra

La muestra a estudiar corresponde un total de 67 probetas de concreto para la determinación de Módulo de Elasticidad.

A causa del retraso en el proceso de la fabricación del equipo para la determinación de la Relación de Poisson, previo a su llegada se realizó ensayos de M.E. en las muestras seleccionadas, quedando un total de 12 muestras de concreto para la determinación de la Relación de Poisson.

3.3 Fases de la Investigación

En esta experiencia, el procedimiento de esta investigación consta de las siguientes fases:

Fase I. Conceptualización y diseño de equipo de ensayo, mediante el uso del programa Solid Works (2011), en función de la necesidad de realizar las mediciones de deformación en los cilindros de concreto.

Fase II. Fabricación de equipo de ensayo para determinar deformación longitudinal y transversal de los cilindros.

Fase III. Toma de muestras de cilindros de concreto en el Laboratorio de Estructuras y Patología del Concreto, UCAB. Ver figura 2.

Figura 2. Muestras de cilindros, Laboratorio de Estructuras y Patología del Concreto UCAB.
Fuente: elaboración propia (2013).

Fase IV: Determinación experimental de Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson.

Fase V: Análisis y conclusión de los resultados obtenidos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANALISIS

4.1. Concepción, arquitectura y fabricación de un equipo de ensayo para la medición del Módulo de Elasticidad Estático y Coeficiente de Poisson en probetas cilíndricas de concreto estructural.

Con La finalidad de simplificar la toma de mediciones, fue diseñado un equipo que se fundamentó en la medición directa de la deformación en el cilindro mediante tres guías tipo pistón adosadas a aros de sujeción que garantizan un movimiento paralelo entre las piezas (A) y (B) (ver figura 3), permitiendo al transductor de desplazamiento registrar la deformación del cilindro por medio del movimiento de los aros cuando la probeta está sometida al ensayo.

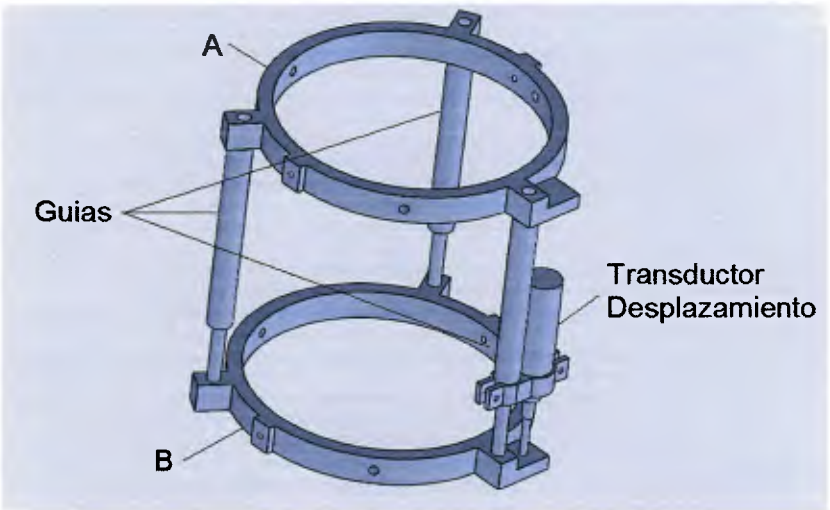


Figura 3 Equipo de medición de deformación longitudinal.
Fuente: Elaboración Propia (2013).

El equipo garantiza un movimiento idéntico al acortamiento del cilindro durante el ensayo, por medio de tres tornillos guiados en los aros (A) y (B), formando una separación angular entre ellos de 120 °. Mediante este sistema, el operador debe garantizar que los aros se

fijen al cilindro de manera tal que ambos (A y B) queden concéntricos y nivelados, para que el registro de la deformación longitudinal sea preciso, ver figura N° 6.

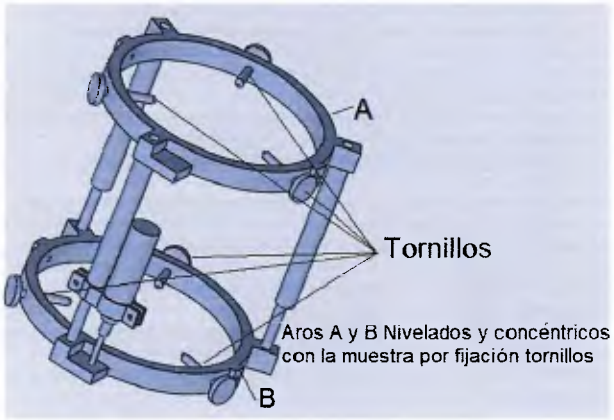


Figura 4 Fijación de pernos en equipo de ensayo
Fuente: Elaboración Propia (2013).

Para obtener las mediciones de deformación longitudinal, se diseñó y construyó una base especial para el transductor de desplazamiento electrónico. Consiste en una base que permite sostener el transductor para registrar el movimiento lineal de los aros por medio de las guías adosadas a los mismos, estas sirven de testigo y de apoyo competente para su uso. Ver figura N° 7.

Figura 5 Base para transductor de desplazamiento
Fuente: Elaboración Propia (2013).

Las deformaciones transversales se registran igualmente mediante el uso de dos transductores de desplazamiento, que registran mediciones en la zona central de la muestra en estudio, como el cilindro no es un material homogéneo, las deformaciones en la periferia del

cilindro no son las mismas en cualquier punto de medición, por esta razón y a sabiendas de esta situación, se diseñó una base (C), apoyada sobre la prensa de ensayos, que sirva de apoyo a los dos transductores electrónico de desplazamiento, para que registren, cumpliendo con los parámetros de perpendicularidad al cilindro (un Transductor opuesto al otro), alineamiento sobre diámetro del mismo, el comportamiento del cilindro en función de las deformaciones transversales registradas bajo carga. Ver figura N° 8.

