

**COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE CONCRETO  
NORMAL, CON EL ENSAYO DE COMPRESIÓN Y EL ENSAYO DE  
FLEXIÓN**

**MANUEL FABIÁN CARVAJAL BUENAHORA  
EDISSON ALIRIO GONZÁLEZ BARRAGÁN**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL  
BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2012**

**COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE CONCRETO  
NORMAL, CON EL ENSAYO DE COMPRESIÓN Y EL ENSAYO DE  
FLEXIÓN**

**MANUEL FABIÁN CARVAJAL BUENAHORA  
EDISSON ALIRIO GONZÁLEZ BARRAGÁN**

**Tesis de grado como requisito para optar  
al título de Ingenieros Civiles**

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

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL  
BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2012**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bucaramanga, Marzo de 2012.

*A Dios por brindarme la vida  
y poder concluir de la mejor  
manera un sueño.*

*A mi Mamá, por todo el  
apoyo ofrecido y el esfuerzo  
que realizó con mucho amor,  
para que pudiera sacar este  
proyecto adelante.*

*A mi Papá, por sus consejos  
y motivación.*

*Fabian*

*A Dios por regalarme una  
familia tan hermosa que me  
motivo y me ayudo a sacar  
este proyecto adelante.*

*A mi Mamá, fuente de mi  
inspiración en todos mis  
sueños.*

*A mi Padre, trabajador  
incansable que me motiva con  
su ejemplo.*

*Edisson*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por brindarnos la vida y mantenernos con salud para culminar con éxito nuestros sueños.

A nuestros padres por sus desvelos y preocupaciones, por ser nuestros amigos incondicionales, porque fueron ellos quienes estuvieron ahí cuando alguna vez tropezamos y caímos, fueron ellos quienes nos dieron la mano y nos animaron a seguir adelante, nos apoyaron en los momentos difíciles; gracias a todos nuestros padres por la comprensión y el amor.

A la Directora del Proyecto, MSC Claudia Patricia Retamoso Llamas por su apoyo y confianza para realizar este proyecto de grado, así mismo por su invaluable conocimiento, acertadas y precisas orientaciones, por su constante motivación y el tiempo de dedicación al desarrollo del proyecto.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por brindarnos una excelente educación humana e intelectual, para así convertirnos en profesionales que prestarán un servicio humano y responsable.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, que nos dedicaron gran parte de su tiempo y nos guiaron en el camino del aprendizaje, así como los otros docentes que nos dejaron marcadas sus enseñanzas a lo largo de la vida.

Al personal de Servicios Generales, empezando por la Arq. Luz Astrid Ramírez Chávez, quien soporto toda la logística de la elaboración de las probetas del proyecto, con la ayuda del señor Ramiro Díaz Luna.

Al personal del laboratorio, desde su coordinadora Ing. Luz Marina Torrado Gómez y sus auxiliares Don Helí Rueda Aparicio y Jose Vicente Páez Mendoza por la orientación y colaboración para la realización de los trabajos que se desarrollaron en el laboratorio.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
1. OBJETIVOS.....	16
1.1. Objetivo General.....	16
1.2. Objetivos Específicos.....	16
2. METODOLOGIA .....	17
2.1. INVESTIGACION.....	17
2.2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES .....	18
2.3. DISEÑO DE MEZCLA.....	18
2.4. ELABORACION DE LOS ESPECIMENES .....	18
2.5. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y A LA TENSIÓN.....	19
2.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS .....	19
3. JUSTIFICACIÓN.....	20
4. ALCANCE .....	22
5. ANTECEDENTES.....	23
6. MARCO TEÓRICO. ....	26
6.1. CONCRETO .....	26
6.1.1. Concreto en Estado Fresco. ....	27
6.1.2. Concreto en Estado Endurecido .....	28
6.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO .....	29
6.2.1. Teoría de la elasticidad de los Materiales (Relación Esfuerzo – Deformación Unitaria).....	30
6.2.2. Definición de Módulo de Elasticidad de los Materiales .....	31
6.2.3. Determinación del Módulo de Elasticidad del concreto.....	33
6.2.4. Método del Segundo Teorema de Castigliano .....	34
6.2.5. Módulo de Elasticidad Estático según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.....	37
7. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	38
7.1. BÚSQUEDA DE MATERIALES .....	38
7.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES .....	39
7.2.1. Agregado Fino. ....	39
7.2.1.1 Granulometría.....	39
7.2.1.2 Peso Específico .....	40
7.2.1.3 Masa Unitaria.....	41
7.2.1.4 Resistencia a los sulfatos .....	42
7.2.1.5 Contenido de Materia Orgánica .....	42
7.2.2. AGREGADO GRUESO.....	43
7.2.2.1 Granulometría .....	43
7.2.2.2 Peso Específico. ....	43
7.2.2.3 Masa unitaria .....	44
7.2.2.4 Resistencia a los sulfatos .....	45

7.2.2.5	Máquina de los ángeles .....	45
7.2.3.	Cemento. ....	46
7.2.3.1	Peso Específico .....	46
7.3.	DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO.....	46
7.4.	CONSTRUCCIÓN DE VIGAS Y CILINDROS .....	48
7.4.1.	MATERIALES, EQUIPO Y HERRAMIENTAS .....	48
7.4.2.	ARMADA DE LA FORMALETA PARA VIGAS Y CILINDROS .....	48
7.4.3.	Curado de los Especímenes. ....	52
7.5.	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO. ....	52
7.5.1.	Determinación de las propiedades a los cilindros en estado endurecido.....	52
7.5.2.	Determinación de las Propiedades a las Vigas en Estado Endurecido.....	56
8.	RESULTADOS DE LABORATORIO.....	60
8.1.	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR.....	60
8.1.1.	Agregado Fino .....	60
8.1.1.1	Análisis Granulométrico de Agregado Fino.....	60
8.1.1.2	Propiedades Físico-Mecánicas Agregado Fino .....	61
8.1.2.	Agregado Grueso.....	61
8.1.2.1	Análisis Granulométrico de Agregado Grueso .....	61
8.1.2.2	Propiedades Físico-Mecánicas Agregado Grueso.....	62
8.2.	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ....	63
8.3.	RESULTADOS DISEÑO MEZCLA CONCRETO .....	63
8.3.1.	Verificación del Cumplimiento de los Agregados con las Recomendaciones Granulométricas ICONTEC 174.....	63
8.3.1.1	Agregado Fino .....	64
8.3.1.2	Agregado Grueso.....	65
8.3.2.	Elección del Asentamiento.....	66
8.3.3.	Elección Tamaño Máximo Nominal.....	67
8.3.4.	Estimación Contenido de Aire.....	68
8.3.5.	Estimación Cantidad de Agua de Mezclado .....	68
8.3.6.	Elección Relación Agua/Cemento.....	69
8.3.7.	Contenido de Cemento .....	70
8.3.8.	Estimación Volumen de los Agregados .....	70
8.3.9.	Determinación de Cantidades para un (1) m <sup>3</sup> de Concreto .....	70
9.	RESULTADOS MÓDULO DE ELASTICIDAD ENSAYO DE COMPRESIÓN Y ENSAYO DE FLEXIÓN.....	72
9.1.	Resultados Ensayo Resistencia a la Compresión.....	72
9.2.	Resultados Ensayo Módulo Elasticidad .....	73
9.3.	Resultados Módulo de Elasticidad Ensayo de Flexión.....	74

9.4.	Resultados Módulo de Elasticidad Según Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10.....	76
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78
10.1.	RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR.....	78
10.1.1.	Análisis Granulométrico de Agregado Fino.....	78
10.1.2.	Análisis Granulométrico de Agregado Grueso.....	79
10.2.	RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO. ....	79
10.3.	RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ....	80
10.4.	RESPECTO AL MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO A PARTIR DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN. ....	82
10.5.	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO POR MEDIO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN. ....	83
10.6.	RESPECTO AL MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO SEGÚN EL NSR – 10.....	85
10.7.	COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD ENSAYO DE COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y NSR – 10. ....	86
11.	CONCLUSIONES. ....	89
12.	RECOMENDACIONES.....	91
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	92
	ANEXO A. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.....	95
	ANEXO B. MASAS UNITARIAS SUeltas Y COMPACTAS .....	96
	ANEXO C. RESISTENCIA A LOS SULFATOS.....	97
	ANEXO D. CONTENIDO MATERIA ORGÁNICA AGREGADO FINO Y DESGASTE MÁQUINA DE LOS ÁNGELES AGREGADO GRUESO. ....	98
	ANEXO E. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO.....	99
	ANEXO F. RESULTADOS ESFUERZOS COMPRESIÓN CILINDROS DE CONCRETO Y MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	99
	ANEXO G. RESULTADOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ENSAYO DE COMPRESIÓN. ....	102
	ANEXO H. DIMENSIONES DE LAS VIGAS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN	
	151	
	ANEXO H. RESULTADOS MÓDULO DE ELASTICIDAD ENSAYO DE FLEXIÓN. ....	152

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Propiedades Físico - Mecánicas Agregado Fino .....	61
Tabla 2.	Propiedades Físico - Mecánicas Agregado Grueso.....	62
Tabla 3.	Caracterización del Cemento.....	63
Tabla 4.	Análisis Granulométrico Agregado Fino y NTC 174 .....	64
Tabla 5.	Análisis Granulométrico Agregado Grueso y NTC 174.....	65
Tabla 6.	Criterios de Selección de Asentamiento .....	67
Tabla 7.	Estimación de Contenido de Aire.....	68
Tabla 8.	Estimación Cantidad de Agua de Mezclado .....	69
Tabla 9.	Elección Relación Agua/Cemento .....	69
Tabla 10.	Diseño Mezcla de Concreto sin Ajuste de Agua .....	71
Tabla 11.	Diseño Mezcla de Concreto.....	71
Tabla 12.	Resultados Esfuerzo Compresión .....	72
Tabla 13.	Resultados Módulo Elasticidad Estático Ensayo Compresión	73
Tabla 14.	Resultados Módulo Elasticidad Estático Ensayo de Flexión	75
Tabla 15.	Resultados Módulo Elasticidad Estático Según Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10...	76
Tabla 16.	Análisis Resultados Propiedades Físico - Mecánicas Agregado Fino.....	78
Tabla 17.	Análisis Resultados Propiedades Físico - Mecánicas Agregado Grueso.....	79
Tabla 18.	Análisis Estadístico Esfuerzos Compresión.....	80
Tabla 19.	Normas de Control de Concreto. ....	81
Tabla 20.	Análisis Estadístico Módulo Elasticidad Compresión.....	83
Tabla 21.	Análisis Estadístico Módulo Elasticidad Flexión .....	84
Tabla 22.	Análisis Estadístico Módulo Elasticidad NSR-10 .....	86

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Flujograma de Actividades de la Metodología. ....	17
Figura 2.	Diagrama de Viga de Laboratorio sometida a Flexión .....	35
Figura 3.	Materiales en el laboratorio.....	39
Figura 4.	Ensayo de Granulometría .....	40
Figura 5.	Ensayo de Peso específico para agregado fino.....	40
Figura 6.	Ensayo de Masa unitaria para agregado fino. ....	41
Figura 7.	Ensayo de resistencia a los sulfatos .....	42
Figura 8.	Ensayo de contenido de materia orgánica.....	43
Figura 9.	Ensayo de Peso específico para agregado grueso .....	44
Figura 10.	Ensayo de Masa unitaria. a) Compactación del agregado grueso. b) Enrase del material en el molde. ....	44
Figura 11.	Máquina de los Ángeles.....	45
Figura 12.	Resumen de Metodología para el Diseño de la Mezcla de Concreto ACI 211 .....	47
Figura 13.	a) Construcción de la formaleta para las vigas b) Ubicación de la formaleta en Patio de Laboratorio.....	49
Figura 14.	Humedad natural .....	49
Figura 15.	Fundida de vigas y cilindros.....	50
Figura 16.	Prueba de Asentamiento. a) Levantamiento del cono b) Verificación del asentamiento de la mezcla .....	50
Figura 17.	Llenado de formaletas con concreto. a) Compactación del concreto b) Acabados de la viga.....	51
Figura 18.	Desformaleteo y reposo. a) Desformaleteo de vigas b) Reposo de cilindros.....	51
Figura 19.	Curado de especímenes.....	52
Figura 20.	Medición y Pesada de cilindros. a) Medición de cilindro b) Obtención de la masa del cilindro.....	53
Figura 21.	Prueba de resistencia a la compresión. a) Colocación de los cilindros b) Falla de los cilindros c) Lectura del resultado de la prueba.....	54
Figura 22.	Prueba de prueba de módulo de elasticidad estático. a) Refrentado en una cara b) Refrentado en dos caras c) Instalación de deformímetros al extensómetro d) Inicio de la prueba.....	55
Figura 23.	Traslado de vigas al Laboratorio de Resistencia de Materiales. a) Levantamiento de una viga con el cargador b) Transporte de la viga al camión c) Organización de vigas en el camión d) Descargue de vigas. ....	56
Figura 24.	Colocación de viga sobre apoyos, en la base de máquina de flexión. ....	57

Figura 25.	Viga sobre base de la máquina de flexión. a) Acomodación de la viga en los apoyos y centro de la fuerza. b) Viga lista a probar. ....	57
Figura 26.	Aplicación de la fuerza en el centro de la viga. ....	58
Figura 27.	Fractura de una (1) viga, mediante ensayo de flexión. ....	58
Figura 28.	Tipo de falla de las vigas mediante ensayo de flexión. ....	59
Figura 29.	Curva Granulométrica Agregado Fino .....	60
Figura 30.	Curva Granulométrica Agregado Grueso.....	62
Figura 31.	Verificación Granulometría Agregado Fino .....	64
Figura 32.	Verificación Granulometría Agregado Grueso .....	65
Figura 33.	Optimización de Granulometría .....	66
Figura 34.	Análisis Resultados Esfuerzo de Compresión .....	80
Figura 35.	Análisis Resultados Módulo Elasticidad Estático Ensayo de Compresión .....	82
Figura 36.	Análisis Resultados Módulo Elasticidad Estático Flexión ...	84
Figura 37.	Análisis Resultados Módulo Elasticidad Estático NSR-10 ..	85
Figura 38.	Análisis Resultados Comparación Módulo de Elasticidad Estático .....	87
Figura 39.	Análisis Resultados Comparación Módulo de Elasticidad Estático Promedio.....	88



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>TÍTULO:</b>	COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE CONCRETO NORMAL, CON EL ENSAYO DE COMPRESIÓN Y EL ENSAYO DE FLEXIÓN
<b>AUTOR(ES):</b>	MANUEL FABIÁN CARVAJAL BUENAHORA EDISSON ALIRIO GONZÁLEZ BARRAGÁN
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería Civil
<b>DIRECTOR(A):</b>	Claudia Patricia Retamoso Llamas

### RESUMEN

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR – 10), establece los requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de las edificaciones en la República de Colombia, por lo tanto se encarga de dar las condiciones de seguridad con las que deben contar las construcciones. Uno de los parámetros que establece el reglamento para el diseño de edificaciones, es el Módulo de Elasticidad del Concreto, el cual representa la rigidez del material y los desplazamientos que puede tener una estructura. En el presente trabajo de grado se realizaron treinta (30) vigas de concreto normal (no reforzadas), y sesenta (60) cilindros del concreto, utilizando materiales pétreos de Pescadero. Las vigas se ensayaron a flexión y a partir de esta prueba se obtuvo el Módulo de Elasticidad, aplicando la teoría de análisis de estructuras del Segundo Teorema de Castigliano. A los cilindros se les realizaron las pruebas de Compresión y de Módulo de Elasticidad. Del presente estudio se lograron obtener dos (2) Ecuaciones de Módulo de Elasticidad. La primera ecuación es  $E = 2056 \sqrt{f'c}$  en MPa, obtenida mediante el Ensayo de Compresión y del Módulo de Elasticidad del Concreto. La segunda ecuación corresponde a  $E = 1969 \sqrt{f'c}$  en MPa, obtenida por medio del Ensayo de Flexión. Se pudo comprobar que las Ecuaciones de Módulo de Elasticidad resultantes del trabajo de grado, son menores a la Ecuación que propone El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR – 10).

**PALABRAS CLAVES:** Módulo de Elasticidad, Concreto, Deformación, Esfuerzo de Compresión, Esfuerzo de Flexión, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR – 10).



## GENERAL SUMMARY OF DEGREE WORK

**TÍTULO:** COMPARISON OF THE MODULES OF ELASTICITY GIVES BY NORMAL CONCRETE, WITH COMPRESSION TEST AND BENDING TEST.

**AUTHOR(S):** MANUEL FABIÁN CARVAJAL BUENAHORA  
EDISSON ALIRIO GONZÁLEZ BARRAGÁN

**FACULTY:** Civil Engineering Faculty

**DIRECTOR:** Claudia Patricia Retamoso Llamas

### ABSTRACT

The Colombian Regulation of Construction Resistant Earthquake of 2010 (NSR - 10), establishes the minimal requirements for the design, construction and technical supervision of the buildings in the Republic of Colombia, therefore it takes charge giving the safety conditions with those who must count the constructions. One of the parameters that establishes the regulation for the design of buildings, is the Module of Elasticity of the Concrete, which represents the flexibility of the material and the displacements. In the present work of degree thirty (30) girders were realized of normal concrete and sixteen (60) cylinders made by the concrete use for construct the beams (do not reinforced), using stony materials of Pescadero. For the beams the Module of Elasticity was calculated with Bending Test, according to Second Castigliano Theorem; and to the cylinders they the calculation was realized using the compression and Module of Elasticity tests. The present study obtain two (2) equations of module of elasticity, the first equation is  $E = 2056 \sqrt{f'c}$  MPa, obtained by means of the test of compression and of the Module of Elasticity, the second equation corresponds to  $E = 1969 \sqrt{f'c}$  MPa, obtained by the Bending test according to the Second Castigliano Theorem. It was possible to verify that the resultant Equations of Module of Elasticity of this work of degree, are minor to the Equation that The Colombian Regulation of Construction Resistant Earthquake of 2010 (NSR - 10).

**KEY WORDS:** Module of Elasticity, Concrete, Deformation, Effort of Compression, Effort of Flexion, Colombian regulation of Construction Resistant Earthquake of 2010 (NSR - 10).

## INTRODUCCIÓN

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro muy importante para el análisis de estructuras ya que indica la deformación de los materiales por la acción de fuerzas que actúan sobre ellos, entendiéndose por deformación el cambio en las dimensiones y formas de una muestra.

Las deformaciones de una estructura son muy importantes, ya que de esta depende la seguridad de sus habitantes. Entre mayor sean las deformaciones que lograra tener la estructura, las personas tendrán más expuesta su seguridad ante eventuales sismos que en ella puedan suceder.

Para realizar el análisis de una estructura, se hace necesario conocer tanto las fuerzas internas de la estructura como sus deformaciones. Estas deformaciones se determinan conociendo el módulo de elasticidad del concreto.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR – 10), se encarga de dar las condiciones de seguridad con las que deben contar las construcciones. Es un deber seguirla y cumplirla a cabalidad, para que las construcciones sean resistentes a eventuales sismos.

La NSR-10, plantea en su título C, que los módulos de elasticidad de concreto de densidad normal, se realizan a través de la siguiente fórmula:  $4700 \cdot \sqrt{f'c}$ , en la cual  $f'c$  corresponde al esfuerzo de compresión del concreto normal en MPa.<sup>1</sup>

Sin embargo en trabajos de grado realizados anteriormente en la Universidad Pontificia Bolivariana, donde se han requerido ensayos de compresión al concreto; los módulos de elasticidad (E) resultantes, han dado valores inferiores a los que establece el Reglamento.