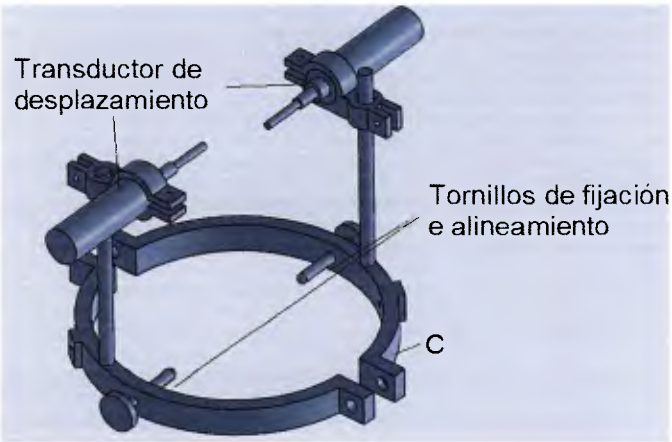


Figura 6. Equipo medición deformación transversal de cilindros.
Fuente: Elaboración propia (2013)

La fabricación del equipo de deformación longitudinal, fue desarrollada mediante equipos de metalmecánica, donde se realizó por proceso de torneado las piezas A y B en aluminio por ser un material de menor densidad que el acero (más liviano), de forma tal que no afecte las condiciones de ensayo.

Fueron recuperados los aros de unas piezas de un equipo desechado, modificándolo para adaptarlo a las condiciones deseadas, con un diámetro mayor al del espécimen para facilitar el proceso de montaje y desmontaje.

Figura 7. Ajuste de equipo de fabricación propia.
Fuente: Elaboración propia (2013)

Las especificaciones técnicas finales de las piezas A y B con los pernos de fijación a los cilindros se especifican en la tabla N° 1.

Pieza	Material	Diámetro Externo (cm)	Diámetro Interno (cm)	Altura (cm)	N° Pernos	Diámetro Pernos (mm)	Material Pernos
A	Aluminio	19,6	17,2	2,5	3	6	Acero
B	Aluminio	19,6	17,2	2,5	3	6	Acero

Tabla 1. Especificaciones de las piezas A y B de equipo de ensayo.
Fuente: Elaboración Propia (2013)

Se utilizaron pernos de acero de alta resistencia, debido a que los pernos, se adosan al cilindro y por lo tanto deben ser de un material de mayor rigidez que el material a ensayar (concreto) y son encargados de desplazar los aros que registran el desplazamiento longitudinal de la muestra.

El método de unión de los aros fue mediante la fabricación de unas guías cilindro - pistón de barra calibrada, torneada sobre la base hasta darle las características de desplazamiento libre y suave, quedando como especificaciones finales las siguientes:

Pieza	Material	Diámetro Externo (mm)	Diámetro Interno (mm)	Altura (mm)
Guía Hembra	Acero	17	9	140
Guía Macho	Acero	9	-	120

Tabla 2. Especificaciones finales para guías de desplazamiento longitudinal.
Fuente: Elaboración Propia (2013)

La Fabricación de la base de los transductores se realizó partiendo del diseño elaborado en el Programa Solid Works (2011), se procedió a su elaboración en material plástico en los equipos del laboratorio de Ingeniera Industrial UCAB (2013).

Figura 8. Base en Plástico para los transductores desplazamiento.
Fuente: Elaboración propia (2013)

Las piezas de apoyo en los transductores se elaboraron en material plástico, debido a su bajo peso, y flexibilidad que permite que los transductores no apliquen una carga desbalanceada sobre el equipo, ya que los mismos se ubican en los extremos de los aros, como también puedan facilitar el montaje y desmontaje después de finalizado cada ensayo. Las especificaciones de la pieza se muestran a continuación:

Pieza	Material	Diámetro Externo (mm)	Diámetro Interno (mm)	Altura (mm)
Base Transductor	Plástico	35	25	20
Transductor	Acero Inoxidable	25	-	130

Tabla 3. Especificaciones de pieza base de transductor.
Fuente: Elaboración propia (2013).

Para determinar la deformación transversal, fue desarrollado un equipo en acero de alta resistencia, adosado al cilindro por medio de dos pernos que permiten un centrado óptimo sobre la muestra, el mismo sirve como base a los transductores de desplazamiento ubicados en la sección central de la muestra.

La pieza para determinar la deformación transversal, fue desarrollada en acero, ya que esta pieza se ubica sobre la base de la prensa de ensayos, su peso no afecta la toma de mediciones. ver figura 11.

Figura 9. Equipo base de medición de deformación transversal.
Fuente: Elaboración propia (2013)

Los pernos de alta resistencia garantizan que este sea más rígido que el material ensayado, por lo tanto los desplazamientos registrados obtenidos en los ensayos son directos, lo que representa la deformación real del espécimen, registrados por medio de los transductores de desplazamiento transversal. En la tabla N° 4 se detalla las especificaciones de la base de deformación transversal.

Pieza	Material	Diámetro Externo (mm)	Diámetro Interno (mm)	Altura (mm)
Base Alineamiento	Acero	230	Variable	20
Pernos de Fijación	Acero	8	-	-
Base de Transductor	Plástico	35	25	25
Transductor	Acero Inoxidable	25	-	130

Tabla 4 Especificaciones de equipo ensayo deformación transversal.
Fuente: Elaboración propia (2013).

El equipo posee unas guías laterales que permiten el desplazamiento vertical de los dos aros, lo que representa en los ensayos que no se tenga la necesidad de aplicar correcciones a los mismos ya que el operador previo al ensayo, debe garantizar el correcto nivel del equipo como que sea concéntrico con la muestra a ensayar.

Figura 10. Nuevo equipo de ensayo.
Fuente: elaboración propia (2013)

La lectura de la deformación en función del aumento de esfuerzo sobre la muestra, es registrada por los transductores de desplazamiento con una precisión de los equipos en los transductores de 0,001 mm, y de la prensa de ensayos de 10 kg (0.01 ton) de la carga.

Figura 11. Realización de ensayo con programa de medición Andisoft.
Fuente: Elaboración Propia (2013)

4.2. Comportamiento mecánico del concreto estructural con base a la estimación del Módulo de Elasticidad Estático en probetas cilíndricas.

4.2.1 – Módulo de Elasticidad en función de las Resistencias

En las muestras ensayadas, se realizó las mediciones de las propiedades físicas de cada probeta, como también su comportamiento con respecto al Módulo de Elasticidad presentados en la tabla N° 5 y en el Gráfico N° 3.

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Tensión (kgf/cm^2)	Módulo Elasticidad (kgf/cm^2)
M-1	14,8	30,0	11,55	260	212.746
M-2	14,8	30,0	11,41	282	192.853
M-3	14,8	30,0	12,29	527	325.982
M-4	15,0	30,0	12,06	432	276.617
M-5	15,0	30,0	12,66	495	318.001
M-6	14,9	30,0	11,99	361	310.413
M-7	15,1	30,4	12,27	471	309.062
M-8	15,0	30,4	12,56	329	290.000
M-9	15,0	30,1	12,66	320	263.103
M-10	14,8	30,0	12,53	403	351.175
M-11	14,9	30,0	11,95	379	280.882
M-12	15,0	29,7	12,03	495	315.404
M-13	15,0	30,0	12,44	364	276.475
M-14	14,8	30,0	12,03	373	295.065
M-15	14,9	30,0	12,53	499	298.735
M-16	15,0	30,0	12,56	456	276.323
M-17	15,0	30,0	12,56	441	360.914
M-18	14,9	30,0	11,80	398	263.996
M-19	15,1	29,8	11,98	277	249.750
M-20	14,8	30,0	12,22	516	345.000
M-21	15,0	30,0	12,58	499	300.944
M-22	15,0	29,8	12,40	425	295.019

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Tensión (kgf/cm^2)	Módulo Elasticidad (kgf/cm^2)
M-23	14,8	30,0	12,19	359	279.960
M-24	14,9	29,6	11,96	358	324.306
M-25	14,8	29,7	11,98	385	282.934
M-26	15,0	30,0	12,64	491	381.578
M-27	15,0	30,0	12,31	295	319.000
M-28	15,0	30,0	11,66	339	218.721
M-29	15,0	30,0	11,95	469	308.530
M-30	14,9	30,1	11,89	404	255.000
M-31	15,1	30,0	12,38	499	315.965
M-32	15,1	30,1	12,86	491	339.547
M-33	15,0	30,4	12,66	477	339.038
M-34	15,0	30,0	12,09	362	275.868
M-35	15,0	30,2	12,02	433	274.955
M-36	15,0	30,1	11,94	418	259.716
M-37	15,0	30,0	11,84	393	283.023
M-38	15,0	29,9	12,17	442	294.636
M-39	15,0	30,0	12,11	339	270.778
M-40	15,0	30,1	12,78	479	311.410
M-41	15,0	30,2	11,94	369	277.935
M-42	15,1	30,1	12,57	331	266.320
M-43	15,0	30,0	12,24	455	304.231
M-44	15,1	30,1	11,81	263	246.120
M-45	15,0	30,0	12,43	445	280.000
M-46	14,8	30,0	12,24	441	278.625
M-47	15,0	30,2	12,56	493	315.000
M-48	15,0	30,1	11,96	352	255.302
M-49	15,0	30,4	12,22	300	260.000
M-50	14,8	29,9	12,05	449	315.000
M-51	14,8	30,2	12,21	289	263.473
M-52	15,0	30,2	11,95	300	285.160
M-53	15,0	29,8	11,67	392	289.977
M-54	15,0	30,1	11,96	484	315.000
M-55	15,0	30,4	12,69	333	293.979

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Tensión (kgf/cm^2)	Módulo Elasticidad (kgf/cm^2)
M-56	15,0	30,1	12,04	437	262.354
M-57	15,0	30,2	11,78	331	285.000
M-58	15,0	30,1	12,62	494	325.000
M-59	14,9	30,3	12,03	363	288.670
M-60	14,8	30,1	12,19	485	313.239
M-61	15,0	30,4	11,78	315	280.000
M-62	15,0	30,3	12,19	454	322.640
M-63	15,1	30,2	12,41	497	316.785
M-64	15,1	30,2	12,70	429	330.000
M-65	14,9	30,4	11,73	310	320.000
M-66	15,0	30,2	12,29	330	266.164
M-67	15,0	30,1	12,26	223	262.310

Tabla 5. Resultado de Módulo de Elasticidad.
Fuente: Elaboración propia (2013)

La Gráfica N° 3 muestra la correlación Módulo de Elasticidad con Resistencia; incluyendo las líneas de límites de confiabilidad para el 10% de fracción defectuosa y límites de tolerancia.