Según lo anterior, se requiere tener un parámetro de comparación, para observar si el ensayo que establece la Norma Técnica Colombiana NTC – 4025, para la determinación del Módulo de Elasticidad del concreto a partir del ensayo de compresión, arroja un valor confiable y es el mismo obtenido por medio de un ensayo de flexión en vigas, de tal manera que a partir del desplazamiento medido en el voladizo se obtiene un módulo de elasticidad por la fórmula de flexión para el caso específico, de esta manera permitiendo correlacionar ambos ensayos y compararlos con la NSR – 10.

---

<sup>1</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS) (1998). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR 98. Título C: Concreto Estructural.

Para hallar el módulo de elasticidad en el trabajo de grado, en el ensayo de flexión, se utiliza el método del Teorema de Castigliano para hallar el desplazamiento que tiene una estructura (pórtico).

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo General.**

Comparar los módulos de elasticidad obtenidos mediante el ensayo de flexión en una viga simplemente apoyada, con voladizo a la derecha, respecto al módulo de elasticidad del ensayo de compresión en cilindros de concreto.

### **1.2. Objetivos Específicos.**

Determinar la fórmula del módulo de elasticidad, para el ensayo de flexión, de tal manera que se obtenga este valor a partir de la carga externa aplicada y de las deformaciones medidas en laboratorio.

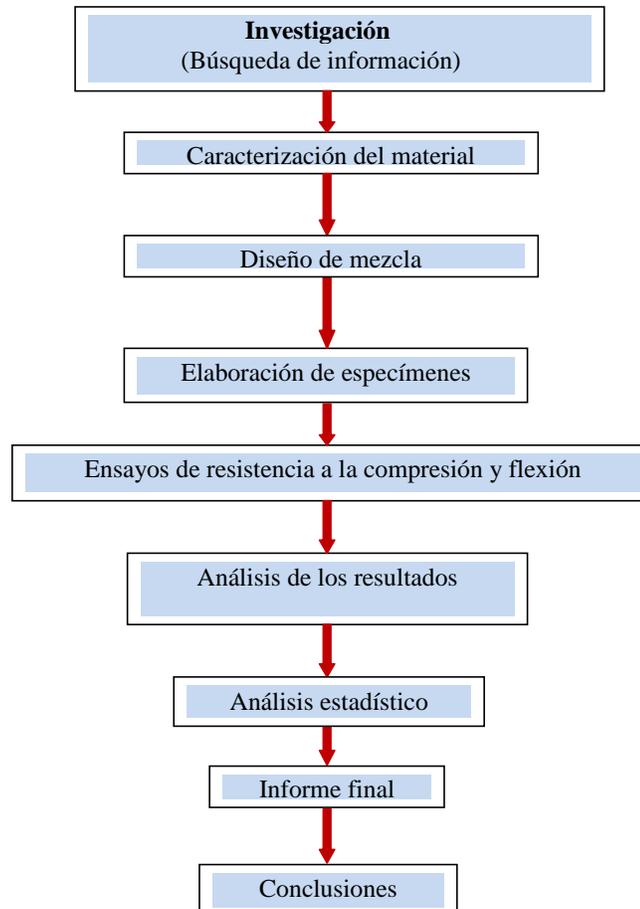
Obtener los módulos de elasticidad estáticos del concreto por medio del ensayo de compresión de cilindros de concreto, bajo la Norma Técnica Colombiana NTC – 4025.

Realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos de módulos de elasticidad a partir del ensayo de flexión y el ensayo de compresión del concreto.

Analizar y comparar los resultados obtenidos a partir de los dos ensayos, con el establecido por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR – 10).

## 2. METODOLOGIA

Para desarrollar el trabajo de grado, se desarrolló la metodología mostrada en la Figura 1, en este mismo capítulo se muestra el resumen de cada uno de los ítems que conforman la metodología.



**Figura 1. Flujograma de Actividades de la Metodología.**

### 2.1. INVESTIGACION

Se revisaron los antecedentes, entre los cuales se encuentran los diferentes trabajos de grado que se han realizado sobre el tema a desarrollar, para tener una guía de trabajo y analizar los resultados obtenidos.

Para la realización del Trabajo de Grado, se buscó información con respecto al módulo de elasticidad del concreto, las diferentes Normas Técnicas

Colombianas que se requieren para realizar los ensayos de los materiales pétreos, y las normas que especifican las pruebas.

## **2.2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES**

Cuando se refiere a la caracterización de los materiales, se desea establecer las características de un material determinado a partir de estudios de sus propiedades físicas, químicas y estructurales que cada uno de ellos poseen.

Para la realización del trabajo de grado se utilizaron materiales como: Agregado fino, Agregado grueso, Cemento. En cuanto a los materiales pétreos se obtuvieron de la fuente Pescadero, que es muy utilizada en Bucaramanga y su Área Metropolitana.

Luego de tener todos los materiales que a utilizar en el trabajo de grado, se procedió a realizar la caracterización de cada uno de ellos que arrojaron los siguientes ensayos, que de una manera más específica se trataran en el transcurso del texto.

Granulometría.  
Peso específico.  
Masa unitaria.  
Resistencia a los sulfatos.  
Contenido de materia orgánica.  
Máquina de los ángeles.

## **2.3. DISEÑO DE MEZCLA**

Para la realización del diseño de la mezcla se contó con los resultados obtenidos de los diferentes ensayos que se le realizaron tanto a los agregados grueso, fino y al cemento. Luego de la obtención de estos resultados se hizo una hoja de cálculo programada para sacar el diseño de mezcla. El diseño se hizo para obtener un concreto de 3000 psi. Cabe anotar que se utilizó el método del American Concrete Institute elaborado por el comité ACI 211.

## **2.4. ELABORACION DE LOS ESPECIMENES**

Se realizaron treinta (30) vigas de dimensiones de 1.2 m de largo por una sección de 0.3m de base y 0.3m de altura.

Los cilindros de concreto se construyeron en parejas de treinta (30) cilindros, por cada mezcla de concreto realizada para cada viga, en total se construyeron sesenta (60) cilindros de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro.

## **2.5. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y A LA TENSIÓN.**

A los cilindros se le realizaron ensayos de compresión y módulos de elasticidad. A las vigas se le realizaron ensayos de flexión con apoyos simples en sus extremos.

## **2.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS**

Se calcularon los resultados obtenidos en las pruebas de los cilindros y las vigas, se hallaron los Módulos de Elasticidad y se compararon con los obtenidos utilizando la ecuación que establece el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR – 10).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Dado que los valores anteriormente justificados para los módulos de elasticidad, en tesis validadas en su totalidad por la Universidad Pontificia Bolivariana, no concuerdan con los valores que establece el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente de 2010 (NSR-10), se tiene el interés de contribuir con una conclusión acertada sobre el comportamiento de dicho resultado al momento de compararlo con el valor del Reglamento (NSR-10), establecer otra metodología con la cual se compruebe que los módulos de elasticidad obtenidos en el ensayo de compresión de las muestras de cilindros de concreto, se validen con una prueba alternativa de una viga de concreto simple, sometida al ensayo de flexión.

Para hallar el módulo de elasticidad en el trabajo de grado, en el ensayo de flexión, se utiliza el método del Teorema de Castigliano para determinar el desplazamiento que tiene una estructura (viga). En el teorema de Castigliano se observa que el módulo de elasticidad es inversamente proporcional al desplazamiento así, por lo cual a partir de esta ecuación se obtendrá el módulo de elasticidad secante del concreto.

$$\delta = \frac{1}{E \cdot I} \int_0^{\ell} M \cdot \frac{\partial M}{\partial P}$$

En la ecuación anterior, se tiene que M es el momento interno de la estructura,  $\partial M/\partial P$  es la derivada interna del momento respecto a la carga aplicada en donde se determina el desplazamiento, I es la inercia del elemento estructural y E es el módulo de elasticidad del material. Como el desplazamiento ( $\delta$ ) es inversamente proporcional al módulo de elasticidad, se supone que entre mayor sea este módulo menor será el desplazamiento.

Cuando se realiza un proyecto analítico para determinar el módulo de elasticidad del material, se observa que los valores son inferiores a lo especificado en el Reglamento, por esta razón, es importante verificar si el ensayo de módulo de elasticidad que se está desarrollando en los laboratorios, arroja un resultado confiable y se puede comparar con el establecido en el Reglamento NSR – 10, esto utilizando la metodología alternativa de probar una viga en flexión simplemente apoyada.

Cuando se realizan simulaciones en el programa SAP2000, el programa solicita al diseñador estructural el módulo de elasticidad, como es de esperar, el diseñador utiliza el módulo de elasticidad que establece el Reglamento. Por esta razón, es necesario corroborar que los datos del ensayo de módulo

de elasticidad obtenido en compresión, bajo los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana NTC – 4025, son similares a los obtenidos con el ensayo de flexión en el mismo material.

De esta manera, se logra establecer si los datos que se obtienen en laboratorio son los correctos y lo que se debe modificar es el valor que establece el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10, para que estos datos sean más acordes con lo que sucede en las construcciones del país y así no utilizar un valor que se excede casi en el doble de los valores obtenidos en el laboratorio.

#### **4. ALCANCE**

El presente trabajo de grado se enfocó en calcular el módulo de elasticidad (E), mediante el ensayo de flexión y compresión, para luego compararlo con el valor que establece el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10; y determinar si el módulo de elasticidad propuesto por la NSR – 10, es un valor que se ajusta a los parámetros que se observan en campo.

Se realizaron treinta (30) vigas de concreto simple (no reforzada) y sesenta (60) cilindros, a los cuales se les realizó el ensayo de módulo de elasticidad propuesto por la Norma Técnica Colombiana NTC – 4025. Los primeros treinta (30) cilindros, se prueban a compresión, para determinar los valores máximos de cargas que se pueden aplicar y así poder desarrollar el ensayo de módulo de elasticidad en los cilindros gemelos realizados con el mismo material.

El ensayo de flexión que se utilizó para determinar el módulo de elasticidad a partir de un desplazamiento medido en laboratorio, es una alternativa, para validar los resultados obtenidos en el ensayo de compresión, en el cual se determina el módulo de elasticidad directamente.

Si los resultados obtenidos mediante los dos ensayos no son similares a los que establece el Reglamento NSR - 10; se estarán justificando las conclusiones de trabajos de grado anteriores, en los cuales se dedujo que el módulo de elasticidad que establece el Reglamento con los materiales utilizados en el concreto del país, arrojan valores inferiores.

## 5. ANTECEDENTES

En las distintas regiones de Colombia se encuentran gran variedad de materiales pétreos, que son utilizados para el sector de la construcción, especialmente para mezclas de concretos.

Estos materiales no son homogéneos en las distintas regiones, por lo tanto es importante que cada región o ciudad realice sus estudios con sus respectivos materiales pétreos, y cuenten con su propia ecuación para calcular el Módulo de Elasticidad Estático Secante del Concreto ( $E_c$ ).

La Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1.998, NSR-98; planteaba la ecuación de módulo de elasticidad para concretos cuya masa unitaria variaba entre 1450 y 2450 kg/m<sup>3</sup>, para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado:  $E = (W_c)^{1.5} 0.034 \sqrt{f'_c}$  en MPa. En ausencia de un valor experimental de  $E_c$ , o cuando no se disponía del valor de la masa unitaria del concreto, se podía utilizar, para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado la ecuación:  $E_c = 3900 \sqrt{f'_c}$  en MPa.<sup>2</sup>

Un estudio realizado por Ruiz Valencia y otros (2007)<sup>3</sup>, establecieron una ecuación para la estimación del Módulo de Elasticidad Estático del concreto ( $E_c$ ) en la ciudad de Santa Fé de Bogotá D.C. (actualmente Bogotá D.C.), utilizando materiales pétreos de dicha ciudad. La ecuación que propusieron fue:  $E_c = 2750 \sqrt{f'_c}$  en MPa; dando como resultado una ecuación de menor valor cuantitativo al que proponía la NSR-98.

La problemática planteada para la presente investigación en su objeto de estudio en Bucaramanga, ya ha sido tratada con anterioridad en tesis de grado de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga; pero teniendo también como base la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98.

---

<sup>2</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR-98: Ley 400 de 1997, decreto 33 de 1998. Santa fe de Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998. Título C: Concreto Estructural.

<sup>3</sup> RUIZ VALENCIA, Daniel y otros. Propuesta para la Modificación de la Ecuación para la Estimación del Módulo de Elasticidad del Concreto en función de la Resistencia a la Compresión para Bogotá. Revista Escuela Colombiana de Ingeniería No 67. 2007.

Hernández (2004)<sup>4</sup>, realizó un estudio para establecer la ecuación de Módulo de Elasticidad Estático del Concreto ( $E_c$ ), con concretos premezclados para las tres más importantes plantas de concreto de Bucaramanga y su Área Metropolitana.

En este estudio, la ecuación de mayor valor cuantitativo de Módulo de Elasticidad Estático del Concreto ( $E_c$ ), de las tres empresas más importantes de Bucaramanga, fue la siguiente:

- $E_c = 1878\sqrt{f'_c}$ , en MPa. (Empresa 1)
- $E_c = (W_c)^{1.5} 0.135\sqrt{f'_c}$ , en MPa. (Empresa 1)

Las ecuaciones propuestas anteriormente, son inferiores a las que proponía la NSR-98.

En otro estudio más reciente, realizado por Torrado y otro (2009)<sup>5</sup>, se realizaron especímenes de concreto con materiales pétreos de la región de Bucaramanga y su Área Metropolitana, para calcular una ecuación de Módulo de Elasticidad Estático del Concreto de Bucaramanga. Las ecuaciones propuestas en ese estudio fueron:

- $E_c = 1875\sqrt{f'_c}$ , en MPa.
- $E_c = (W_c)^{1.5} 0.016\sqrt{f'_c}$ , en MPa.

Igualmente a los trabajos anteriores, estas ecuaciones dadas, arrojaban valores menores a los que proponía la NSR 98.

En el año 2010, empezó a regir el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10, que también recomienda una ecuación para calcular el módulo de elasticidad en función de la resistencia a la compresión del concreto.

La ecuación que presenta la NSR-10, para calcular el Módulo de Elasticidad del Concreto,  $E_c$ , puede tomarse como  $W_c = 0.043\sqrt{f'_c}$  (en MPa), para

---

<sup>4</sup> HERNANDEZ SUAREZ, Adriana: Determinación de los módulos de elasticidad del Concreto Producido en Bucaramanga y su Área Metropolitana. Bucaramanga, 2005, Tesis (Ingeniera Civil). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil.

<sup>5</sup> TORRADO GOMEZ, Luz Marina y otro. Determinación de los Módulos de Elasticidad Estático y Dinámico del Concreto producido en Bucaramanga y su Área Metropolitana. Bucaramanga, 2009. Tesis (Ingeniera Civil). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil.

valores de Masa Unitaria ( $w_c$ ) comprendidos entre 1440 y 2560 kg/m<sup>3</sup>. Para concreto de densidad normal,  $E_c$  puede tomarse como  $E_c = 4700\sqrt{f_c}$  (en MPa), donde  $f_c$  corresponde al esfuerzo de compresión del concreto normal en MPa.<sup>6</sup>

Las ecuaciones planteadas en el Reglamento, están basadas en una media experimental nacional, y no regional. Adicionalmente las ecuaciones planteadas, son mayores cuantitativamente a las que planteaba la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98.

Es importante corroborar dichas ecuaciones, y tener la seguridad que aplicándola se obtienen las deformaciones que la estructura en su utilización normal recibirá.

---

<sup>6</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010. Título C: Concreto Estructural.C-8.5.

## **6. MARCO TEÓRICO.**

El estudio para determinar el módulo de elasticidad del concreto, es muy importante ya que de este depende el diseño y el análisis de diferentes estructuras.

El presente trabajo de grado está enfocado en calcular el módulo de elasticidad del concreto (E), mediante el ensayo de flexión y compresión, para luego compararlo con el valor que establece el Reglamento NSR-10; y determinar si el módulo de elasticidad propuesto por la NSR – 10, es un valor que se ajusta a los parámetros que se observan en campo.

El concreto, es el material más utilizado para la construcción en Colombia y en el mundo. Es fácil de trabajar dada que su forma líquida (concreto en estado fresco) permite adaptarse a cualquier forma que se desee, para que después de unas horas, se endurezca y sea un material muy resistente.

En este capítulo, se presentará una definición del concreto, así como los estados que éste sufre. Igualmente se explicará lo más relevante sobre módulo de la elasticidad del concreto que se ha considerado para el desarrollo de este proyecto de grado.

### **6.1. CONCRETO**

El concreto es un material compuesto por la mezcla de cemento, material de relleno, agua y aditivos (si se requiere).

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua<sup>7</sup>

El principal componente del concreto, es el cemento Portland, el cual ocupa entre el 7% y el 15% del volumen de la mezcla, el segundo componente son los agregados que ocupan entre el 59% y el 76%, y el tercer componente es

---

<sup>7</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto (Boletín de Ingeniería EB201). New York: Portland Cement Association, 1 p. 2004

el agua, que ocupa entre el 14% y el 18% del volumen de la mezcla; adicionalmente el aire atrapado ocupa entre el 1% y 3%.<sup>8</sup>

Es el material más utilizado en el mundo para la construcción, debido a que se puede adaptar a cualquier forma que se desee, y adquiere grandes resistencias, una vez este se endurezca.

Los factores que hacen del concreto un material de construcción universal son tan evidentes que ha sido utilizado de diversas maneras por miles de años, probablemente se comenzó a usar en el antiguo Egipto<sup>9</sup>

El concreto es muy utilizado para la construcción de casa, edificios de gran altura, carreteras, puentes, pisos y muchas otras aplicaciones.

#### **6.1.1. Concreto en Estado Fresco.**

El concreto en estado fresco, es aquel que se comporta en forma gelatinosa y se permite adaptar a cualquier forma que se desee, mediante la utilización de moldes o formaletas.

Es esencial que la consistencia o manejabilidad de concreto fresco sean tales que el concreto pueda compactarse adecuadamente y ser transportado, colocado y acabado con la facilidad suficiente para que no se segregue, lo cual perjudicaría la compactación<sup>10</sup>

El concreto en estado fresco tiene propiedades tales como: manejabilidad, cohesión y segregación y exudación.

La prueba más conocida y utilizada para medir la manejabilidad del concreto en estado fresco, que es una de las propiedades más importantes del concreto en este estado, es la prueba de asentamiento, la cual en Colombia se rige bajo la Norma Técnica Colombiana (NTC-396).

Esta prueba consiste en utilizar un cono truncado, al cual se le deposita concreto en estado fresco recién mezclado, se divide en tres (3) capas, aplicándole a cada capa 25 golpes hasta llenar el cono con concreto, para

---

<sup>8</sup> SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Concretos y Morteros: Manejo y colocación en obra. 2a Edición. Santa fe de Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto (Asocreto), 1998. 11 p.

<sup>9</sup> NILSON, Artur H. Diseño de Estructuras de Concreto. 12 edición. Santa Fe de Bogotá: McGraw Hill, 1993. 1 p.

<sup>10</sup> NEVILLE, A.M. y BROOKS, J.J. Tecnología del Concreto. México: Editorial Trillas, 1998. 65 p.

finalmente retirar el cono, y medir la diferencia de alturas entre el concreto fresco y la altura del cono. El grado de trabajabilidad se divide en muy bajo (0 – 25mm), bajo (25-50 mm), medio (25-100 mm) y alto (100-175 mm).<sup>11</sup>

La manejabilidad del concreto, se rige por la cantidad de agua que contenga, entre mayor cantidad de agua, la mezcla será más fluida y por lo tanto de mayor asentamiento. Igualmente a mayor cantidad de agua que contenga una mezcla de concreto en estado fresco, su resistencia se verá disminuida.

Igualmente para Colombia, como criterios de aceptación y rechazo del concreto en estado fresco, se debe cumplir los requisitos exigidos en la Norma Técnica Colombiana (NTC-3318).

### **6.1.2. Concreto en Estado Endurecido**

El concreto en estado endurecido es aquel que después de un periodo de tiempo, va adquiriendo las resistencias a la cual fue diseñado.

Existen dos términos importantes una vez sea mezclado el concreto: tiempo de fraguado y tiempo de curado. El primero hace referencia al cambio de estado plástico a estado endurecido del concreto, que por lo general es de 24 horas.

El proceso de curado se efectúa una vez el concreto este duro, y obtenga las formas adecuadas. Este proceso es muy importante ya que hace que el concreto desarrolle las propiedades deseadas.

El concreto no se endurece o se cura con el secado. El concreto (o más precisamente el cemento en él) necesita de humedad para hidratarse y endurecerse.<sup>12</sup>

El curado se puede realizar de distintas formas según el tipo de elemento construido, generalmente se utiliza la aspersion de agua en forma continua, inmersión en agua, o utilización de elementos (papel, tejidos de fique, laminas, u otras) que se colocan sobre el concreto para mantenerlos húmedos.

---

<sup>11</sup> Ibid., p. 71.

<sup>12</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto (Boletín de Ingeniería EB201). Op. Cit., 7 p.

Generalmente el concreto en estado endurecido adquiere todas sus propiedades de resistencia a la edad de 28 días, que es el tiempo al que generalmente se le aplica el proceso de curado al concreto.

El concreto en estado endurecido la propiedad más importante es la de la resistencia. El concreto en estado endurecido es capaz de resistir esfuerzos de compresión, flexión y tracción.

La resistencia a la compresión es una propiedad muy importante del concreto en estado endurecido, ya que es capaz de resistir esfuerzos axiales muy altos. Para determinar la resistencia a la compresión del concreto, en Colombia, se debe seguir la Norma Técnica Colombiana (NTC-673), en la cual generalmente se establece construir cilindros de concreto, y se prueban en las máquinas de compresión. Esta propiedad es utilizada para el diseño de estructuras, puentes y otras edificaciones.

La resistencia a la flexión o módulo de rotura, se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno.<sup>13</sup> Para realizar este ensayo en vez de elaborar cilindros de concreto, se elaboran vigas de concreto.

La resistencia a la tracción directa del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de la resistencia a la compresión.<sup>10</sup> El ensayo se rige en Colombia bajo la Norma Técnica Colombiana (NTC-722), pero no es necesario para cuestiones de diseño estructural.

## **6.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO**

El módulo de elasticidad del concreto, es una propiedad mecánica que indica la rigidez de un material. Su estudio es importante, dado que sirve como parámetro para determinar las deformaciones que tiene un material, al aplicarle esfuerzos.

Es muy importante conocer de un material que vaya a ser utilizado para funciones estructurales, tanto la resistencia que posee, como la deformación que tendrá dicho material al aplicarle una determinada carga.

---

<sup>13</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto (Boletín de Ingeniería EB201). Op. Cit., 9 p.

### 6.2.1. Teoría de la elasticidad de los Materiales (Relación Esfuerzo – Deformación Unitaria)

Cuando un cuerpo que está sometido a una carga externa es seccionado, hay una distribución de fuerza que actúa sobre el área seccionada que mantiene cada segmento del cuerpo en equilibrio. La intensidad de esta fuerza interna en un punto del cuerpo se denomina esfuerzo.<sup>14</sup>

El esfuerzo normal de un material, es el resultado de dividir una carga axial (P) con el área de la sección transversal.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación (1)}$$

El esfuerzo dado que es una fuerza dividida sobre un área, sus unidades según el sistema internacional (SI), la fuerza se denota en Newton (N) y el área en metros cuadrados (m<sup>2</sup>), expresándose en N/ m<sup>2</sup>, o Pascal (Pa). Para el sistema americano se mide la fuerza en libras (lb) y el área en pulgadas cuadradas (plg<sup>2</sup>), quedando el esfuerzo en lb/ plg<sup>2</sup>, psi.

La resistencia de un material no es el único criterio que debe utilizarse al diseñar estructuras. Frecuentemente, la rigidez suele tener la misma o mayor importancia. Así como otras propiedades como la dureza, tenacidad y ductilidad también influyen en la decisión de un material. Estas propiedades se determinan mediante pruebas, comparando los resultados obtenidos con patrones establecidos.<sup>15</sup>

Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo, ésta tiende a cambiar la forma y tamaño del cuerpo. A estos cambios se les llama deformación y ésta puede ser visible o prácticamente inadvertida si no se emplea el equilibrio apropiado para hacer mediciones precisas.<sup>16</sup>

A partir de una prueba de tensión o de compresión de un material, permite determinar el alargamiento que tienen diversos materiales al aplicarle cargas, ya que cualquier material al soportar una fuerza tiende a obtener deformaciones constantes en el mismo sentido que se está aplicando la fuerza.

---

<sup>14</sup> HIBBELER, Rusell C. Mecánica de Materiales. México: Cecsa. 1994. 27 p.

<sup>15</sup> SINGER, Ferdinand y Pytel, Andrew. Resistencia de materiales. 3a Edición. México: Harla. 1982. 27 p.

<sup>16</sup> HIBBELER, Rusell C. Op. Cit., 69 p.

La prueba consiste en someter una pieza de un determinado material (probeta), generalmente en aceros, a esfuerzos que se aumentan gradualmente hasta que el material llegue a la rotura.

Considerando una probeta con un área (A) a la que se le aplica en sus extremos una fuerza axial (F) ya sea a tensión o compresión. La probeta debido al esfuerzo se comienza a alargar. Aumentando progresivamente el valor de la fuerza (F) y midiendo las deformaciones que este sufriendo el material a lo largo de la fuerza, se puede graficar una curva llamada: diagrama de esfuerzo-deformación.

Desde el origen de la curva esfuerzo-deformación hasta un punto llamado límite de proporcionalidad, el diagrama es un segmento rectilíneo, de donde se deduce la tan conocida relación de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación, enunciada en el año 1678 por Robert Hooke.

El límite de proporcionalidad tiene una gran importancia, ya que toda la teoría subsiguiente respecto al comportamiento de los sólidos elásticos esta basada precisamente en la citada proporcionalidad: según la deformación así es la fuerza.<sup>17</sup>

Según Hooke, la deformación (unitaria)  $\varepsilon$  es el cociente del alargamiento (deformación total)  $\delta$  y la longitud  $L$  en la que se ha producido.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Un diagrama de esfuerzo-deformación, es importante en la ingeniería ya que proporciona un medio para obtener datos sobre la resistencia a tensión o compresión del material sin importar el tamaño o forma física del material.<sup>18</sup>

### **6.2.2. Definición de Módulo de Elasticidad de los Materiales**

El módulo elástico,  $E$ , proporciona una información muy práctica. Representa la rigidez del material (esto es, su resistencia a la deformación elástica), y se manifiesta como la cantidad de deformación durante la utilización normal

---

<sup>17</sup> SINGER, Ferdinand y Pytel, Andrew. Op. Cit., 29 p.

<sup>18</sup> HIBBELER, Rusell C. Op. Cit., 97 p.

del material por debajo de su límite elástico y también como el grado de recuperación elástica del material durante el conformado.<sup>19</sup>

Thomas Young (1773 – 1829), físico y médico inglés, fue el primero en definir el módulo elástico, anteriormente conocido como módulo de Young,  $E$ .

Cuando un material se comporta elásticamente y exhibe también una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria, se dice que es elástico lineal. La relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria en una barra sometida a tensión o compresión simple se expresa por la siguiente ecuación<sup>20</sup>:

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{Ecuación (3)}$$

Esta ecuación se conoce también como la ley de Hooke, Donde  $\sigma$  es el esfuerzo axial,  $\varepsilon$  es la deformación unitaria axial y  $E$ , es el módulo de elasticidad del material.

El módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación unitaria en la región elástica lineal. También se puede calcular como el cociente entre el esfuerzo y la deformación unitaria.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Como la pendiente tiene unidades de esfuerzo dividido entre deformaciones unitarias, el módulo de elasticidad,  $E$ , posee las mismas unidades.

Los valores comunes de módulos de elasticidad,  $E$ , para distintos materiales de ingeniería están a menudo tabulados en códigos de ingeniería y en libros de referencia.<sup>21</sup>

---

<sup>19</sup> SCHACKELFORD, James F. Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros. 6a Edición. Madrid: Pearson Education. 2005. 183 p.

<sup>20</sup> GERE, James m. y TIMOSHENKO, Stephen P. Mecánica de Materiales. 2a Edición. México: Grupo Editorial Iberoamericana. 1986. 23 p.

<sup>21</sup> HIBBELER, Rusell C. Op. Cit., 95 p.

### 6.2.3. Determinación del Módulo de Elasticidad del concreto

Generalmente los códigos de construcción en los países, generan las ecuaciones de modulo de elasticidad del concreto en función de esfuerzos de compresión al que hallan sido sometidos. Igualmente se puede calcular en el laboratorio mediante el ensayo del módulo de elasticidad según la norma técnica colombiana (NTC4025).<sup>22</sup>

Para determinar el módulo de elasticidad del concreto en Colombia, la norma técnica colombiana (NTC-4025) establece los parámetros del ensayo y los requisitos que se deben cumplir.

La NTC 4025 es una adopción idéntica (IDT) por traducción de la ASTM C469:2002.<sup>23</sup>

Se deben realizar probetas en concreto moldeadas cilíndricamente, y se deben probar una vez hayan cumplido los tiempos de fraguado y de curado previamente establecidos.<sup>22</sup>

Como el módulo de elasticidad se manifiesta como la cantidad de deformación que tiene un material al aplicarle fuerzas de compresión por debajo de su límite elástico, las cargas deben ser máximas del 40% de la carga máxima de resistencia del concreto.

Se puede usar cualquier tipo de máquina de ensayo capaz de imponer una carga a una tasa y a una magnitud fijada en el numeral 6.4. de la NTC 4025.

Se debe utilizar un extensómetro que cumpla los requisitos en el numeral 3. de la NTC 4025, para medir deformaciones de los cilindros una vez le están aplicando las fuerzas.

El módulo de elasticidad se calcula mediante la siguiente formula<sup>19</sup>:

---

<sup>22</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 4025: Concretos. Método de Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad Estático y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión. Bogotá. 2006.

<sup>23</sup> ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poissons Ratio of Concrete in Compression. Philadelphia, 2002, 5p, 3 il, (ASTM C469).

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \text{ Ecuación (5)}$$

Dónde:

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

$S_2$  = esfuerzo correspondiente al 40 % de la carga última.

$S_1$  = esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal,  $\varepsilon_1$ , de las 50 millonésimas, en MPa.

$\varepsilon_2$  = deformación longitudinal producida por el esfuerzo  $S_2$ .

#### 6.2.4. Método del Segundo Teorema de Castigliano

En 1879, Alberto Castigliano, un ingeniero de ferrocarriles italiano, publicó un libro en el que delineó un método para determinar la deflexión o la pendiente en un punto de una estructura, ya fuese ésta una armadura, una viga o un marco. Este método llamado segundo teorema de Castigliano o método del trabajo mínimo, es aplicable sólo a estructuras con temperatura constante, con soportes sin asentamientos y hechas de material con respuesta elástica lineal.<sup>24</sup>

Este método sirve para calcular las redundantes de un sistema estáticamente indeterminado, entendiéndose “redundante” como una incógnita que no se puede resolver con las ecuaciones de equilibrio estática.

El teorema original dice: “La componente de deflexión del punto de aplicación de una acción sobre una estructura, en la dirección de dicha acción, se puede obtener evaluando la primera derivada parcial de la energía interna de deformación de la estructura con respecto a la acción aplicada”.<sup>25</sup>

Si va a determinarse el desplazamiento de un punto, el teorema establece que éste es igual a la primera derivada parcial de la energía de deformación en la estructura con respecto a una fuerza que actúa en el punto y en la dirección del desplazamiento.

---

<sup>24</sup> HIBBELER, Rusell C. Análisis Estructural. 3a Edición. México: Prentice Hall. 1997. 417p.

<sup>25</sup> ESCAMILLA, Jairo U. Análisis de Estructuras. Santa Fe de Bogotá: Uniandes.1991. 69 p.

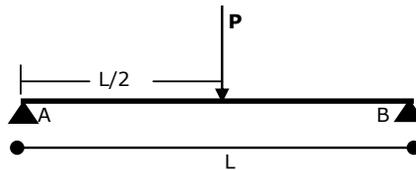
De manera similar, la pendiente en un punto de una estructura es igual a la primera derivada parcial de la energía de deformación en la estructura respecto a un momento concentrado que actúa en el punto y en la dirección de la rotación.<sup>24</sup>

En el teorema de Castigliano se observa que el módulo de elasticidad es inversamente proporcional al desplazamiento así:

$$\delta = \frac{1}{E \cdot I} \int_0^{\ell} M \cdot \frac{\partial M}{\partial P} \quad \text{Ecuación (6)}$$

En la ecuación anterior, se tiene que M es el momento interno de la estructura,  $\partial M/\partial P$  es la derivada interna del momento respecto a la carga ficticia aplicada en donde se determina el desplazamiento, I es la inercia del elemento estructural y E es el módulo de elasticidad del material.

El análisis de una viga simplemente apoyada (tal y como se realizó en laboratorio para el presente trabajo de grado), por el método del Segundo Teorema de Castigliano es el siguiente:



**Figura 2. Diagrama de Viga de Laboratorio sometida a Flexión**

Dónde:

P: Carga aplicada variable

L: Longitud de la viga.

Para determinar el valor de la deflexión en el punto donde se aplica la carga P a la viga, se procede a desarrollar el análisis de la deflexión de la viga y así, posteriormente se determina el módulo de elasticidad a partir de la relación que se establece entre la carga P aplicada y la deflexión ( $\delta$ ) encontrada.

A continuación se muestra la solución que se obtiene de las reacciones de la viga con la carga **P** aplicada.

$$RA = \frac{P}{2}$$

$$RB = \frac{P}{2}$$

Después que se determinan las reacciones de la estructura, se procede a desarrollar el análisis de los cortes de la viga de tal manera que se obtienen los momentos internos. En la viga en análisis se presentan dos cortes de la siguiente manera, en los cuales se obtiene la derivada parcial respecto a la carga P aplicada en el centro de la luz de la viga simplemente apoyada.

Corte 1:  $0 \leq x \leq L/2$

$$M1 = \frac{P}{2} \cdot x \Big|_0^{\frac{L}{2}} \qquad \frac{\partial M1}{\partial P} = \frac{x}{2}$$

Corte 2:  $L/2 \leq x \leq L$

$$M2 = \frac{L \cdot P}{2} - \frac{P \cdot x}{2} \Big|_{\frac{L}{2}}^L \qquad \frac{\partial M2}{\partial P} = \frac{L}{2} - \frac{x}{2}$$

Para determinar la deflexión, se utiliza la ecuación (6) del documento y se determina el valor de la deflexión en función del Módulo de Elasticidad Estático ( $E_c$ ), de la Inercia ( $I$ ), de la longitud de la viga ( $L$ ) y de la carga ( $P$ ) aplicada en el elemento.

$$\delta = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left[ \int_0^{\frac{L}{2}} \left( \frac{P}{2} \cdot x \right) \cdot \left( \frac{x}{L} \right) \cdot dx + \int_{\frac{L}{2}}^L \left( \frac{P \cdot L - P \cdot x}{2} \right) \cdot \left( \frac{L - x}{2} \right) \cdot dx \right]$$

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

### 6.2.5. Módulo de Elasticidad Estático según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR – 10)<sup>26</sup>, se encarga de dar las condiciones de seguridad con las que deben contar las construcciones. Es un deber seguirla y cumplirla a cabalidad, para que las construcciones sean resistentes a eventuales sismos.

El Título C del reglamento NSR-10 proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida según los requisitos del NSR-10 del cual el Título C forma parte. El Título C también cubre la evaluación de resistencia de estructuras existentes.

Este título fue elaborado por la AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). El Título C de la NSR-10 está basado en el documento “Requisitos de Reglamento para concreto estructural (ACI 318S-08)” preparado por EL Comité ACI 318 del American Concrete Institute, al cual se le han introducido modificaciones para adaptarlo al medio colombiano.

El módulo de elasticidad,  $E_c$ , para el concreto puede tomarse como  $E_c = 0.043\sqrt{f'c}$  (en MPa), para valores de Masa Unitaria del concreto  $w_c$  comprendidos entre 1440 y 2560 kg/m<sup>3</sup>. Para concreto de densidad normal,  $E_c$ , puede tomarse como  $E_c = 4700\sqrt{f'c}$ .<sup>27</sup> donde  $f'c$  corresponde al esfuerzo de compresión del concreto normal en MPa.

El módulo de elasticidad del concreto es sensible al módulo de elasticidad del agregado y puede diferir del valor especificado. Los valores medidos varían típicamente de 120 a 80 por ciento del valor especificado. La norma NTC 4025 (ASTM C469C.8.8) se describen métodos para la determinación del módulo de elasticidad del concreto.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR – 10), en su título C, a diferencia del reglamento anterior NSR-98, no dispone de ecuaciones para módulo de elasticidad según el origen de los agregados (Material ígneo, sedimentario, metafórico), cuando se dispone de  $w_c$  y  $f'c$ .

---

<sup>26</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS) (1998). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR 98. Título C: Concreto Estructural. C-1.

<sup>27</sup> Ibid. p. C-8.5.

## 7. ENSAYOS DE LABORATORIO.

Para el presente estudio, se realizaron treinta (30) vigas de concreto normal con unas dimensiones de 0,3 m x 0,3 m x 1,20 m, y sesenta (60) cilindros del concreto con un diámetro de 0,15 m y una altura de 0,3 m, a los cuales se les realizará el ensayo de compresión según la norma técnica colombiana NTC 673<sup>28</sup>, el ensayo de módulo de elasticidad propuesto por la Norma Técnica Colombiana NTC 4025<sup>29</sup>; y a las vigas 30 vigas el ensayo de flexión, utilizando el método del Teorema de Castigliano.

### 7.1. BÚSQUEDA DE MATERIALES

Los materiales que se utilizaron para construir las vigas y sus respectivos cilindros, fueron: Agregado fino (Arena), agregado grueso (Triturado) y cemento.

Para los materiales pétreos (arena y triturado) se buscaron fuentes de donde se extraen la mayor cantidad de materiales, para realizar las construcciones en el área metropolitana de Bucaramanga, Santander.

De las que se averiguaron, por cercanía, y calidad de los materiales, se estableció la fuente de Pescadero, que hace parte del cañón del Chicamocha, muy utilizada por las concreteras y constructores de la región.

Para el cemento, se utilizó cemento Portland tipo I, de una marca muy reconocida en Colombia y de amplia trayectoria en el mercado: Cemento Diamante.

En la Figura 3, se observa el sitio de acopio de los materiales utilizados en el proyecto de grado, los cuales se utilizaron para realizar la caracterización de los agregados y para realizar la mezcla de concreto.

---

<sup>28</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 673: Concretos. Concretos. Ensayo de resistencia a la Comprensión de Cilindros Normales de Concreto. Bogotá. 2000.

<sup>29</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 4025: Concretos. Método de Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad Estático y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión. Bogotá. 2006.



Fuente: Propia

**Figura 3. Materiales en el laboratorio**

## **7.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

Luego de encontrar y transportar los materiales, se procedió a la caracterización de los mismos, ensayando los materiales de acuerdo y siguiendo los parámetros de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) que se exigen para realizar el diseño de mezclas de concreto.

### **7.2.1. Agregado Fino.**

#### **7.2.1.1 Granulometría.**

Según lo estipulado en la Norma Técnica Colombiana (NTC-77), se tomó una muestra representativa de agregado que debe ser mínima de 300g., se secó en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} + - 5^{\circ}\text{C}$  hasta obtener una masa constante. Se lavó con el tamiz No. 200, se volvió a secar en el horno, para posteriormente pasar el material por una serie de tamices: No, 4, 8, 16, 30, 50, 100, Fondo. ; Y se pesó la masa retenida en cada tamiz.