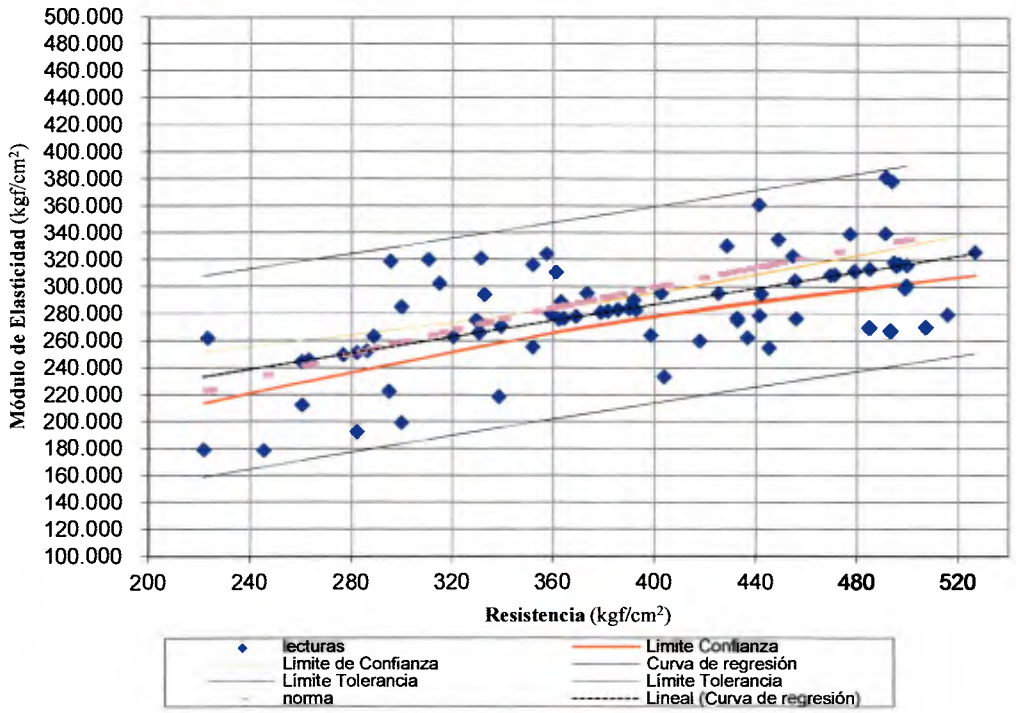


Gráfico 3. Curva de regresión de Módulo de Elasticidad.
Fuente: Elaboración propia (2013)

De los resultados obtenidos, se presenta una ecuación que refleja el comportamiento del concreto de las muestras analizadas con una relación de R^2 de 0,38:

$$Ec = 299{,}93f'c + 166.667 \qquad \textbf{Ecuación 5}$$

Cabe destacar que el comportamiento registrado en el grafico N° 3, coinciden con otras investigaciones de que los resultados que se obtienen presentan una alta dispersión. Debido a que el concreto no es un material homogéneo.

Comparando la curva de regresión del gráfico N° 3 con el Módulo de Elasticidad propuesto en la norma Proyecto y Construcción de obras en Concreto Estructural 1753 (2006) resulta el gráfico siguiente:

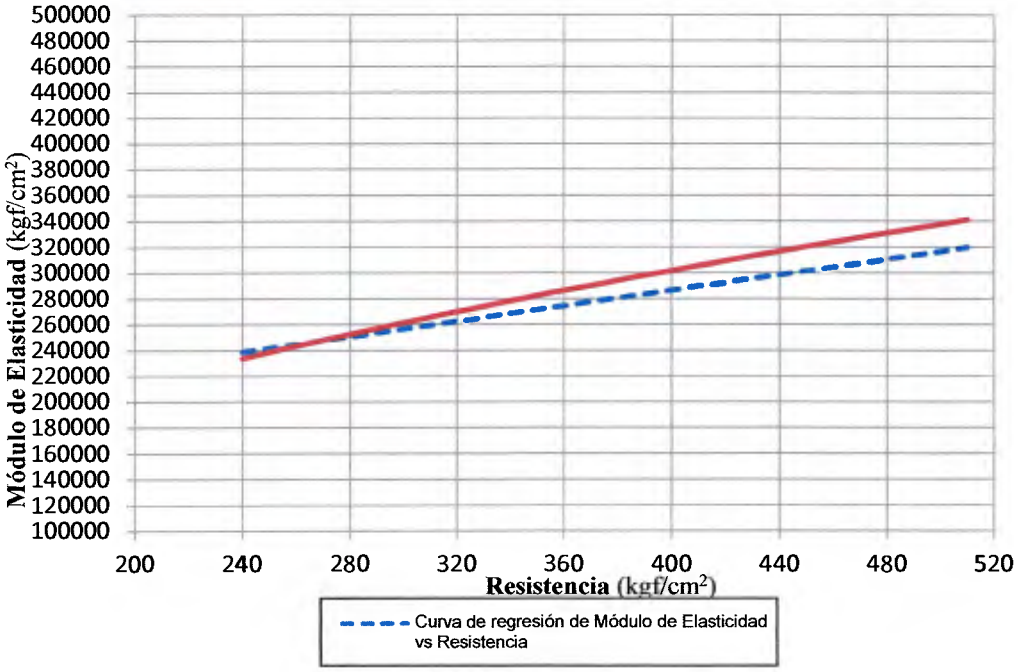


Gráfico 4 Comparación Módulo Elasticidad vs Modulo Elasticidad Teórico.
Fuente: Elaboración propia (2013).

Se puede observar que para resistencias menores a de 250 kgf/cm^2, el valor teórico del Módulo de Elasticidad normativo es similar al obtenido en el presente.

Ahora bien para resistencias superiores a 250 kgf/cm^2 la ecuación recomendada por la norma pasa a tomar valores superiores a los determinados en el estudio; así para resistencias de 350 kgf/cm2 el ME normativo es superior en un 4%, mientras para 440 kgf/cm2, lo supera en un 6%.

4.2.2 Módulo de Elasticidad en función de la Masa Unitaria

La Tabla N° 6 contiene los resultados los valores de Módulo de Elasticidad obtenidos en función de la densidad del concreto evaluada sobre los cilindros.

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Masa Unitaria (kg/m^3)	Tensión (kgf/cm^2)	Módulo Elasticidad (kgf/cm^2)
M-1	14,8	30,0	11,55	2238	260	212.746
M-2	14,8	30,0	11,41	2211	282	192.853
M-3	14,8	30,0	12,29	2381	527	325.982
M-4	15,0	30,0	12,06	2275	432	276.617
M-5	15,0	30,0	12,66	2388	495	318.001
M-6	14,9	30,0	11,99	2292	361	310.413
M-7	15,1	30,4	12,27	2254	471	309.062
M-8	15,0	30,4	12,56	2338	329	290.000
M-9	15,0	30,1	12,66	2380	320	263.103
M-10	14,8	30,0	12,53	2428	403	351.175
M-11	14,9	30,0	11,95	2284	379	280.882
M-12	15,0	29,7	12,03	2292	495	315.404
M-13	15,0	30,0	12,44	2347	364	276.475
M-14	14,8	30,0	12,03	2331	373	295.065
M-15	14,9	30,0	12,53	2395	499	298.735
M-16	15,0	30,0	12,56	2369	456	276.323
M-17	15,0	30,0	12,56	2369	441	360.914
M-18	14,9	30,0	11,80	2256	398	263.996
M-19	15,1	29,8	11,98	2245	277	249.750
M-20	14,8	30,0	12,22	2368	516	345.000
M-21	15,0	30,0	12,58	2373	499	300.944
M-22	15,0	29,8	12,40	2355	425	295.019
M-23	14,8	30,0	12,19	2362	359	279.960
M-24	14,9	29,6	11,96	2317	358	324.306
M-25	14,8	29,7	11,98	2345	385	282.934
M-26	15,0	30,0	12,64	2384	491	381.578
M-27	15,0	30,0	12,31	2322	295	319.000
M-28	15,0	30,0	11,66	2199	339	218.721
M-29	15,0	30,0	11,95	2254	469	308.530
M-30	14,9	30,1	11,89	2265	404	255.000
M-31	15,1	30,0	12,38	2304	499	315.965
M-32	15,1	30,1	12,86	2386	491	339.547
M-33	15,0	30,4	12,66	2357	477	339.038