Este ensayo sirvió para dibujar la curva granulométrica, y determinar el tamaño máximo del agregado (TM), el tamaño máximo nominal (TMN), y el módulo de finura (MF).

En la Figura 4, se puede observar parte del proceso de tamizado en los agregados finos, según la norma técnica colombiana (NTC-77).



Fuente: Propia

**Figura 4. Ensayo de Granulometría**

#### 7.2.1.2 Peso Específico

La Norma Técnica Colombiana (NTC-237), se utiliza para determinar la densidad y absorción del agregado fino, se tomó una muestra representativa del material para dejarla inmersa en agua durante  $24 \pm 4$  horas, luego se secó el material extendiéndolo en una superficie plana no absorbente, donde pasaba corriente de aire tibia, revolviéndolo hasta obtener un secado homogéneo (Figura 5).

Luego se debió comprobar que el material estuviera en condición superficialmente seca SSS, introduciéndolo en un cono, dándole 25 golpes con un pisón, y sí al momento de levantar el cono el agregado fino se asienta levemente, el material se encontraba superficialmente seco.



Fuente: Propia

**Figura 5. Ensayo de Peso específico para agregado fino.**

Luego se tomaron aproximadamente 500 g. de material, y se introdujeron en un picnómetro, para luego pesar la muestra más el picnómetro. Después se llenó con agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Luego se desairó la muestra en el picnómetro, y finalmente se pesó el picnómetro con la muestra y el agua.

Este ensayo sirvió para calcular la densidad promedio del material, y su porcentaje de absorción.

### 7.2.1.3 Masa Unitaria

Según lo estipulado en la Norma Técnica Colombiana (NTC-92), para los agregados finos se debió tomar una muestra de aproximadamente un 125% o 200% de cantidad requerida para llenar el molde requerido para este ensayo. La muestra se secó al horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$ . Se pesó el molde y se midió para calcular su volumen.

Para hallar la masa unitaria suelta, se introducía agregado fino hasta llenar el molde, se enrasaba y se pesaba (Figura 6). Este procedimiento se hizo tres (3) veces.

Para hallar la masa unitaria compacta, se dividía el molde en tres (3) capas homogéneas, se introducía agregado fino en la primera capa, se compactaba con 25 golpes, y así en la segunda y tercera capa hasta llenar el molde, se enrasaba y se pesaba. Este procedimiento se hizo tres (3) veces.



Fuente: Propia

**Figura 6. Ensayo de Masa unitaria para agregado fino.**

#### 7.2.1.4 Resistencia a los sulfatos

La Norma Técnica Colombiana (NTC-126), establece que se seleccionan los tamaños de muestra para cada tamiz según los resultados de la granulometría, y deben estar disponibles en cantidades del 5% según las cantidades estipuladas en la norma para agregado grueso. Se sometía el material a la acción de sulfatos, durante 14 a 16 horas, luego se extraía el material y se secaba en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$ , para luego volver a someter el material a la acción de sulfatos. Este procedimiento se realizó cuatro (4) veces.

Este ensayo sirvió para calcular la pérdida total por fracción, y la pérdida ponderada por fracción.

En la Figura 7, se observa el agregado fino sometido a la acción de sulfatos, en recipientes metálicos tapados.



Fuente: Propia

**Figura 7. Ensayo de resistencia a los sulfatos**

#### 7.2.1.5 Contenido de Materia Orgánica

Según la Norma Técnica Colombiana (NTC-127), se llenó un recipiente de vidrio con el agregado fino hasta el nivel de 130 ml, luego se añadió hidróxido de sodio al 3% hasta completar 200 ml. Se tapó el recipiente y se agitó fuertemente.

Se dejó el material durante 24 horas, y al otro día se comprobó el color del material con la cartilla de colores del laboratorio.

En Figura 8, se puede observar el recipiente de vidrio con el agregado fino e hidróxido de sodio.



Fuente: Propia

**Figura 8. Ensayo de contenido de materia orgánica**

## **7.2.2. AGREGADO GRUESO**

### **7.2.2.1 Granulometría**

En la Norma Técnica Colombiana (NTC-77), se establece que se debe tomar una muestra representativa de agregado grueso, según el tamaño máximo nominal escogido de 1 plg., el cual debió ser mínimo de 10 kg.

Se secó en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta obtener una masa constante. Se lavó el material, se volvió a secar en el horno, para posteriormente pasar el material por una serie de tamices: No, 1, 3/4, 1/2, 3/8, 4, Fondo. ; Y se pesó la masa retenida en cada tamiz.

Este ensayo sirvió para realizar la curva granulométrica, y determinar el tamaño máximo del agregado (TM), el tamaño máximo nominal (TMN), y el módulo de finura (MF).

### **7.2.2.2 Peso Específico.**

En la Norma Técnica Colombiana (NTC-176), para determinar la densidad y absorción del agregado grueso se tomó una muestra representativa del material, se pasa por el tamiz No. 4 para separar la muestra de finos, para luego dejarla inmersa en agua durante 24 horas, se le retiró el agua, se secó con una toalla, y se determinó su masa superficialmente seca (Figura 9).



Fuente: Propia

**Figura 9. Ensayo de Peso específico para agregado grueso**

Luego se determinó la masa de la muestra sumergida en agua, y posteriormente se secó el material en el horno, y se determinó su masa seca.

#### 7.2.2.3 Masa unitaria

En la Norma Técnica Colombiana (NTC-92), se define el mismo procedimiento para los agregados gruesos que para el agregado fino, tal y como se describe en el numeral 7.2.1.3.



a)



b)

Fuente: Propia

**Figura 10. Ensayo de Masa unitaria. a) Compactación del agregado grueso. b) Enrase del material en el molde.**

#### 7.2.2.4 Resistencia a los sulfatos

Según la Norma Técnica Colombiana (NTC-126), para los agregados gruesos el procedimiento fue el mismo para el agregado fino, tal y como se describe en el numeral 7.2.1.4.

#### 7.2.2.5 Máquina de los ángeles

Este ensayo se realizó según lo estipulado en la Norma Técnica Colombiana (NTC-98). Se tomó un tamaño de muestra de agregado grueso según la gradación del material, y de acuerdo a la norma se escogió el tipo de gradación para determinar la cantidad de material para el ensayo. Posteriormente se lavó la muestra y se secó en el horno.

Luego según el tipo de gradación se hallaba el número de esferas que se debían introducir con el material en el tambor de la máquina de los ángeles (Figura 11), hasta alcanzar 500 vueltas.

Después se sacó todo el material de la máquina, se lavó el material más grueso que el tamiz No. 12, y se secó al horno. Posteriormente se determinó su masa lavada y seca.



Fuente: Propia

**Figura 11. Máquina de los Ángeles**

### **7.2.3. Cemento.**

#### 7.2.3.1 Peso Específico

Este ensayo fue elaborado según la Norma Técnica Colombiana (NTC-221). Se tomaron 64 gr de cemento, y se adicionaron en un frasco de Le Chatelier con kerosene entre las marcas 0 ml y 1 ml. Al introducirle el cemento el volumen se desplazó y se tomó el volumen desplazado, para calcular el peso específico del cemento.

### **7.3. DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO**

A medida que se elaboraba un ensayo (empezando por la granulometría de los agregados), se realizaban los distintos cálculos para obtener los resultados de los ensayos. Los resultados de cada ensayo realizado, se encuentran en los anexos de este trabajo de grado.

Para realizar el diseño de la mezcla de concreto se utilizó el método del American Concrete Institute elaborado por el comité ACI 211.

El método americano ACI es el más conocido y ampliamente usado. Se fundamenta en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams. Consiste en seguir en forma ordenada una secuencia de pasos y determinar la cantidad de cada material en peso y en volumen, para un (1) m<sup>3</sup> de concreto.

Para el presente proyecto de grado, se estableció un concreto de una resistencia de 210 kgf/cm<sup>2</sup> (3000 psi), o 21 MPa; así como un asentamiento de diez (10) cm, para el diseño de la mezcla de concreto.

Los resultados de los ensayos que se necesitaron para el diseño, fueron tanto para agregado grueso y agregado fino:

Granulometría.

Módulo de finura de la arena.

Tamaño máximo de la grava.

Densidad aparente de la grava y de la arena.

Absorción de la grava y de la arena.

Masa unitaria compacta de la grava.

Humedad de los agregados inmediatamente antes de hacer la mezcla.

Densidad del cemento.

Un buen concreto fresco y endurecido depende en gran medida de la granulometría de los agregados. Por este motivo antes de dosificar las cantidades de arena y grava es necesario verificar que su distribución de tamaños esté comprendida dentro de un rango preestablecido y no obtener proporciones de agregado grueso y fino, no conveniente.

La Norma Técnica Colombiana 174 (ASTM C33), establece unas recomendaciones granulométricas para Agregado Fino y Grueso, los cuales en caso de no cumplir, el material granular no es apto para realizar un buen diseño de mezcla de concreto.

Igualmente se utilizó el Método Road Note Laboratory (RNL), el cual es un método gráfico para determinar el porcentaje de arena y de grava que representen una mezcla óptima de concreto.

El resumen de la metodología para el diseño de la mezcla de concreto según el método del American Concrete Institute elaborado por el comité ACI 211 (Figura 12).



Fuente: Sanchez de Guzmán Diego. "Tecnología del Concreto y del Mortero". Biblioteca de la Construcción. Editorial Presencia. 1991.

**Figura 12. Resumen de Metodología para el Diseño de la Mezcla de Concreto ACI 211**

## **7.4. CONSTRUCCIÓN DE VIGAS Y CILINDROS**

Una vez establecida las dimensiones de las vigas y de los cilindros a construir, se calculaba el volumen de una (1) viga y dos (2) cilindros, y se calculo las cantidades que se requerían para fundir estos especímenes, ya que se fundian con una misma mezcla de concreto.

Un factor importante fue el ajuste por humedad de los agregados momentos antes de fundir, para conocer la cantidad de agua que se debía aplicar a la mezcla, según el tiempo climático que estuviera haciendo en ese momento.

### **7.4.1. MATERIALES, EQUIPO Y HERRAMIENTAS**

Los materiales para realizar la mezcla de concreto como se ha repetido anteriormente fueron el agregado fino, agregado grueso, cemento y agua. Estos materiales se dejaron en el laboratorio de la universidad, donde se realizó el proceso de fundida de los elementos.

Los equipos utilizados fueron: una mezcladora que funcionaba a gasolina, propiedad de la Universidad Pontificia Bolivariana, y esta alcanzaba en una mezcla a fundir una (1) viga y sus dos (2) cilindros.

Las herramientas que se utilizaron fueron distintas palas, palustres, baldes, cono de asentamiento, y demás herramienta menor que fuese necesaria. Estas herramientas fueron prestadas por la Universidad en el laboratorio.

### **7.4.2. ARMADA DE LA FORMALETA PARA VIGAS Y CILINDROS**

Una vez teniendo en el laboratorio todos los materiales a utilizar, la mezcladora y las herramientas, se procedió primero a armar las formaletas de acuerdo a las dimensiones del presente proyecto de grado.

Para las vigas se construyeron con listones de metal, unidas entre sí, y dejándolas niveladas. (Figura 13)



a)



b)

Fuente: Propia

**Figura 13. a) Construcción de la formaleta para las vigas b) Ubicación de la formaleta en Patio de Laboratorio.**

Para los cilindros, las formaletas se encontraban en el laboratorio de la Universidad, y solo se necesitó lavarlas y ajustarlas.

### 1.1.1 PREPARACIÓN DEL CONCRETO

Posteriormente de haber dejado ya armada la formaleta, se programaba la cantidad de vigas así como de cilindros a fundir en el día, se alistaban los materiales el equipo y las distintas herramientas.

Luego se tomaba la humedad del material antes de comenzar a fundir, se calculaba, y se introducía el dato en la hoja de Excel del diseño de la mezcla (Figura 14), para conocer la cantidad de agua a utilizar.



Fuente: Propia

**Figura 14. Humedad natural**

Ya teniendo las cantidades de los materiales para fundir una (1) viga y sus dos (2) cilindros, se depositaba el agua, agregado fino, agregado grueso y el cemento en la mezcladora. Es importante aclarar que en este procedimiento, se utilizaron proporciones en volumen y no en peso, cubicando un elemento de tal manera que no se conocían los pesos exactos del agregado grueso, fino y cemento a adicionar en la mezcla.



Fuente: Propia

**Figura 15. Fundida de vigas y cilindros**

Cuando estuviera la mezcla homogénea, se tomaba una pequeña porción para realizar el ensayo de asentamiento según lo establece la Norma Técnica Colombiana (NTC-396), y el cual para el presente trabajo de grado debía ser cercano a diez (10) cm (Figura 16).



Fuente: Propia

**Figura 16. Prueba de Asentamiento. a) Levantamiento del cono  
b) Verificación del asentamiento de la mezcla**

Una vez se verificara que el asentamiento de la mezcla fuera el especificado para este proyecto, se introducía el concreto en las formaletas (viga y cilindros), en tres capas, compactándolas con 25 golpes cada una de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana (NTC-550). Posteriormente se golpeaban las paredes con un martillo de caucho, para sacar el aire, y por último los acabados (Figura 17).



Fuente: Propia

**Figura 17. Llenado de formaletas con concreto. a) Compactación del concreto b) Acabados de la viga**

Después de fundir la viga y los cilindros, se dejaban en reposo durante 24 horas, para el otro día quitar las formaletas y marcar cada viga con sus respectivos cilindros (Figura 18).



Fuente: Propia

**Figura 18. Desformaletado y reposo. a) Desformaletado de vigas b) Reposo de cilindros**

### 7.4.3. Curado de los Especímenes.

Luego de quitar la formaleta a los especímenes, se procedió a mantenerlos húmedos durante un tiempo mínimo de 28 días, para que adquirieran las propiedades y la resistencia deseada.

El curado de las vigas se hizo mediante sacos de arena previamente mojados debido a las dimensiones de la viga.

Los cilindros se depositaron en las pilas del Laboratorio de Ingeniería Civil de la UPB, durante el tiempo especificado (Figura 19).



Fuente: Propia

**Figura 19. Curado de especímenes.**

## 7.5. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

Una vez construidas las vigas y sus respectivos cilindros, se dejaron mínimo 28 días en curado para empezar a realizarles las respectivas pruebas.

### 7.5.1. Determinación de las propiedades a los cilindros en estado endurecido

Para los cilindros, de cada pareja se tomó uno (1) para realizarle la prueba de resistencia a la compresión del concreto, según la Norma Técnica

Colombiana NTC-673<sup>30</sup>, y al otro se le realizó la prueba de módulo de elasticidad estático según la NTC-4025<sup>31</sup>.

Primero se separaron los cilindros de sus respectivas parejas, se midieron y se tomó la masa de cada uno (Figura 20).



Fuente: Propia

**a)** **b)**  
**Figura 20. Medición y Pesada de cilindros. a) Medición de cilindro b) Obtención de la masa del cilindro**

Una vez medidos y pesados los cilindros, se procedió a realizarles la prueba de resistencia a la compresión del concreto, según la Norma Técnica Colombiana (NTC-673), en la máquina del laboratorio de la Universidad. (Figura 21).

Para la prueba de resistencia a la compresión, no se hizo necesario refrentar los cilindros, se utilizó en los extremos del cilindro, el neopreno para distribuir la carga aplicada en las probetas.

<sup>30</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 673: Concretos. Concretos. Ensayo De Resistencia A La Compresión De Cilindros Normales De Concreto. Bogotá. 2000.

<sup>31</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 4025: Concretos. Método de Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad Estático y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión. Bogotá. 2006.



a)

b)



c)

Fuente: Propia

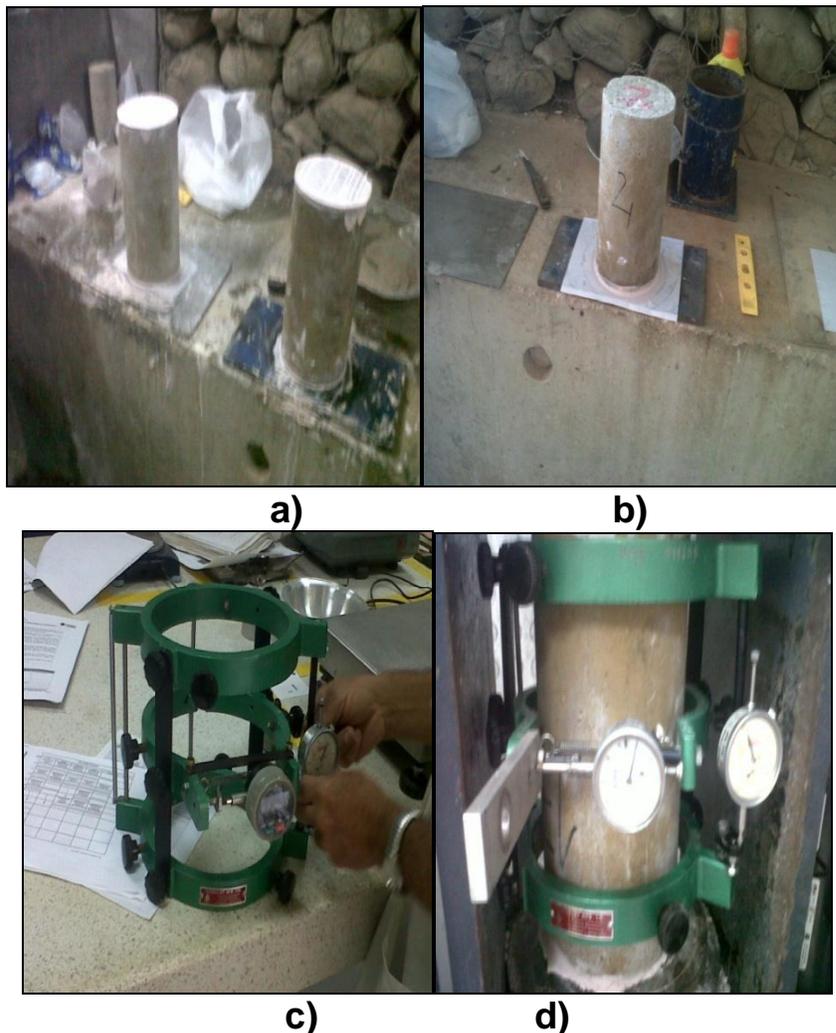
**Figura 21. Prueba de resistencia a la compresión. a) Colocación de los cilindros b) Falla de los cilindros c) Lectura del resultado de la prueba**

Una vez realizada la prueba de resistencia a la compresión, se obtuvieron los datos de esfuerzos, y se procedió a determinar en los cilindros gemelos, la prueba de módulo de elasticidad estático según la Norma Técnica Colombiana NTC-4025.

Para este ensayo se necesitó un extensómetro y junto a él se instalaron dos (2) deformímetros para medir deformaciones verticales y horizontales, aplicándoles una carga hasta el 40% de la carga máxima que resistió el

cilindro parejo en la prueba anterior (Resistencia a la compresión), tomando datos de deformaciones cada 20 KN.

Dado que la utilización del extensómetro donde se colocan los deformímetros impedía la utilización del neopreno, se hizo necesario antes de realizar la prueba refrentar los cilindros con yeso tipo 5, que es muy utilizado para labores odontológicas. No se utilizó en el refrentado azufre, como también lo recomienda la Norma Técnica Colombiana NTC-4025, ya que es perjudicial para la salud (Figura 22).



Fuente: Propia

**Figura 22. Prueba de prueba de módulo de elasticidad estático.**  
a) Refrentado en una cara b) Refrentado en dos caras c) Instalación de deformímetros al extensómetro d) Inicio de la prueba.