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Masa Unitaria (kg/m^3)	Tensión (kgf/cm^2)	Módulo Elasticidad (kgf/cm^2)
M-34	15,0	30,0	12,09	2281	362	275.868
M-35	15,0	30,2	12,02	2252	433	274.955
M-36	15,0	30,1	11,94	2245	418	259.716
M-37	15,0	30,0	11,84	2233	393	283.023
M-38	15,0	29,9	12,17	2303	442	294.636
M-39	15,0	30,0	12,11	2284	339	270.778
M-40	15,0	30,1	12,78	2403	479	311.410
M-41	15,0	30,2	11,94	2237	369	277.935
M-42	15,1	30,1	12,57	2332	331	266.320
M-43	15,0	30,0	12,24	2309	455	304.231
M-44	15,1	30,1	11,81	2191	263	246.120
M-45	15,0	30,0	12,43	2345	445	280.000
M-46	14,8	30,0	12,24	2372	441	278.625
M-47	15,0	30,2	12,56	2353	493	315.000
M-48	15,0	30,1	11,96	2248	352	255.302
M-49	15,0	30,4	12,22	2275	300	260.000
M-50	14,8	29,9	12,05	2343	449	315.000
M-51	14,8	30,2	12,21	2350	289	263.473
M-52	15,0	30,2	11,95	2239	300	285.160
M-53	15,0	29,8	11,67	2216	392	289.977
M-54	15,0	30,1	11,96	2248	484	315.000
M-55	15,0	30,4	12,69	2362	333	293.979
M-56	15,0	30,1	12,04	2264	437	262.354
M-57	15,0	30,2	11,78	2207	331	285.000
M-58	15,0	30,1	12,62	2373	494	325.000
M-59	14,9	30,3	12,03	2277	363	288.670
M-60	14,8	30,1	12,19	2354	485	313.239
M-61	15,0	30,4	11,78	2193	315	280.000
M-62	15,0	30,3	12,19	2277	454	322.640
M-63	15,1	30,2	12,41	2295	497	316.785
M-64	15,1	30,2	12,70	2348	429	330.000
M-65	14,9	30,4	11,73	2213	310	320.000
M-66	15,0	30,2	12,29	2303	330	266.164

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Masa Unitaria (kg/m^3)	Tensión (kgf/cm^2)	Módulo Elasticidad (kgf/cm^2)
M-67	15,0	30,1	12,26	2305	223	262.310

Tabla 6. Masa Unitaria con Módulo de Elasticidad
Fuente: Elaboración propia (2013)

Con los datos de la tabla N° 6, Se procede con la Gráfica N° 5 correspondiente a Módulo de Elasticidad vs Masa Unitaria del Concreto.

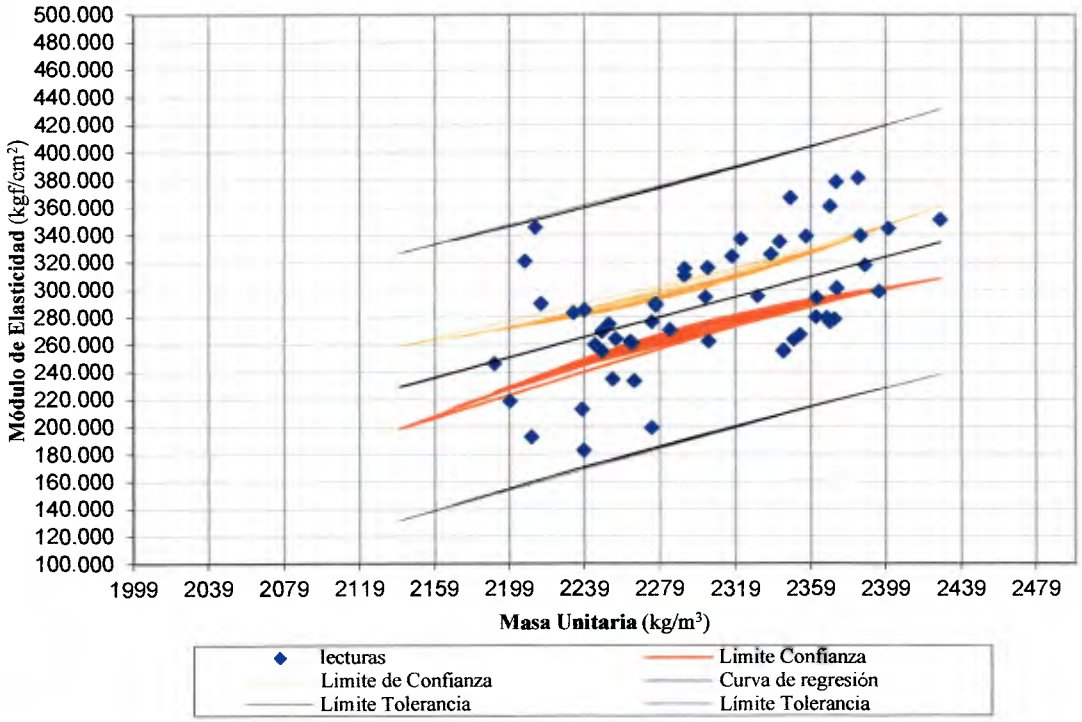


Gráfico 5. Curva Regresión de Módulo de Elasticidad vs Masa Unitaria.
Fuente: Elaboración propia. (2013)

El comportamiento registrado en el grafico N° 5, representa el comportamiento del Módulo de Elasticidad con respecto a la densidad del concreto, donde coinciden con otras

investigaciones en la que los resultados que se obtienen presentan una alta dispersión. Esto se debe a que el concreto no es un material homogéneo.