### 7.5.2. Determinación de las Propiedades a las Vigas en Estado Endurecido.

Para las treinta (30) vigas hechas en concreto con dimensiones de 0,3 m x 0,3 m x 1,20 m; se les aplicará el ensayo de flexión para determinar el módulo de elasticidad. Para hallar el módulo de elasticidad mediante el ensayo de flexión, se determina a partir del desplazamiento que tiene cada viga al aplicarle una fuerza. El procedimiento fue el siguiente:

Primero se procedió a trasladar las vigas desde lugar que se construyeron (Laboratorio de Materiales, Edificio A), al Laboratorio de Resistencia de Materiales, ubicado en el edificio I, de la Universidad Pontificia Bolivariana; donde se le realizaron a las treinta (30) vigas el ensayo de flexión. Para trasladar las vigas se utilizó un cargador y un camión (Figura 23).



Fuente: Propia

**Figura 23.** Traslado de vigas al Laboratorio de Resistencia de Materiales. a) Levantamiento de una viga con el cargador b) Transporte de la viga al camión c) Organización de vigas en el camión d) Descargue de vigas.

Las vigas se entraron al Laboratorio de Estructuras y se ubicaron al lado de la Máquina Universal. Este procedimiento se realizó manualmente con la ayuda de Personal de Servicios Generales, prestado por la UPB Bucaramanga.

Se realizó la prueba de flexión en las vigas, ubicándolas en la parte superior de una viga metálica que se utilizó para ese propósito. Debido al peso de las vigas, se utilizó apoyo de Personal de la UPB Bucaramanga y un listón de madera, para colocarlas sobre la base de la máquina. (Figura 24).



Fuente: Propia

**Figura 24. Colocación de viga sobre apoyos, en la base de máquina de flexión.**

Una vez teniendo una (1) viga sobre la base de la máquina, se acomodaba la viga de tal manera que la fuerza aplicada quedara en el centro de la viga; igualmente se le colocaban dos apoyos en cada extremo, dejando cinco (5) centímetros desde cada apoyo hasta el extremo de cada lado de la viga, para obtener una luz entre apoyos de 1.10 metros. (Figura 25).



Fuente: Propia

**Figura 25. Viga sobre base de la máquina de flexión. a) Acomodación de la viga en los apoyos y centro de la fuerza. b) Viga lista a probar.**

Se bajaba el disco de la máquina hasta rozar la viga, y se comenzaba a aplicar la fuerza tomando datos de Fuerza vs. Deformación cada treinta (30) segundos. (Figura 26)



Fuente: Propia

**Figura 26. Aplicación de la fuerza en el centro de la viga.**

Se tomaba la máxima fuerza que resistió y la mayor deformación que tuvo en la prueba. Seguidamente se bajaban los pedazos de viga fraccionados, se depositaban afuera del Laboratorio, y se procedía a subir la siguiente viga. Este procedimiento se realizó para las treinta (30) vigas del proyecto de grado. (Figura 27).



Fuente: Propia

**Figura 27. Fractura de una (1) viga, mediante ensayo de flexión.**

Todas las vigas fallaron en el sitio donde se le aplicaba la fuerza, en este caso en el centro de las vigas. (Figura 28).



Fuente: Propia

**Figura 28. Tipo de falla de las vigas mediante ensayo de flexión.**

Una vez obtenidos los resultados del Ensayo de Flexión de las treinta (30) vigas, y los resultados de los Ensayos de Compresión (NTC-673) y Modulo de Elasticidad NTC-4025 de los sesenta (60) cilindros; se procedió a realizar los cálculos correspondientes para el desarrollo del presente trabajo de grado.

## 8. RESULTADOS DE LABORATORIO.

De conformidad con la metodología seguida, los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para los agregados finos y gruesos, el cemento, el diseño de la mezcla de concreto, y los módulos de elasticidad, en el presente trabajo de grado con los siguientes:

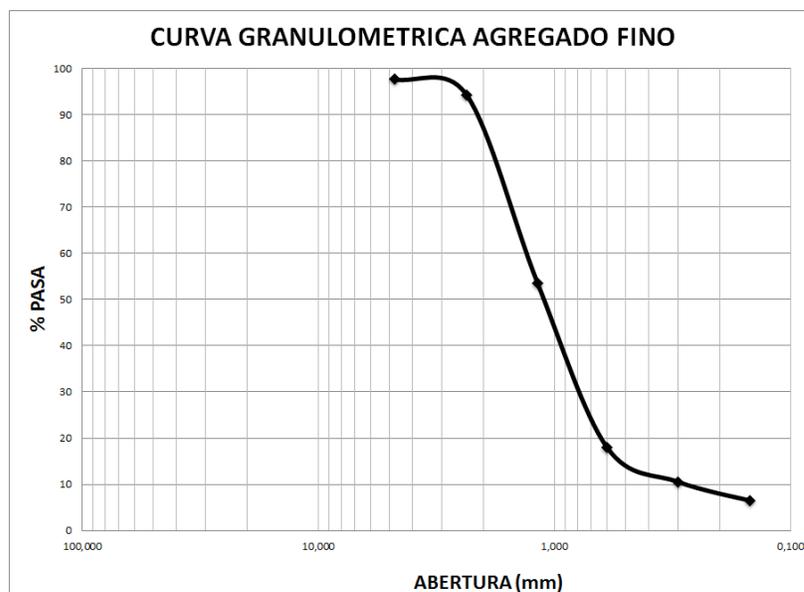
### 8.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR

A continuación se muestra la caracterización granular de los agregados utilizados para la elaboración de los cilindros y las vigas en concreto. El material granular o pétreo (Arena y triturado) utilizado se obtuvo de la Fuente de Pescadero.

#### 8.1.1. Agregado Fino

##### 8.1.1.1 Análisis Granulométrico de Agregado Fino

La curva granulométrica de un agregado es importante para observar la gradación que tiene un material. La Figura 29 muestra la curva granulométrica del agregado fino que se utilizó para el presente trabajo de grado.



Fuente: Propia

**Figura 29. Curva Granulométrica Agregado Fino**

Los resultados obtenidos en el ensayo de granulometría efectuado para el agregado fino se pueden observar en la Tabla 4.

#### 8.1.1.2 Propiedades Físico-Mecánicas Agregado Fino

En la Tabla 1, se pueden observar las Propiedades Físico-Mecánicas obtenidas para el agregado fino, en los diferentes ensayos descritos en la metodología.

**Tabla 1. Propiedades Físico - Mecánicas Agregado Fino**

PROPIEDAD FISICO-MECANICA	AGREGADO FINO	ANEXO
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )	2,426	A
Porcentaje de Absorción (%)	1,0	A
Masa Unitaria Suelta (g/cm <sup>3</sup> )	1,432	B
Masa Unitaria Compacta (g/cm <sup>3</sup> )	1,505	B
Resistencia a los Sulfatos (%)	9,44	C
Contenido Materia Orgánica (No.)	1	D

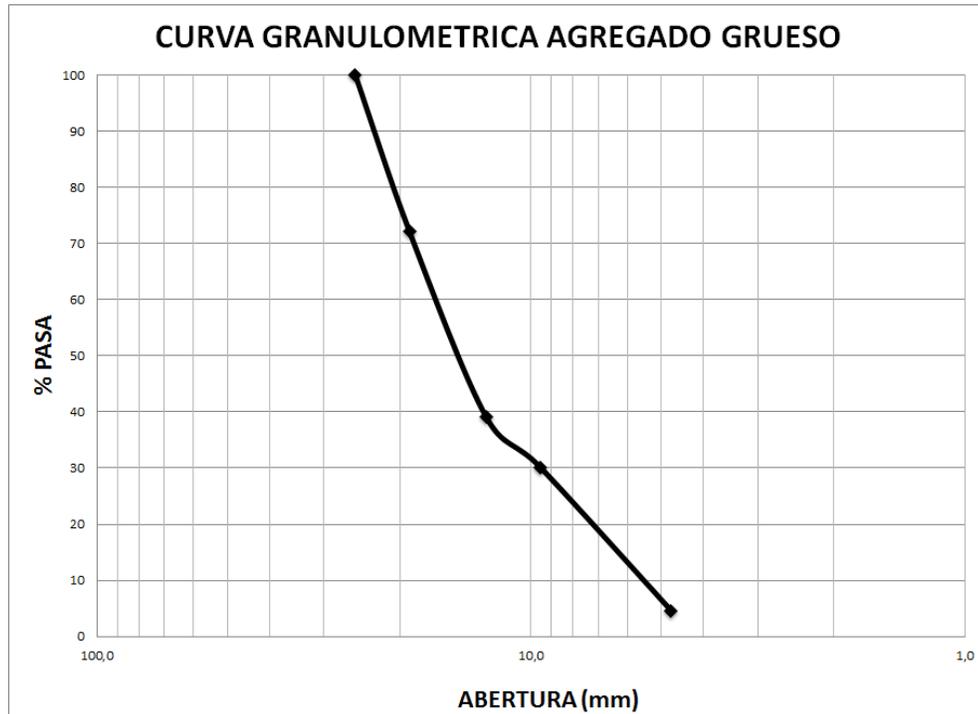
Fuente: Propia

#### 8.1.2. Agregado Grueso

##### 8.1.2.1 Análisis Granulométrico de Agregado Grueso

En el Agregado Grueso es importante conocer el Tamaño Máximo Nominal (TMN), la cual es la menor abertura de la serie de tamices, por la que pasa todo el material. El TMN que se obtuvo del Análisis Granulométrico para el Agregado Grueso fue de 19,05 mm (3/4 plg).

La Figura 30 muestra la curva granulométrica del agregado grueso utilizado para desarrollar la mezcla de concreto.



Fuente: Propia

**Figura 30. Curva Granulométrica Agregado Grueso**

Los datos específicos para trazar la curva granulométrica del agregado grueso se observa en la Tabla 5.

#### 8.1.2.2 Propiedades Físico-Mecánicas Agregado Grueso

En la Tabla 2, se observan las propiedades físico-mecánicas obtenidas para el agregado grueso, en los diferentes ensayos descritos en la metodología.

**Tabla 2. Propiedades Físico - Mecánicas Agregado Grueso**

PROPIEDAD FISICO-MECANICA	AGREGADO GRUESO	ANEXO
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )	2,661	A
Porcentaje de Absorción (%)	0,8	A
Masa Unitaria Suelta (g/cm <sup>3</sup> )	1,457	B
Masa Unitaria Compacta (g/cm <sup>3</sup> )	1,573	B
Resistencia a los Sulfatos (%)	4,81	C
Desgaste en Maquina de los Ángeles (%)	23	D

Fuente: Propia

## 8.2. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO

El cemento utilizado para el presenta trabajo de grado, fue cemento Portland tipo I marca Diamante, el cual es muy utilizado en Bucaramanga y su Área Metropolitana para labores de construcción.

Para el diseño de la mezcla de concreto es indispensable conocer la densidad del cemento. En la Tabla 3, se puede observar la densidad del cemento que se obtuvo mediante la Norma Técnica Colombiana (NTC-221).

**Tabla 3. Caracterización del Cemento**

<b>PROPIEDAD MECANICA</b>	<b>FISICO-</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>ANEXO</b>
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )		2,922	E

Fuente: Propia

## 8.3. RESULTADOS DISEÑO MEZCLA CONCRETO

Una vez teniendo todas las propiedades del Agregado Grueso, Agregado Fino y del Cemento, se procedió a realizar el diseño de la mezcla de concreto, siguiendo la metodología descrita en Figura 12.

Cabe anotar que el diseño de la mezcla se realizó siguiendo el método del American Concrete Institute elaborado por el comité ACI 211.

### 8.3.1. Verificación del Cumplimiento de los Agregados con las Recomendaciones Granulométricas ICONTEC 174

En Colombia, es posible que la arena, y el agregado grueso del que se dispone para elaborar el concreto cumplan con las recomendaciones granulométricas. Sin embargo, se puede hacer una optimización mezclando ambos en una proporción tal, que se puedan lograr relaciones agregado fino – grueso convenientes.

La Norma Técnica Colombiana (NTC-174), establece unos rangos granulométricos recomendados para el Agregado Fino y Agregado Grueso.

### 8.3.1.1 Agregado Fino

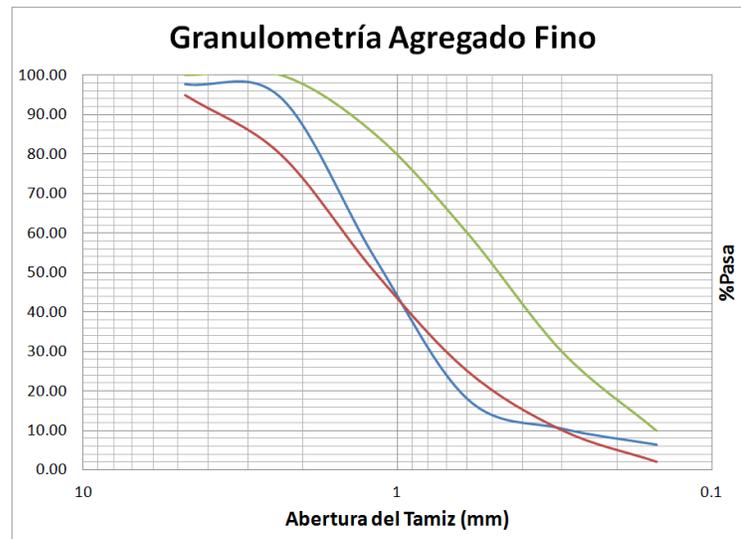
En la Tabla 4, se puede observar el Análisis Granulométrico del Agregado Fino y los rangos recomendados por la Norma Técnica Colombiana (NTC-174).

**Tabla 4. Análisis Granulométrico Agregado Fino y NTC 174**

GRANULOMETRÍA TRABAJO GRADO						ESPECIFICACIÓN ICONTEC		
$\phi$ (mm)	Tamiz	Peso Ret	% Retenido	% Ret Total	% Pasa	Tamiz	Mín. ICONTEC	Máx. ICONTEC
4,75	No4	99	2,27	2,27	97,73	4,75	95	100
2,36	No8	145	3,33	5,61	94,39	2,36	80	100
1,18	No16	1775	40,79	46,39	53,61	1,18	50	85
0,6	No30	1548	35,57	81,96	18,04	0,6	25	60
0,3	No50	326	7,49	89,45	10,55	0,3	10	30
0,15	No100	177	4,07	93,52	6,48	0,15	2	10
	Fondo	282	6,48	100,00	0,00			
<b>4352</b>								

Fuente: Propia

La Figura 31, muestra en la Línea Azul, el diámetro del tamiz y el Porcentaje (%) que pasa, en comparación con las especificaciones mínimas (Línea Roja) y máximas (Línea Verde) que establece la Norma.



Fuente: Propia

**Figura 31. Verificación Granulometría Agregado Fino**

### 8.3.1.2 Agregado Grueso

En la Tabla 5, se puede observar el Análisis Granulométrico del Agregado Grueso y los rangos recomendados por la Norma Técnica Colombiana (NTC-174).

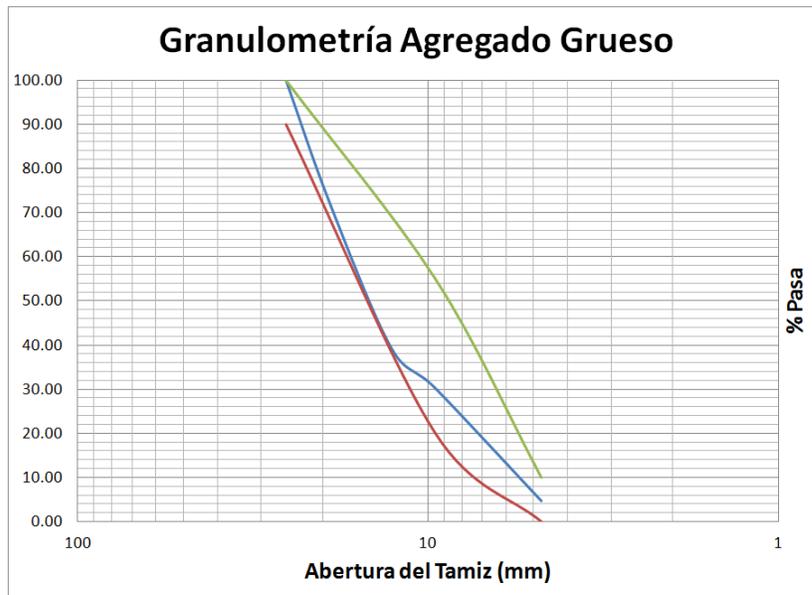
**Tabla 5. Análisis Granulométrico Agregado Grueso y NTC 174.**

ESPECIFICACIÓN TRABAJO DE GRADO						ESPECIFICACIÓN ICONTEC		
$\phi$ (mm)	Tamiz	Peso Ret	% Retenido	% Ret Total	% Pasa	Tamiz	Mín ICONTEC	Máx ICONTEC
25.4	1	0	0.00	0.00	100.00	25.4	90	100
19.05	3/4	3036	27.88	27.88	72.12	9.525	20	55
12.7	1/2	3589	32.96	60.84	39.16	4.75	0	10
9.525	3/8	981	9.01	69.84	30.16			
4.75	No4	2783	25.56	95.40	4.60			
	Fondo	501	4.60	100.00	0.00			

**10890**

Fuente: Propia

La Figura 32, muestra en la Línea Azul, el diámetro del tamiz y el Porcentaje (%) que pasa, en comparación con las especificaciones mínimas (Línea Roja) y máximas (Línea Verde) que establece la norma.



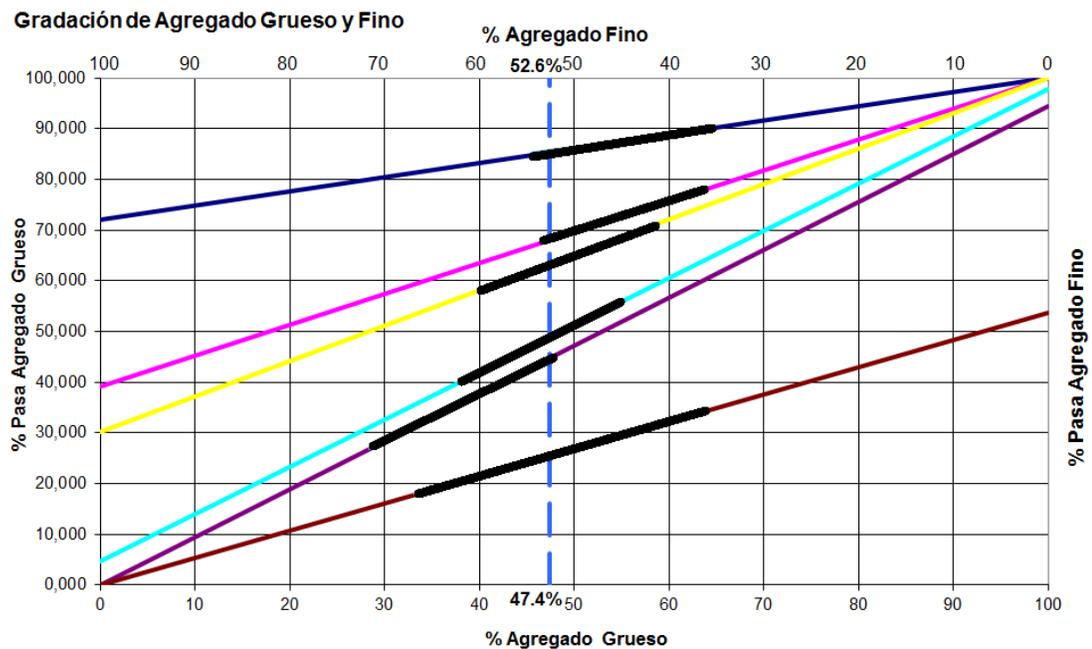
Fuente: Propia

**Figura 32.**

**Verificación Granulometría Agregado Grueso**

Una vez verificado que los agregados cumplieran lo especificado en la Norma Técnica Colombiana (NTC-174), se utilizó el Método Road Note Laboratory (RNL), el cual es un método gráfico para determinar el porcentaje de arena y de grava que representen la mezcla óptima de concreto.