De los resultados obtenidos, se presenta la siguiente ecuación que refleja el comportamiento del concreto de las muestras analizadas con una relación de R^2 de 0,29:

$$Ec = 367{,}38W - 557.270 \qquad \textbf{Ecuación 6}$$

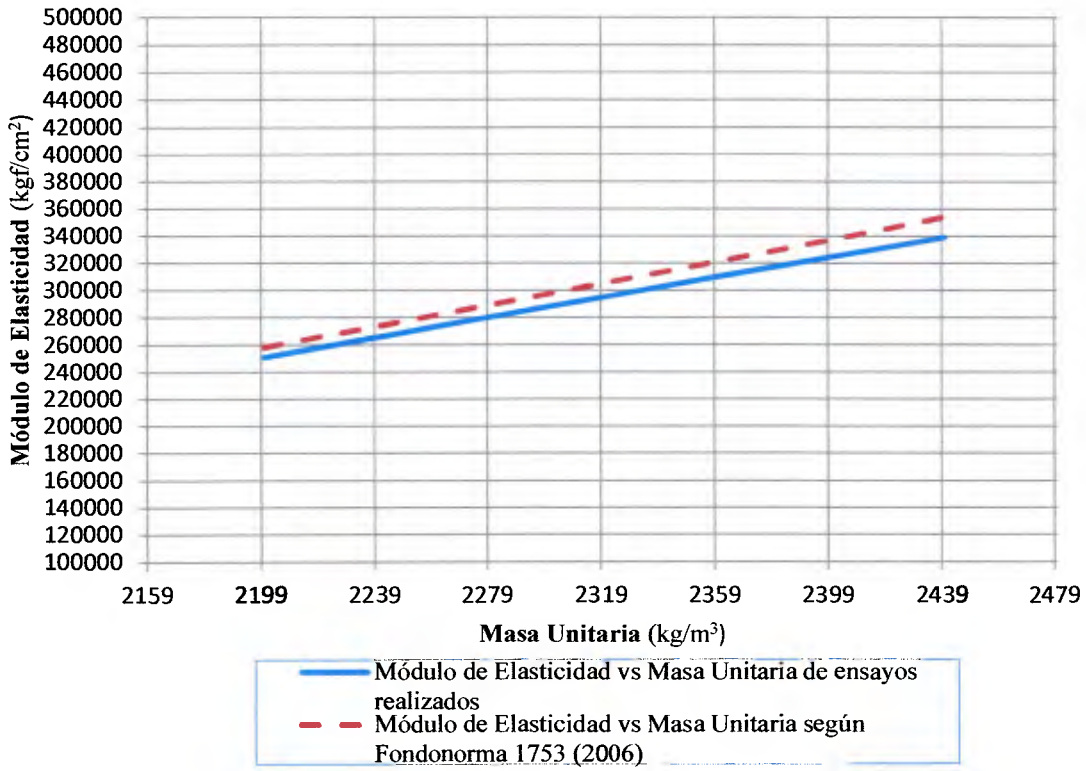


Gráfico 6. Relación entre Módulo de Elasticidad con Masa Unitaria, obtenido y teórico
Fuente: Elaboración propia (2013).

El comportamiento registrado, muestra como el Módulo de Elasticidad según la norma mantiene una tendencia paralela a la obtenida en el estudio, con valores superiores en un 4%

en con respecto a los resultados obtenidos.

4.3. Comportamiento mecánico del concreto estructural con base a la estimación del Coeficiente de Poisson en probetas cilíndricas.

Los resultados obtenidos de los ensayos, se detallan en la tabla N° 7.

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Tensión (kgf/cm2)	Relación Poisson
M-1	14,9	30,0	11,99	361	0,57
M-2	14,8	30,0	12,53	403	0,61
M-3	14,8	30,0	12,03	373	0,46
M-4	14,9	30,0	12,53	499	0,46
M-5	15,0	29,9	12,17	442	0,25
M-6	14,8	30,0	12,24	441	0,16
M-7	14,8	30,2	12,21	289	0,16
M-8	15,0	29,8	11,67	392	0,40
M-9	15,1	30,6	11,73	352	0,60
M-10	14,9	30,3	12,03	363	0,16
M-11	15,0	30,4	11,78	315	0,37
M-12	15,0	30,1	12,26	223	0,25

Tabla 7. Resultados de Relación de Poisson.
Fuente: Elaboración propia (2013)

La gráfica N° 7 presenta la Relación de Poisson con respecto a Resistencia.

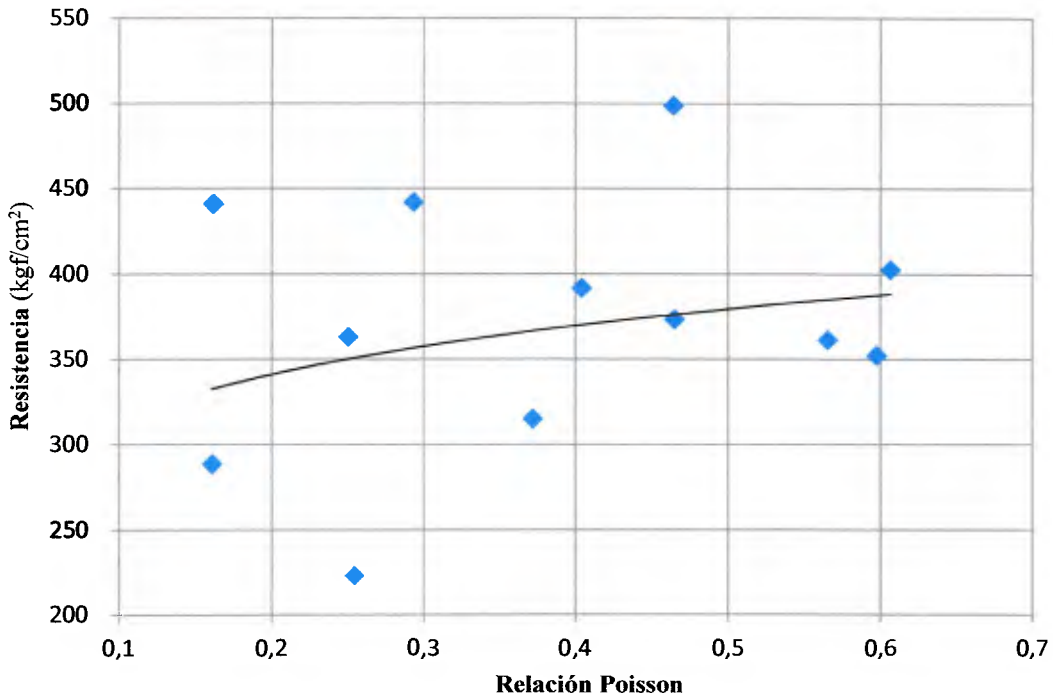


Gráfico 7. Relación de Resistencia vs Relación de Poisson.
Fuente: Elaboración propia (2013).

El comportamiento registrado, muestra como la Relación de Poisson varía en función de la resistencia, aplicando la curva de regresión tipo potencial se obtiene la siguiente ecuación con un valor de R^2 de 0,06, reflejado por una fuerte dispersión en los resultados.

$$f'c = 411{,}64 * \mu^{0{,}1174} \qquad \textbf{Ecuación 7}$$

La gráfica N ° 8 presenta la Relación de Poisson con respecto al Módulo de Elasticidad.

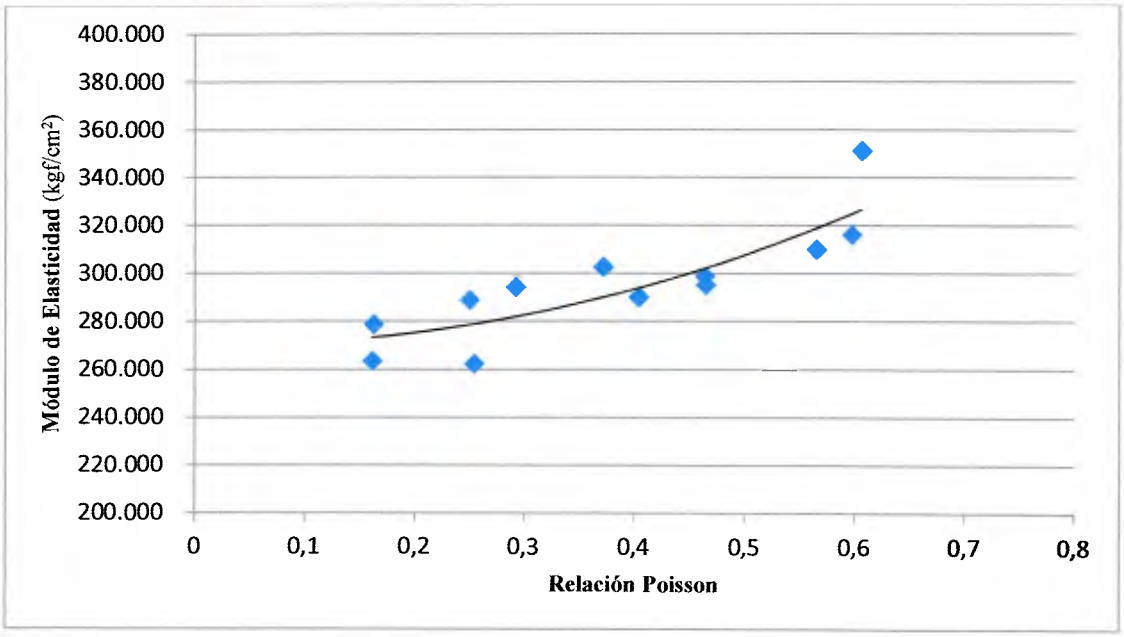


Gráfico 8. Relación entre Coeficiente de Poisson vs Módulo de Elasticidad.
Fuente: Elaboración propia (2013)

En la regresión tipo polinómica de segundo grado, aplicado la curva de regresión mostrada, obtenemos la ecuación siguiente con un valor de R^2 de 0,73:

$$Ec = 173.169\,\mu^2 - 12.857\mu + 270.709 \qquad \textbf{Ecuación 8}$$

La norma Norma Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural 1753 (2006) sugiere si no existen estudios experimentales previos, recomienda el uso de un valor constante de Relación de Poisson en 0,20.

En los resultados obtenidos puede ser observado que la Relación de Poisson para las muestras en estudio varió entre 0,16 a 0,60

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El diseño y fabricación del nuevo equipo como sistema de medición, proporcionó la medición de deformación en los cilindros de forma directa, lo que simplifica el proceso de lectura y procesamiento de las mediciones de deformación.

La comparación que se realizó entre el Módulo de Elasticidad normativo y los resultados obtenidos, se observa que presentan una variación máxima de 6 % para resistencias mayores a 250 kgf/cm^2 y menores a 440 kgf/cm^2

De la relación anterior se obtiene la ecuación experimental para la determinación del Módulo de Elasticidad de: $Ec = 299{,}93\, f'c + 166.667$ (ec 5); con un valor de R^2 de 0,38.

Con respecto al Módulo de Elasticidad en función de la Masa Unitaria. Los valores obtenidos los ensayos en todo el rango de densidades estudiadas, se cumple que el Módulo de Elasticidad es menor en la evaluación experimental que en los valores obtenidos con base a la expresión normativa en un 4% en promedio.

De la anterior relación, se obtiene la ecuación que relaciona el Módulo de Elasticidad con respecto a la Masa Unitaria, de la forma siguiente: $Ec = 367{,}38W - 557.270$ (ec 6), con un valor de R^2 de 0,29.