En la Figura 33, se puede observar el resultado del gráfica de optimización de la granulometría.



Fuente: Propia

**Figura 33. Optimización de Granulometría**

En la Figura 33, se observa la escogencia de porcentaje de agregado grueso y agregado fino que se adiciona en la mezcla de concreto así:

% Agregado Fino = 52,6 %

% Agregado Grueso = 47,4 %

### 8.3.2. Elección del Asentamiento

La elección del asentamiento se basó en la Tabla 6, la cual tiene unos criterios de selección según la consistencia, grado de trabajabilidad y tipo de estructura.

**Tabla 6. Criterios de Selección de Asentamiento**

<b>Asentamiento (cm)</b>	<b>Consistencia de concreto</b>	<b>Grado de Trabajabilidad</b>	<b>Tipo de estructura y condiciones de colocación</b>
0 – 2.0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibradores de formaleta.
2.0 – 3.5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3.5 – 5.0	Semi-seca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones de concreto simple. Pavimentos con vibradores normales.
5.0 – 10.0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración.
10.0 – 15.0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración

Fuente: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight and mass concrete. ACI-211.1-91. Reapproved 2009. Farmington Hills, USA: ACI, 1991. p. 1-38.

Finalmente se escogió un asentamiento de diez (10) cm, para un concreto de consistencia media, grado de trabajabilidad medio (para vigas de concreto).

### **8.3.3. Elección Tamaño Máximo Nominal**

El tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso que se obtuvo mediante el análisis granulométrico fue de 19,05 mm (3/4 plg).

### 8.3.4. Estimación Contenido de Aire

Según el TMN que se obtuvo de 19,05 mm (3/4 plg), y considerando un ambiente Natural en el lugar que se realizó la mezcla de concreto, la Tabla 7, muestra el resultado de la estimación de contenido del aire, siguiendo el método del American Concrete Institute elaborado por el comité ACI 211.

**Tabla 7. Estimación de Contenido de Aire**

Agregado grueso TMN		Porcentaje de aire atrapado (%)	Porcentaje promedio total de aire incluido recomendado para los grados de exposición mostrados		
Pulgadas	mm		Suave	Medio	Severo
3/8	9,525	3	4,5	6	7,5
1/2	12,7	2,5	4	5,5	7
3/4	19,05	2	3,5	5	6
1	25,4	1,5	3	4,5	6
1 1/2	38,1	1	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2	4	5
3	76,2	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1	3	4

Fuente: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight and mass concrete. ACI-211.1-91. Reapproved 2009. Farmington Hills, USA: ACI, 1991. p. 1-38.

El porcentaje de aire escogido en la Tabla 7, se muestra a continuación.

Porcentaje de Aire= 2 %  
 Volumen de Aire= 0,02 m<sup>3</sup>

### 8.3.5. Estimación Cantidad de Agua de Mezclado

En base a la Tabla 8 del método del American Concrete Institute elaborado por el comité ACI 211, el cual establece que para un TMN de Agregado grueso de 19,05 mm (3/4 plg) y un asentamiento de 10 cm; el resultado de la Masa de Agua de Mezclado fue de 201,9 Kg.

Así mismo el volumen de agua de mezclado que ocupa en un (1) m<sup>3</sup> de concreto fue de 0,2019 m<sup>3</sup>.

**Tabla 8. Estimación Cantidad de Agua de Mezclado**

		Asentamiento 3 - 5 cm		Asentamiento 8 - 10 cm		Asentamiento 15 - 18 cm	
Agregado grueso TMN		Sin aire incluido	Con Aire incluido	Sin aire incluido	Con Aire incluido	Sin aire incluido	Con Aire incluido
Pulg	mm	Masa Agua	Masa Agua	Masa Agua	Masa Agua	Masa Agua	Masa Agua
3/8	9,525	205,95	180,95	226,90	201,90	241,90	216,90
1/2	12,7	199,60	174,73	214,60	189,73	229,47	204,60
3/4	19,05	186,90	166,27	201,90	181,27	212,53	191,90
1	25,4	179,60	159,60	194,60	174,60	204,60	184,60
1 1/2	38,1	162,53	146,90	177,53	161,90	187,53	171,90
2	50,8	154,60	139,80	169,60	154,80	179,60	164,80
3	76,2	143,45	133,84	158,45	148,84	168,45	158,84
6	152,4	124,40	119,55	139,40	134,55	149,40	144,55

Fuente: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight and mass concrete. ACI-211.1-91. Reapproved 2009. Farmington Hills, USA: ACI, 1991. p. 1-38.

### 8.3.6. Elección Relación Agua/Cemento

Para el presente trabajo de grado la resistencia a la compresión del concreto ( $f'c$ ) que se va a diseñar es de 21 MPa.

Basándose en la Tabla 9, la Relación Agua/Cemento fue de 0,58.

**Tabla 9. Elección Relación Agua/Cemento**

Resistencia a la compresión MPa	Concreto sin inductor de aire	Concreto con inductor de aire
	Relación absoluta por peso	Relación absoluta por peso
17,5	0,65	0,56
21	0,58	0,5
24,5	0,52	0,46
28	0,47	0,42
31,5	0,43	0,38
35	0,4	0,35

Fuente: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight and mass concrete. ACI-211.1-91. Reapproved 2009. Farmington Hills, USA: ACI, 1991. p. 1-38.

### 8.3.7. Contenido de Cemento

Conociendo la relación agua/cemento y la masa de agua de mezclado, el resultado del contenido de cemento para un (1) m<sup>3</sup>, es el cociente entre la masa de Agua y la relación agua/cemento, obteniendo como resultado 348,10 Kg.

Así mismo, conociendo el Peso Específico del cemento calculado en el laboratorio, el cual fue de 2,922 g/cm<sup>3</sup>, se calculó el Volumen del Cemento dividiendo la masa del cemento con el peso específico del mismo material, dando como resultado 0,119 m<sup>3</sup>.

### 8.3.8. Estimación Volumen de los Agregados

Conociendo el volumen que ocupa el Cemento, el Aire y el Agua dentro de la mezcla de concreto, se les restó a un (1) m<sup>3</sup> estos valores para calcular el Volumen de los Agregados, dando como resultado 0,65898 m<sup>3</sup>.

Utilizando los porcentajes de Agregado Fino y Grueso obtenidos mediante el gráfico Road Note Laboratory (RNL), tal y como se puede observar en la Figura 33 y los resultados de Peso Específico de los Agregados; se calculó el Volumen de Agregado Grueso utilizando el método del American Concrete Institute elaborado por el comité ACI 211, mediante la Ecuación que se presenta a continuación:

$$Vol_{agregadogrueso} = \frac{Vol_{totalagregados}}{1 + \frac{\% \text{ fino} \cdot \gamma_g}{\% \text{ grueso} \cdot \gamma_f}} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dando como resultado el Volumen para Agregado Grueso de 0,297 m<sup>3</sup>.

Para calcular el Volumen de Agregado Fino, se calculó realizando la diferencia entre el Volumen de los Agregados y el Volumen de Agregado grueso, dando un Volumen de Agregado Fino de 0,362 m<sup>3</sup>.

### 8.3.9. Determinación de Cantidades para un (1) m<sup>3</sup> de Concreto

En la Tabla 10, se puede observar los volúmenes obtenidos que ocupan los materiales en un (1) m<sup>3</sup> de concreto, así mismo la Masa de cada material,

sin tener en cuenta la cantidad de agua que tienen incluida los Agregados (Sin Ajuste de Agua).

**Tabla 10. Diseño Mezcla de Concreto sin Ajuste de Agua**

Material	Masa (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )
Aire	0	0	0,02
Agua	201,9	1000	0,2019
Cemento	348,1034483	2922,37	0,119
Agregado Grueso	790,8872651	2661	0,297
Agregado Fino	877,6512688	2426	0,362
<b>Total</b>	2218,541982		1

Fuente: Propia

Debido a que es importante tener en cuenta la cantidad de agua que tienen los agregados al momento de fundir, ya que dependiendo del agua contenida, las cantidades de los agregados y de agua, se incrementan o disminuyen.

El resultado del Diseño de Mezcla de Concreto con el ajuste de agua, el cual se calculó conociendo la Humedad Natural promedio de los Agregados al momento de fundir y los Porcentajes de Absorción de los Agregados, se puede observar en la Tabla 11, donde se encuentran la masa de cada material y el volumen que ocupa, para un (1) m<sup>3</sup> de concreto.

**Tabla 11. Diseño Mezcla de Concreto**

Material	Masa (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )
Aire	0,0000	0	0,02
Agua	136,3264	1000	0,2019
Cemento	348,1034	2922,37	0,119
Agregado Grueso	807,4959	2661	0,297
Agregado Fino	941,7198	2426	0,362
<b>Total</b>	2233,6456		1

Fuente: Propia

## 9. RESULTADOS MÓDULO DE ELASTICIDAD ENSAYO DE COMPRESIÓN Y ENSAYO DE FLEXIÓN.

Seguidamente de obtener los resultados del Diseño de la Mezcla de Concreto, se procedió a fundir las treinta (30) vigas y los sesenta (60) cilindros, teniendo en cuenta que de una (1) viga con la misma mezcla de concreto se realizaban dos (2) cilindros.

Para efecto del ensayo de modulo de elasticidad los resultados se enumeraron por muestras, que corresponde a una (1) viga y sus (2) cilindros de concreto.

Cabe anotar que todos los resultados que se van a mostrar a continuación, se pueden observar de manera más específica en los anexos.

### 9.1. Resultados Ensayo Resistencia a la Compresión

A los Cilindros se les realizó el Ensayo de Compresión según la Norma Técnica Colombiana (NTC-673).

En el ANEXO F, se puede observar los resultados del Ensayo a Compresión de los Cilindros, teniendo como resultado final el Esfuerzo de Compresión del Concreto ( $\sigma$ ). Los datos específicos para determinar los esfuerzos de compresión en los primeros cilindros se pueden observar en el.

**Tabla 12. Resultados Esfuerzo Compresión**

Muestra No.	$\sigma$ (MPa)
1	14,97
2	17,71
3	21,43
4	15,10
5	15,91
6	31,94
7	21,18
8	18,52
9	18,48
10	22,24
11	21,86
12	19,62
13	16,57
14	16,44

**Continuación Tabla 12. Resultados Esfuerzos de Compresión.**

<b>Muestra No.</b>	<b><math>\sigma</math> (MPa)</b>
15	15,25
16	12,38
17	12,27
18	12,30
19	21,11
20	15,50
21	13,10
22	16,12
23	19,44
24	15,82
25	15,22
26	23,75
27	23,43
28	23,48
29	18,56
30	17,42

Fuente: Propia

El Esfuerzo de Compresión del Concreto ( $\sigma$ ) promedio fue de 18,2 MPa.

**9.2. Resultados Ensayo Módulo Elasticidad**

A los Cilindros se les realizó el Ensayo de Módulo de Elasticidad según la Norma Técnica Colombiana (NTC-4025).

En la Tabla 13, se puede observar los resultados del Ensayo de Módulo de Elasticidad Estático de los Cilindros. Estos resultados, se pueden observar de manera más específica en el ANEXO G.

**Tabla 13. Resultados Módulo Elasticidad Estático Ensayo Compresión**

<b>Muestra No</b>	<b><math>E_{\text{compresión}}</math> (MPa)</b>
1	7848,8
2	8655,2
3	11116,1
4	8380,8
5	7534,4

**Continuación Tabla 13. Resultados Módulo Elasticidad Estático Ensayo Compresión.**

<b>Muestra No</b>	<b>E<sub>compresión</sub> (MPa)</b>
6	14363,9
7	9661,7
8	8297,0
9	7889,6
10	10721,7
11	10226,0
12	10229,0
13	7937,1
14	7189,2
15	7650,5
16	6237,6
17	5988,4
18	6658,7
19	10118,1
20	7191,0
21	6625,0
22	6694,9
23	12846,7
24	6913,3
25	6867,0
26	10422,4
27	11086,9
28	11000,1
29	8689,3
30	8151,9

Fuente: Propia

El Módulo de Elasticidad Estático Promedio del Concreto, calculado utilizando el Ensayo de Compresión fue de 8773,1 MPa.

**9.3. Resultados Módulo de Elasticidad Ensayo de Flexión.**

El Ensayo de Flexión se les realizó a treinta (30) Vigas de concreto, obteniendo datos de deformación a medida que aumentaba la carga aplicada. El Módulo de Elasticidad se calculó utilizando el Teorema de Castigliano, para la deflexión en el punto medio de la viga.

En la Tabla 14 se pueden observar los resultados del Módulo de Elasticidad Estático mediante el Ensayo de Flexión. Estos resultados, se pueden observar de manera más específica en el ANEXO H.

**Tabla 14. Resultados Módulo Elasticidad Estático Ensayo de Flexión**

Muestra No	$E_{\text{Flexión}}$ (MPa)
1	7119,8
2	7032,2
3	10455,0
4	7379,5
5	7072,3
6	13252,7
7	8249,8
8	7984,0
9	6907,4
10	9896,9
11	9422,2
12	9864,7
13	8716,1
14	7153,2
15	8067,3
16	6807,6
17	6192,3
18	7296,1
19	9512,9
20	7636,2
21	6188,5
22	6786,9
23	12305,1
24	6940,3
25	7085,8
26	9548,6
27	10174,6
28	10732,6
29	8272,7
30	7950,7

Fuente: Propia

El Módulo de Elasticidad Estático Promedio del Concreto, calculado utilizando el Ensayo de Flexión en Vigas fue de 8400,1 MPa.

#### 9.4. Resultados Módulo de Elasticidad Según Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10

Conociendo el Esfuerzo a la Compresión del Concreto ( $f'_c$ ) de cada muestra, se reemplazó el valor en la Ecuación de Módulo de Elasticidad Estático que plantea el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10.

En la Tabla 15, se puede observar los resultados del Módulo de Elasticidad utilizando la ecuación de Módulo de Elasticidad del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10.

La ecuación que establece el Reglamento para determinar el módulo de elasticidad estático del concreto es:

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} (MPa)^{3/2} \quad \text{Ecuación (8)}$$

**Tabla 15. Resultados Módulo Elasticidad Estático Según Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10.**

Muestra No	$\sigma$ (MPa)	$E_{NSR-10}$ (MPa)
1	14.97	18183,8
2	17.71	19780,5
3	21.43	21757,3
4	15.10	18266,0
5	15.91	18747,2
6	31.94	26563,9
7	21.18	21632,4
8	18.52	20226,2
9	18.48	20206,9
10	22.24	22165,6
11	21.86	21976,9
12	19.62	20817,4

<sup>32</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10. Numeral C.8.5.1. Pág. C-112. 2010.

**Continuación Tabla 15. Resultados Módulo Elasticidad Estático Según Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10.**

<b>Muestra No</b>	<b><math>\sigma</math> (MPa)</b>	<b>ENSR-10 (MPa)</b>
13	16.57	19132,7
14	16.44	19059,6
15	15.25	18356,6
16	12.38	16533,8
17	12.27	16464,2
18	12.30	16482,5
19	21.11	21592,5
20	15.50	18504,8
21	13.10	17009,1
22	16.12	18873,3
23	19.44	20720,5
24	15.82	18696,4
25	15.22	18333,2
26	23.75	22904,6
27	23.43	22748,0
28	23.48	22773,4
29	18.56	20249,4
30	17.42	19617,1

Fuente: Propia

El Módulo de Elasticidad Estático Promedio del Concreto, calculado utilizando la ecuación de Módulo de Elasticidad del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10 fue de 19945,9 MPa.

## 10. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo del presente trabajo de grado, se realizó en análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior. En el caso de los materiales granulares y del cemento, se analizó en base a las especificaciones recomendadas por las Normas Técnicas Colombianas (NTC) para la escogencia de agregados. En relación a los resultados obtenidos de Módulo de Elasticidad se analizaron los obtenidos por Ensayo de Compresión y Flexión, y se compararon con el establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10.

### 10.1. RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR

#### 10.1.1. Análisis Granulométrico de Agregado Fino.

Los resultados obtenidos mediante el Análisis Granulométrico del Agregado Fino, se verificaron utilizando las Especificaciones de los Agregados para el Concreto, que estipula la Norma Técnica Colombiana (NTC-174).

En la Figura 31 del numeral 8.3.1, se puede observar que el Agregado Fino se encuentra dentro de los requisitos mínimos y máximos que estipula la Norma Técnica Colombiana (NTC-174).

#### 5.1.1.2 Propiedades Físico-Mecánicas Agregado Fino.

En cuanto a las propiedades Físico-Mecánicas del Agregado Fino, en la Tabla 16, se puede observar las propiedades físico-mecánicas del agregado fino en comparación con las especificaciones de los Agregados para el Concreto (NTC-174) y el grado de cumplimiento (A)

**Tabla 16. Análisis Resultados Propiedades Físico - Mecánicas Agregado Fino**

PROPIEDAD MECÁNICA	FÍSICO-	NTC-174	AGREGADO FINO	A
Contenido Materia Orgánica (Color No.)	Orgánica	Libre Cantidades Perjudiciales de Materia orgánica	1	OK
Resistencia a los Sulfatos (%)		< 10%	9,44	OK

Fuente: Propia

Como se puede observar, el Agregado Fino utilizado para el presente trabajo de grado cumple las especificaciones de los agregados para el concreto, según la Norma Técnica Colombiana (NTC-174).

#### 10.1.2. Análisis Granulométrico de Agregado Grueso.

Los resultados obtenidos mediante el Análisis Granulométrico del Agregado Grueso, se verificaron utilizando las Especificaciones de los Agregados para el Concreto, que estipula la Norma Técnica Colombiana (NTC-174).

En la Figura 32 del numeral 8.3.1.2, se puede observar que el Agregado Grueso se encuentra dentro de los requisitos mínimos y máximos que estipula la Norma Técnica Colombiana (NTC-174).

#### 5.1.4 Propiedades Físico-Mecánicas Agregado Grueso

En relación a las propiedades Físico-Mecánicas del Agregado Grueso, en la Tabla 17, se puede observar las propiedades físico-mecánicas del agregado grueso en comparación con las especificaciones de los Agregados para el Concreto (NTC-174).

**Tabla 17. Análisis Resultados Propiedades Físico - Mecánicas Agregado Grueso**

PROPIEDAD MECANICA	FISICO-	NTC-174	AGREGADO GRUESO	A
Desgaste en Maquina de los Ángeles (%)		< 50%	23	OK
Resistencia a los Sulfatos (%)		< 10%	4,81	OK

Fuente: Propia

Como se puede observar, el Agregado Grueso utilizado para el presente trabajo de grado cumple las especificaciones de los agregados para el concreto, según la Norma Técnica Colombiana (NTC-174).

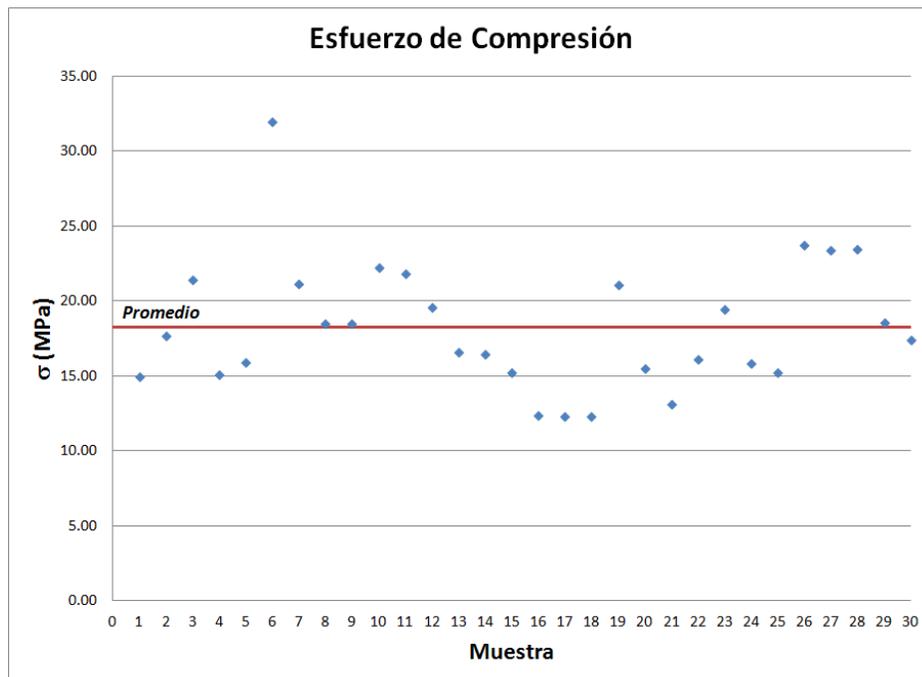
#### 10.2. RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO.

Teniendo como base que el Peso Específico de un Cemento Portland Tipo I está entre 2,9 y 3,2 g/cm<sup>3</sup>, y comparándolo con el resultado del Peso Específico del cemento utilizado para el presente trabajo de grado, el cual

fue de 2,92 g/cm<sup>3</sup>, se puede analizar que está entre los rangos normales y el cemento utilizado fue confiable.

### 10.3. RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

En la Figura 34, se observan los esfuerzos de compresión del concreto ( $\sigma$ ), obtenidos mediante el ensayo de compresión y el esfuerzo promedio de los mismos.



Fuente: Propia

**Figura 34. Análisis Resultados Esfuerzo de Compresión**

En la Tabla 18 se observan los Datos Estadísticos de los Esfuerzos de Compresión.

**Tabla 18. Análisis Estadístico Esfuerzos Compresión**

Datos Estadísticos	Resultado
Media	18,24 MPa
Desv. Estándar	4.29 MPa
Coef. Variación	23.5%
Min.	12.27 MPa
Máx.	18.24 MPa

Fuente: Propia

Como se pudo analizar, el esfuerzo de compresión Promedio es de 18,2 MPa, el cual es muy cercano al que inicialmente se diseñó que fue de 21 MPa. Así mismo se obtuvo un Esfuerzo de Compresión Mínimo de 12,3 MPa y uno Máximo de 31,9 MPa.

Para realizar un mejor análisis de los resultados obtenidos en el Ensayo de Resistencia a la Compresión, en la Tabla 19, se especifican unas normas para el control del concreto, utilizando la Desviación Estándar en  $\text{Kg/cm}^3$ , que para este trabajo de grado es de 43,7 o el Coeficiente de Variación.

**Tabla 19. Normas de Control de Concreto.**

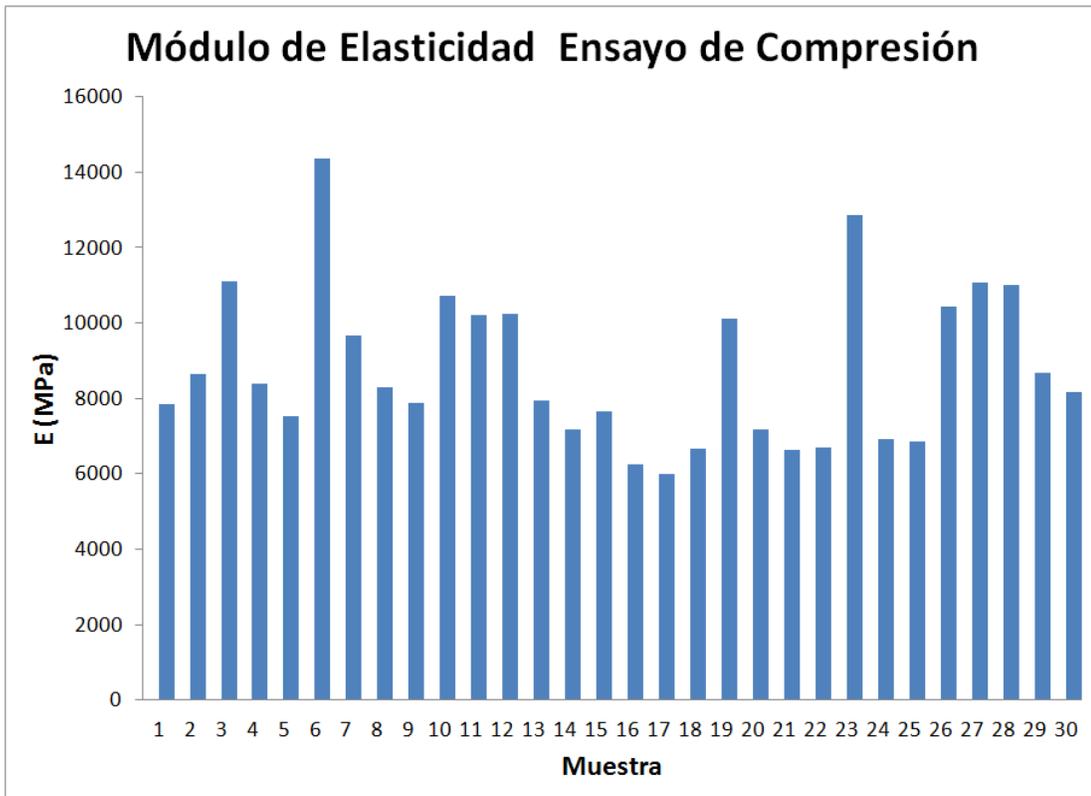
PRODUCCIÓN GENERAL - VARIACIÓN TOTAL					
CLASE DE OPERACIÓN	Desviación Estándar para Diferentes Grados de Control en ( $\text{Kg/cm}^2$ ) (Coeficiente de Variación para Diferentes Grados de Control en %)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
Pruebas de Control de Campo	Menor de 25 (Menor de 10)	25 - 35 (-)	35 - 40 (10 - 15)	40 - 50 (15 - 20)	Mayor de 50 (Mayor de 20)
Mezcla de Prueba de Laboratorio	Menor de 15 (Menor de 5)	15 - 17 (-)	17 - 20 (5 - 7)	20 - 25 (7 - 10)	Mayor de 25 (Mayor de 10)

FUENTE: SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. 2a Edición. Santa fe de Bogotá: Presencia, 1991. 349 p.

En base a la Tabla 19, se puede deducir que el concreto diseñado, producido y ensayado tiene un control de calidad Pobre, debido a que las humedades fueron alteradas con respecto a las analizadas, y a que en los tiempos de fundida transcurría época de invierno con precipitaciones muy altas y los materiales estaban a la interperie.

#### 10.4. RESPECTO AL MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO A PARTIR DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN.

En la Figura 35, se observa los Módulos de Elasticidad ( $E_c$ ), obtenidos mediante el Ensayo de Compresión y Módulo de Elasticidad utilizando los Cilindros de concreto.



Fuente: Propia

**Figura 35. Análisis Resultados Módulo Elasticidad Estático Ensayo de Compresión**

En la Tabla 20 se observan los Datos Estadísticos de los Módulos de Elasticidad Estático del Ensayo de Compresión.

**Tabla 20. Análisis Estadístico Módulo Elasticidad Compresión**

Datos Estadísticos	Resultado
Media	8773,1
Varianza	4227786,7
Desv. Estándar	2056,2
Coef. Variación	23,4%
Min.	5988,4
Máx.	14363,9

Fuente: Propia

Como se pudo observar los resultados de Módulo de Elasticidad ( $E_c$ ), calculados concuerdan entre sí, salvo algunas muestras que excedieron el valor promedio de los otros datos.

Tomando como referencia los valores promedio de los resultados de Módulo de Elasticidad Estático a Compresión ( $E_c$ ) y Esfuerzos de Compresión del Concreto ( $\sigma$ ); se determinó una Ecuación de Módulo de Elasticidad Estático mediante el Ensayo de Compresión, de la siguiente manera:

$E_{\text{compresión promedio}} = 8773,1 \text{ MPa.}$

$F'_c \text{ promedio} = 18,2 \text{ MPa}$

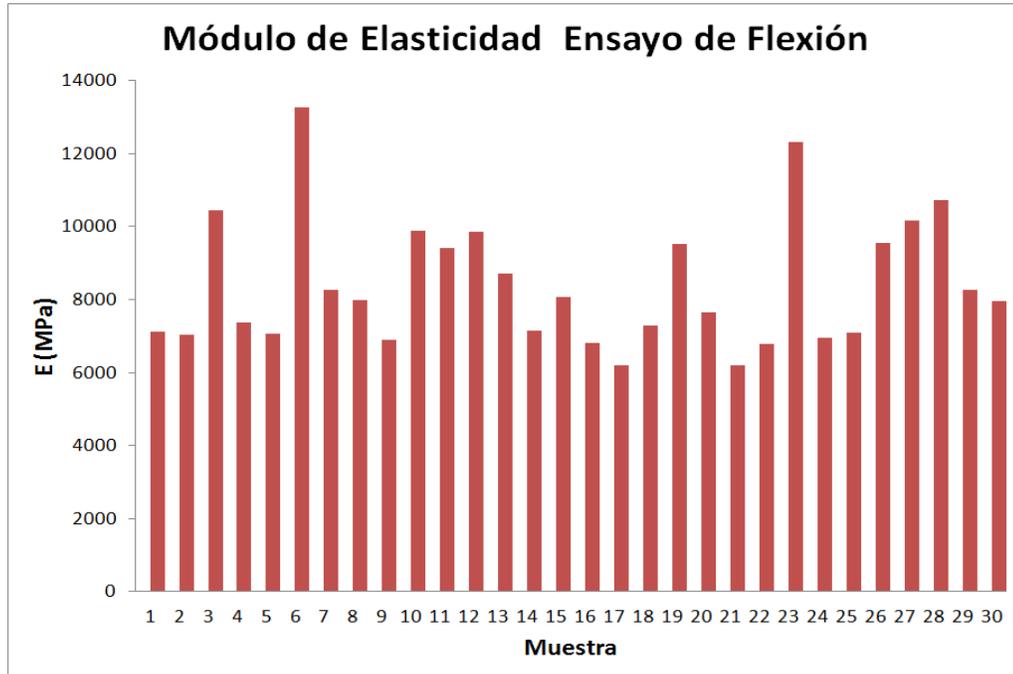
$$8773,1 = \cdot x \cdot \sqrt{18,2}$$

Despejando  $x$ , la ecuación quedaría:

$$E = \cdot 2056 \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación (8)}$$

### **10.5. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO POR MEDIO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN.**

En la Figura 36, se observan los Módulos de Elasticidad ( $E_c$ ), obtenidos mediante el Ensayo de Flexión y el Segundo Teorema de Castigliano utilizando las Vigas de concreto.



Fuente: Propia

**Figura 36. Análisis Resultados Módulo Elasticidad Estático Flexión**

En la Tabla 21, se observan los Datos Estadísticos de los Módulos de Elasticidad Estático a Flexión.

**Tabla 21. Análisis Estadístico Módulo Elasticidad Flexión**

Datos Estadísticos	Resultado
Media	8400,1
Varianza	3133914,5
Desv. Estándar	1770,3
Coef. Variación	21,1%
Min.	6188,5
Máx.	13252,7

Fuente: Propia

Analizando los resultados de Módulo de Elasticidad por Flexión en comparación con los resultados del Ensayo de Compresión, los valores promedio de Módulo de Elasticidad son similares.

Tomando como referencia los valores promedio de Módulo de Elasticidad Estático a Flexión ( $E_c$ ) y Esfuerzos de Compresión del Concreto ( $\sigma$ ); se

determinó la Ecuación de Módulo de Elasticidad Estático mediante el Ensayo de Flexión, de la siguiente manera:

$$E_{\text{flexión promedio}} = 8440,1 \text{ MPa.}$$

$$f'c_{\text{ promedio}} = 18,2 \text{ MPa}$$

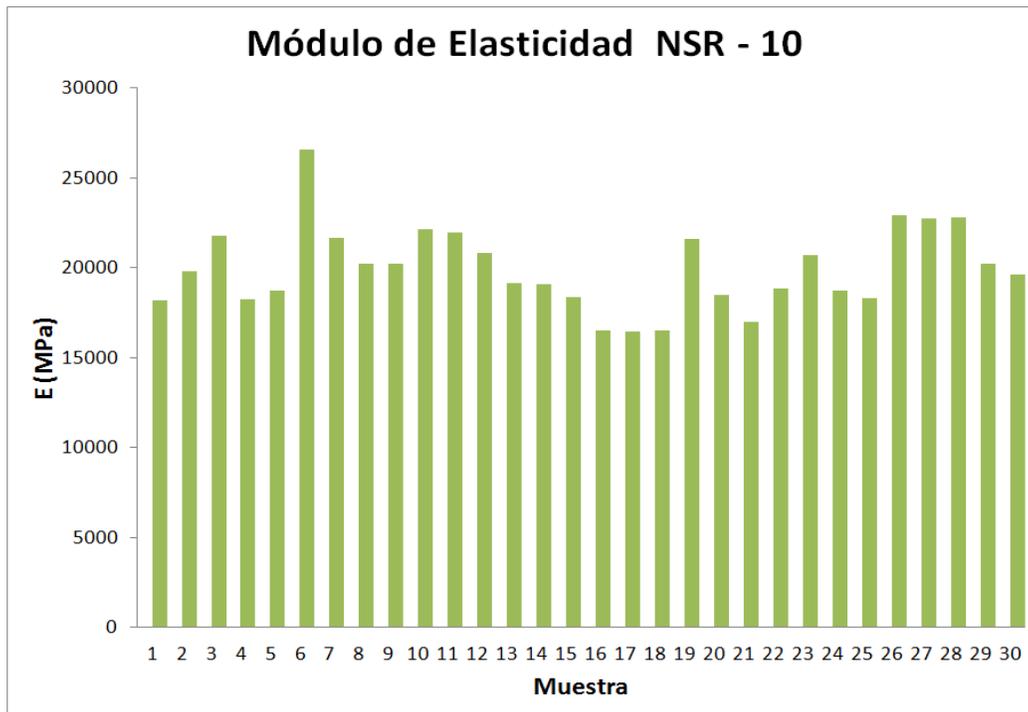
$$8400,1 = \cdot x \sqrt{18,2}$$

Despejando x, la ecuación quedaría:

$$E = \cdot 1969 \sqrt{f'c} \text{ Ecuación (9)}$$

### 10.6. RESPECTO AL MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO SEGÚN EL NSR - 10.

En la Figura 37, se observan los Módulos de Elasticidad ( $E_c$ ), obtenidos reemplazando el Esfuerzo de Compresión del Concreto en la Ecuación que plantea la NSR-10.



Fuente: Propia

**Figura 37. Análisis Resultados Módulo Elasticidad Estático NSR-10**

En la Tabla 22, se observan los Datos Estadísticos de los Módulos de Elasticidad Estático según El Reglamento NSR-10.

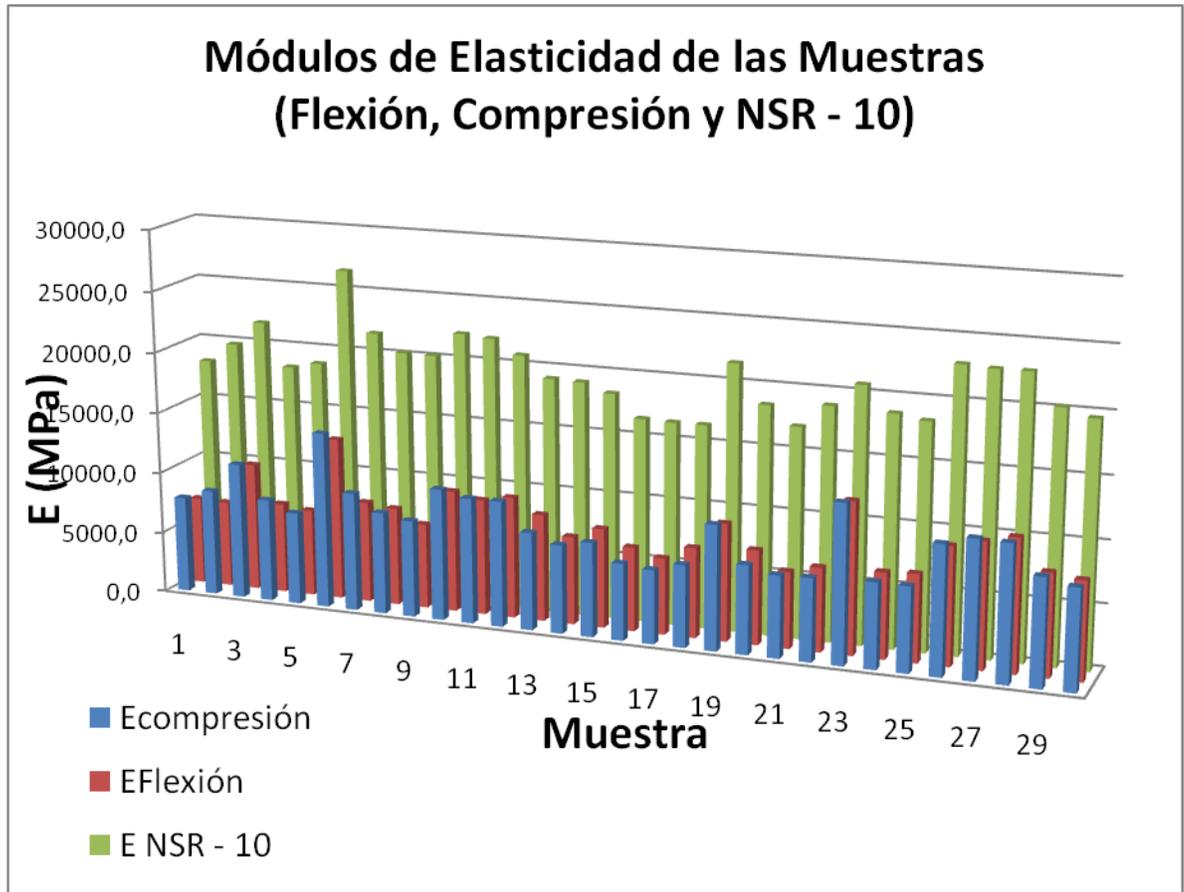
**Tabla 22. Análisis Estadístico Módulo Elasticidad NSR-10**

<b>Datos Estadísticos</b>	<b>Resultado</b>
Media	19945,9
Varianza	5211416,8
Desv. Estándar	2282,9
Coef. Variación	11,4%
Min.	16464,2
Máx.	26563,9

Fuente: Propia

### **10.7. COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD ENSAYO DE COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y NSR – 10.**

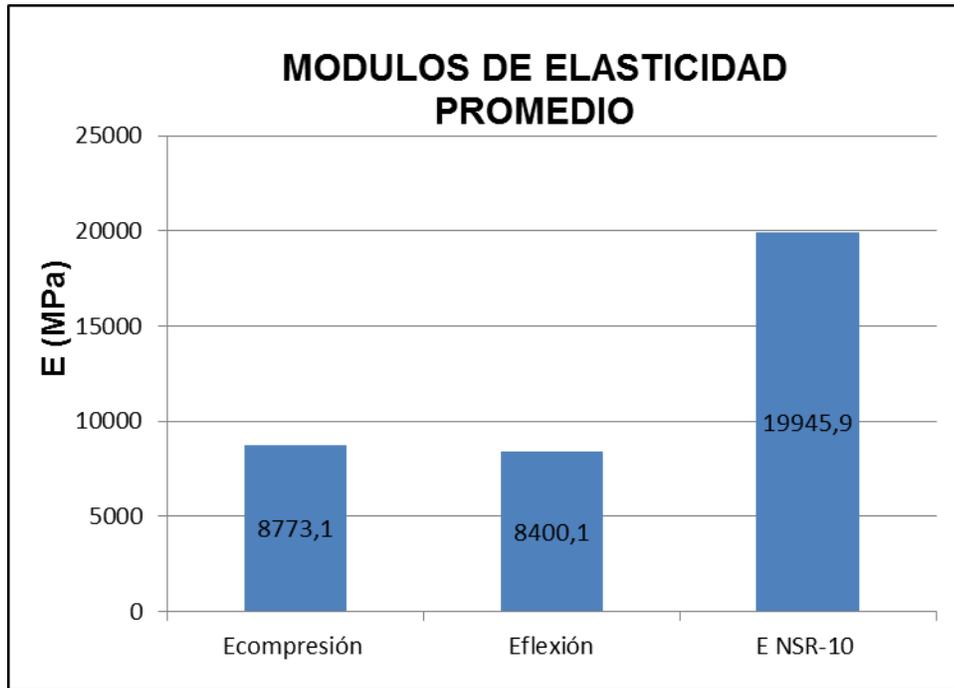
En la Figura 38, se puede observar la comparación de los Módulos de Elasticidad Hallados para este Trabajo de Grado.