En relación a la determinación del Coeficiente de Poisson, con respecto a la Resistencia, aplicando la curva de regresión de tipo potencial se obtuvo la ecuación: $f'c = 411{,}64 * \mu^{0{,}1174}$ (ec 7), con un valor de R^2 de 0,06 lo que refleja que los resultados obtenidos presentan una fuerte dispersión.

Con respecto a la determinación del Módulo de Elasticidad vs Relación de Poisson, que se obtuvo de los resultados en los ensayos, se aplicó la curva de la regresión de tipo exponencial, obteniendo la siguiente ecuación: $y = 173.169\,x^2 - 12.857x + 270.709$ (ec 8); con un valor de "r^2" de 0,73; describiendo un comportamiento en aumento de la Relación de Poisson en mayor medida de lo que ocurre con el Módulo de Elasticidad.

5.2. Recomendaciones

Con la finalidad de establecer estudios para confirmar las razones por las que el Módulo de Elasticidad presenta tanta dispersión en su medición, se recomienda realizar estudios en cantidad suficiente de probetas cilíndricas de única resistencia.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Montoya, P. Messeguer, A. y Cabré, F. (1991). **Hormigón Armado.** Barcelona: Gustavo Gili. 13ª Edición.

Rodríguez, C. (1986). **Técnica electrodinámica para la medida del Módulo de Elasticidad para los materiales de construcción.** España: Informe Universidad IETcc.

Landeau, R. (2007). **Elaboración de Trabajos de investigación**. Venezuela: Alfa. 1ª edición. 197 pp.

ANEXOS

7.1. GLOSARIO

Áridos: Material granulado de origen natural o artificial, que es utilizado como agregado de los materiales de construcción. Lo componen la arena, piedra

Cemento: es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua simulando una roca artificial, usada como material de construcción.

Concreto: es un material compuesto empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante (cemento hidráulico) al que se añade: partículas o fragmentos de agregado (grueso y fino) y agua.

Esfuerzos: son magnitudes físicas con unidades de fuerza aplicadas perpendicularmente sobre el área de un espécimen.

Estadística: estudia los métodos científicos para recoger, organizar, resumir y analizar datos, así como para sacar conclusiones válidas y tomar decisiones razonables basadas en tal análisis

Elasticidad: Es la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.

Fraguado: es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto producido por la recristalización de los hidróxidos metálicos procedentes de la reacción química del agua con el cemento, que se inicia desde el momento del contacto de ambos durante el amasado.

Fresado: consiste principalmente en el corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos, que ejecuta movimientos de avance programados en casi cualquier dirección de los tres ejes posibles en los que se puede desplazar la mesa donde va fijada la pieza.

Módulo de Elasticidad: también conocido como Módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.

Plasticidad: es la propiedad mecánica de un material inelástico, de deformarse permanente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico.

Reología: es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir y su función es encontrar ecuaciones constitutivas para modelar el comportamiento de los materiales.

Resistencia: se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo.

Relación Poisson: es la relación existentes entre la deformación longitudinal con respecto a la deformación transversal de un espécimen sometido a carga axial.

Solid Works: Programa de diseño de piezas de uso industrial en formato 3D.

Torneado: conjunto de máquinas y herramientas que permiten mecanizar piezas de forma geométrica de revolución hasta darle un acabado fino y preciso.

7.2. SIGLAS

f´c= Resistencia especificada del concreto a compresión.

fcr= Resistencia media normativa a la compresión en el concreto.

σ = Esfuerzo debido a una carga axial sobre un área.

ε = Deformación unitaria del concreto.

Ec= Módulo de Elasticidad Estático en concreto.

μ = Relación de Poisson en concreto.

W= Masa Unitaria en concreto.

ASTM= Norma American Society for Testing and Materials.

ACI= Norma de la American Concrete Institute.

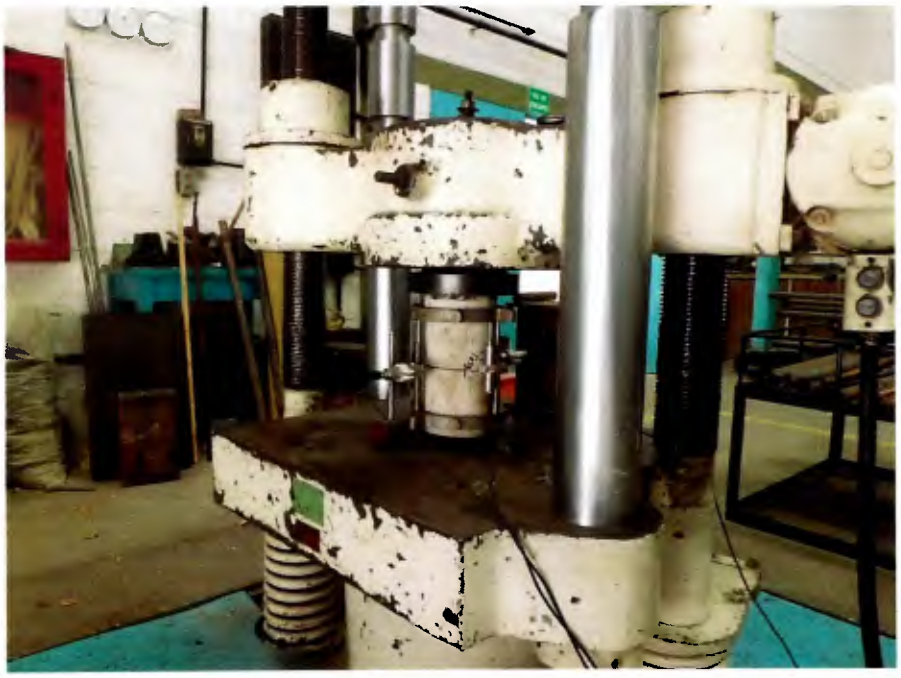
NSR= Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente.

M.E.= Módulo de Elasticidad.

CPCA1= cemento gris cuyo contenido de caliza u otro material calcáreo es menor o igual al 15% del peso total.

7.3. MEMORIA FOTOGRAFICA

Preparación de ensayos



Piezas bases de Transductores de desplazamiento

Muestras Ensayadas