Fuente: Propia

**Figura 38. Análisis Resultados Comparación Módulo de Elasticidad Estático**

En la Figura 38, se observa la comparación de los valores promedio comparación de los Módulos de Elasticidad Hallados para este Trabajo de Grado.



Fuente: Propia

**Figura 39. Análisis Resultados Comparación Módulo de Elasticidad Estático Promedio**

Según se puede observar en la Figura No. 39, la diferencia porcentual entre el valor del Módulo de Elasticidad promedio mediante el Ensayo de Compresión y el Ensayo a Flexión, es de aproximadamente 4,3%.

La diferencia porcentual entre el valor del Módulo de Elasticidad promedio mediante el Ensayo de Compresión y el hallado utilizando el Reglamento NSR-10, es de aproximadamente 56%.

la diferencia porcentual entre el valor del Módulo de Elasticidad promedio mediante el Ensayo de Flexión y el hallado utilizando el Reglamento NSR-10, es de aproximadamente 58%.

## 11. CONCLUSIONES.

Analizando los resultados obtenidos en el presente trabajo de grado, los valores promedio de Módulo de Elasticidad Estáticos del Concreto obtenidos, según el ensayo o método son: ensayo a la compresión = 8773,1 MPa, según ensayo a la flexión = 8400,1 MPa.

La diferencia porcentual entre los Módulos de Elasticidad, según el Análisis de Resultados, en el presente Trabajo de Grado, es de aproximadamente 4 %, lo cual los valores hallados mediante el Ensayo a la Compresión del Concreto y el Ensayo a la Flexión, arrojan valores similares.

Según el Análisis de Resultados del Módulo de Elasticidad promedio según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 ( $E_c = 19945,9$  MPa), el valor es mayor al 50% en comparación con los hallados mediante el Ensayo a la Compresión y el Ensayo a la Flexión.

La Ecuación de Módulo de Elasticidad obtenida mediante el Ensayo de Flexión que se plantea en el presente trabajo de grado, según lo calculado en el análisis de resultados es  $E = 1969 \sqrt{f'_c}$  MPa.

La Ecuación de Módulo de Elasticidad obtenida mediante el Ensayo de Compresión, según lo calculado en el análisis de resultados mediante el Ensayo a Compresión  $E = 2056 \sqrt{f'_c}$  MPa.

La Ecuación de Módulo de Elasticidad hallada mediante la ecuación que plantea el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, la cual es  $E = 4700 \sqrt{f'_c}$  MPa.

En cuanto a la determinación del Módulo de Elasticidad Estático, se utilizaron las formulas de regresión lineal, para obtener unos resultados más confiables de módulo de elasticidad.

En cuanto a la determinación de las Ecuaciones de Módulo de Elasticidad, se calcularon en base a módulo de elasticidad promedio ya obtenido, y al esfuerzo a la compresión promedio de todos los especímenes, con lo cual basados en la ecuación que plantea el Reglamento NSR-10, se despejaba la ecuación.

Los materiales pétreos utilizados para el presente Trabajo de Grado, proporcionan confianza, calidad y seguridad en la elaboración de especímenes de concreto, ya que se encuentran entre los rangos estipulados

por las especificaciones técnicas, según los resultados obtenidos en los diversos ensayos de laboratorio.

Igualmente se pudo comprobar y verificar, que el material pétreo proveniente de la fuente de Pescadero, cercana a Bucaramanga y su Area Metropolitana, es apto para elaborar mezclas de concreto dado que se encuentra en los rangos establecidos para la granulometría, en el diseño de mezclas de concreto.

El Diseño de la mezcla de concreto, utilizando el método del American Concrete, cumplió a cabalidad con los requisitos que exigía el método tal y como se puede observar en los resultados, lo cual brindó seguridad y fiabilidad a las proporciones de los agregados utilizados.

En general, en base al teorema de Castigliano el cual define que el módulo de elasticidad es inversamente proporcional al desplazamiento, se concluyó en el presente trabajo de grado, que el Módulo de Elasticidad Estático del Concreto, utilizado es de menor valor cuantitativo al que plantea el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10; por lo tanto los desplazamientos en la vida real de las estructuras, son mayores a los que asimila la NSR-10.

## **12. RECOMENDACIONES.**

Se recomienda a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, la adquisición de un cargador el cual pueda transportar elementos muy pesados y subirlos a las máquinas de ensayo.

Se recomienda realizar estudios similares utilizando agregados de otras fuentes en Santander, así como distintos tipos de cemento, con el fin de adquirir nuevas ecuaciones.

Se recomienda continuar con estudios similares en otras regiones de Colombia, con el fin de obtener las propias ecuaciones de Módulo de Elasticidad, y compararlas con el reglamento NSR-10.

Realizar el ensayo de flexión en vigas reforzadas en la parte inferior, simplemente apoyadas, para observar el comportamiento del módulo de elasticidad de este material combinado, que trabaja en conjunto en las edificaciones de concreto reforzado.

### 13. BIBLIOGRAFÍA.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight and mass concrete. ACI-211.1-91. Reapproved 2009. Farmington Hills, USA: ACI, 1991.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS) (1998). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR 98. Título C: Concreto Estructural.

DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO (BOLETÍN DE INGENIERÍA EB201). New York: Portland Cement Association. 2004

GERE, JAMES M. Y TIMOSHENKO, STEPHEN P. Mecánica de Materiales. 2a Edición. México: Grupo Editorial Iberoamericana. 1986.

HERNANDEZ SUAREZ, Adriana: Determinación de los módulos de elasticidad del Concreto Producido en Bucaramanga y su Área Metropolitana. Bucaramanga, 2005, 2 p. Tesis (Ingeniera Civil). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil.

HIBBELER, RUSELL C. Análisis Estructural. 3a Edición. México: Prentice Hall. 1997.

HIBBELER, RUSELL C. Mecánica De Materiales. México: Cecsa. 1994.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 77: Concretos. Método de Ensayo para el Análisis por tamizaje de los Agregados Finos y Gruesos. Bogotá. 2007.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 92: Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación de la Masa Unitaria y los Vacíos entre Partículas de Agregados. Bogotá. 1995.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 98: Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia al Desgaste de Agregados Gruesos Hasta de 37,5 mm, Utilizando la Máquina de los Ángeles. Bogotá. 2006.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 126: Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para Determinar la Solidez (Sanidad) de Agregados para el Uso de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio. Bogotá. 1995.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 127: Concretos. Método De Ensayo para Determinar las Impurezas Orgánicas en Agregado Fino para Concreto. Bogotá. 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 174: Concretos. Especificaciones De Los Agregados Para Concreto. Bogotá. 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 176: Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso. Bogotá. 1995.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 221: Ingeniería Civil y Arquitectura. Cementos. Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Cemento Hidráulico. Bogotá. 1995.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 237: Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino. Bogotá. 1995.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 673: Concretos. Concretos. Ensayo De Resistencia A La Comprensión De Cilindros Normales De Concreto. Bogotá. 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 4025: Concretos. Método de Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad Estático y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión. Bogotá. 2006.

MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010. Título C: Concreto Estructural.

NEVILLE, A.M. Y BROOKS, J.J. Tecnología Del Concreto. México: Editorial Trillas, 1998.

NILSON, ARTUR H. Diseño De Estructuras De Concreto. 12 Edición. Santa Fe De Bogotá: Mcgraw Hill, 1993.

SANCHEZ DE GUZMAN, DIEGO. CONCRETOS Y MORTEROS: MANEJO Y COLOCACIÓN EN OBRA. 2A EDICIÓN.SANTA FE DE BOGOTÁ: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO (ASOCRETO), 1998.

RUIZ VALENCIA, Daniel y otros. Propuesta para la Modificación de la Ecuación para la Estimación del Módulo de Elasticidad del Concreto en función de la Resistencia a la Compresión para Bogotá. Bogotá. 2007.

SCHACKELFORD, JAMES F. Introducción A La Ciencia De Materiales Para Ingenieros. 6a Edición. Madrid: Pearson Education. 2005.

SINGER, FERDINAND Y PYTEL, ANDREW. Resistencia De Materiales. 3a Edición. México: Harla. 1982.

TORRADO GOMEZ, Luz Marina y otro. Determinación de los Módulos de Elasticidad Estático y Dinámico del Concreto producido en Bucaramanga y su Área Metropolitana. Bucaramanga, 2009. Tesis (Ingeniera Civil. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil.

## ANEXO A. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

### AGREGADO FINO

#### PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

Nombre	Unidad	Valor
(A) Peso de la muestra seca en horno	gr	495
(B) Peso Picnómetro lleno de agua	gr	618
(C) Peso Picnómetro + agua + agua	gr	909
(S) Peso muestra superficialmente seca	gr	500.00

PESOS ESPECIFICOS		
Densidad Aparente	g/cm <sup>3</sup>	<b>2.426</b>
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	2.392
Densidad Nominal	g/cm <sup>3</sup>	2.368
<b>Densidad Promedio</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.396
<b>Porcentaje de Absorción</b>	%	1.0%

### AGREGADO GRUESO

#### PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

Nombre	Unidad	Valor
(A) Masa de la muestra seca en horno	gr	4175
(B) Masa saturada y superficialmente seca	gr	4210
(C) Masa sumergida en agua	gr	2606

PESOS ESPECIFICOS		
Densidad Aparente	g/cm <sup>3</sup>	<b>2.661</b>
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	2.625
Densidad Nominal	g/cm <sup>3</sup>	2.603
<b>Densidad Promedio</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.629
<b>Porcentaje de Absorción</b>	%	0.8%

## ANEXO B. MASAS UNITARIAS SUeltas Y COMPACTAS

### **AGREGADO FINO**

H= 18.6 cm  
 Diametro= 18.6 cm

Peso molde (gr)	3092	
Volumen Molde (cm <sup>3</sup> )	5053.92	
	<b>Suelta</b>	<b>Compacta</b>
Masa molde y agregado	10306	10685
Masa molde y agregado	10333	10704
Masa molde y agregado	10356	10699
<b>Masa promedio</b>	10331.7	10696
Masa Agregado Fino	7239.67	7604
Masa Unitaria (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.432</b>	<b>1.505</b>

### **AGREGADO GRUESO**

H= 18.6 cm  
 Diametro= 18.6 cm

Peso molde (gr)	3092	
Volumen Molde (cm <sup>3</sup> )	5053.92	
	<b>Suelta</b>	<b>Compacta</b>
Masa molde y agregado	10426	10971
Masa molde y agregado	10466	11056
Masa molde y agregado	10480	11095
Masa promedio	10457	11041
Masa Agregado Fino	7365	7949
Masa Unitaria (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.457</b>	<b>1.573</b>

## ANEXO C. RESISTENCIA A LOS SULFATOS

### AGREGADO FINO

FRACCIÓN		% RET PARCIAL INICIAL	PESO FRACCIÓN ENSAYADA	No INICIAL PARTICULAS	PESO RET FINAL	PERDIDA TOTAL POR FRACCIÓN	PERDIDA PONDERADA FRACCIÓN	No FINAL PARTÍCULAS
PASA	RETENIDO							
3/8"	No 4	2.27	-	-	-	-	-	-
No 4	No 8	3.33	-	-	-	-	-	-
No 8	No 16	40.79	200.07	-	180.5	9.78	3.99	-
No 16	No 30	35.57	200.45	-	176.4	12.00	4.27	-
No 30	No 50	7.49	202.8	-	170.8	15.78	1.18	-
No 50	FONDO	4.07		-	-	-	-	-
TOTALES		93.52	603.32	0.00	527.70	-	<b>9.44</b>	-

### AGREGADO GRUESO

FRACCIÓN		% RET PARCIAL INICIAL	PESO FRACCIÓN ENSAYADA	No INICIAL PARTICULAS	PESO RET FINAL	PERDIDA TOTAL POR FRACCIÓN	PERDIDA PONDERADA FRACCIÓN	No FINAL PARTICULAS
PASA	RETENIDO							
1"	3/4"	27.88	532.7	39	526.1	1.24	0.35	39
3/4"	1/2"	32.96	682.6	105	657.1	3.74	1.23	105
1/2"	3/8"	9.01	335.3	175	292.4	12.79	1.15	175
3/8"	No 4	25.56	305.8	-	280.9	8.14	2.08	-
No 4	FONDO	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES		95.41	1856.40	-	1756.50	-	<b>4.81</b>	-

**ANEXO D. CONTENIDO MATERIA ORGÁNICA AGREGADO FINO Y  
DESGASTE MÁQUINA DE LOS ÁNGELES AGREGADO GRUESO.**

**MATERIA ORGÁNICA AGREGADO FINO.**

MATERIAL	COLOR	DESCRIPCIÓN
1	1	Amarillo Claro

**DESGASTE MÁQUINA DE LOS ÁNGELES AGREGADO GRUESO**

TMN= 3/4"

RESULTADOS GRANULOMETRIA			NORMA NTC - 98					
TAMAÑOS		Peso Retenido (gr)	TAMAÑOS		GRADACIÓN TIPO Y PESO DE CADA FRACCIÓN (g)			
PASA	RETENIDO		PASA	RETENIDO	A	B	C	D
1 1/2	1"		1 1/2"	1"	1250			
1"	3/4"	0	1"	3/4"	1250			
3/4"	1/2"	3036.0	3/4"	1/2"	1250	2500		
1/2"	3/8"	3589.0	1/2"	3/8"	1250	2500		
3/8"	4	981.0	3/8"	N. 3			2500	
4	Fondo	2783.0	N. 3	N. 4			2500	
			N. 4	N.8				5000
<b>N. ESFERAS</b>					12	<b>11</b>	8	6
<b>Masa de la Carga (gr)</b>					5000	<b>5000</b>	5000	5000

<b>N. Esferas</b>	11
<b>N. Vueltas</b>	500
<b>Peso Inicial Muestra (gr)</b>	5002
<b>Peso Final Muestra Lavada y Secada (gr)</b>	3831.6
<b>Perdida de Peso (gr)</b>	1170.4
<b>% DESGASTE</b>	<b>23</b>

## ANEXO E. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO.

Cemento: Diamante

Muestra No.	Peso Material (gr.)	Volumen del Material (cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECIFICO	
			(g/cm <sup>3</sup> )	(kg/cm <sup>3</sup> )
1	64	21.9	2.922	2922.37

## ANEXO F. RESULTADOS ESFUERZOS COMPRESIÓN CILINDROS DE CONCRETO Y MÓDULO DE ELASTICIDAD.

### *CILINDROS DE CONCRETO (ESFUERZO COMPRESIÓN PRIMERA PRUEBA)*

Muestra	Peso	φ (cm)	H (cm)	F (kN)	Área (mm <sup>2</sup> )	σ (MPa)
1	13099	15.7	29.5	285.2	19359.2793	14.73
2	12734	15.8	30.1	330.2	19606.6798	16.84
3	11341	14.8	29	374.4	17203.3614	21.76
4	12582	15.4	29.8	280.9	18626.5028	15.08
5	12520	15.5	29.7	299.7	18869.1909	15.88
6	12916	15.3	30.3	587.9	18385.3856	31.98
7	13210	15.6	29.7	400	19113.4497	20.93
8	11483	14.8	29.1	332.6	17203.3614	19.33
9	12491	15.4	29.6	344.7	18626.5028	18.51
10	12835	15.5	30.2	425.6	18869.1909	22.56
11	12113	14.7	29.7	386.2	16971.6689	22.76
12	12867	15.5	30.2	356.3	18869.1909	18.88
13	12764	15.2	30	301.6	18145.8392	16.62
14	13150	15.4	30.1	298.2	18626.5028	16.01
15	12757	15.1	30.4	277.7	17907.8635	15.51
16	13256	15.7	30	230.4	19359.2793	11.90
17	13243	15.5	29.6	230.2	18869.1909	12.20
18	12764	15.5	30.1	226.2	18869.1909	11.99
19	12713	15.4	30	388.2	18626.5028	20.84
20	12904	15.3	30.1	280.5	18385.3856	15.26
21	12735	15.4	30.2	243.7	18626.5028	13.08
22	12514	15.2	30.3	298.4	18145.8392	16.44

Muestra	Peso	f (cm)	H (cm)	F (kN)	Área (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
23	13029	15.3	30.4	339.4	18385.3856	18.46
24	12795	15.4	30.2	282.4	18626.5028	15.16
25	12889	15.5	30.2	282.5	18869.1909	14.97
26	12810	15.2	30.2	435.4	18145.8392	23.99
27	12565	15.2	29.7	429.5	18145.8392	23.67
28	12709	15.2	30.4	427.5	18145.8392	23.56
29	12747	15.3	29.8	326.7	18385.3856	17.77
30	12708	15.4	30.3	310.4	18626.5028	16.66

**CILINDROS DE CONCRETO (ESFUERZO COMPRESIÓN SEGUNDA PRUEBA- MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO)**

Muestra	F (kN) Prueba	$\phi$ (cm)	H (cm)	F (kN)	Área (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
1	114.08	15.2	30.4	275.9	18145.8392	15.20
2	132.08	15.0	29.8	328.4	17671.4587	18.58
3	149.76	15.0	29.8	372.8	17671.4587	21.10
4	112.36	15.2	30.3	274.5	18145.8392	15.13
5	119.88	15.2	29.6	289.2	18145.8392	15.94
6	235.16	15.3	30.4	586.7	18385.3856	31.91
7	160.00	15.3	30.2	394.2	18385.3856	21.44
8	133.04	15.4	30.3	329.8	18626.5028	17.71
9	137.88	15.4	29.7	343.9	18626.5028	18.46
10	170.24	15.7	29.8	424.5	19359.2793	21.93
11	154.48	15.3	30.4	385.6	18385.3856	20.97
12	142.52	14.9	29.3	354.9	17436.6246	20.35
13	120.64	15.2	30.5	299.8	18145.8392	16.52
14	119.28	15.0	29.3	298.3	17671.4587	16.88
15	111.08	15.3	30.5	275.8	18385.3856	15.00
16	92.16	15.1	30	230.1	17907.8635	12.85
17	92.08	15.4	30.2	229.9	18626.5028	12.34
18	90.48	15.1	30.2	225.8	17907.8635	12.61
19	155.28	15.2	30	387.8	18145.8392	21.37
20	112.20	15.4	30.4	293.3	18626.5028	15.75
21	97.48	15.4	30.1	244.2	18626.5028	13.11
22	119.36	15.4	30.4	294.4	18626.5028	15.81
23	135.76	15.8	30	400.2	19606.6798	20.41

Muestra	F (kN) Prueba	f (cm)	H (cm)	F (kN)	Área (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
24	112.96	15.4	30.3	307.1	18626.5028	16.49
25	113.00	15.5	30.1	291.7	18869.1909	15.46
26	174.16	15.2	30.2	426.5	18145.8392	23.50
27	171.80	15.4	30	431.8	18626.5028	23.18
28	171.00	15.4	30.3	435.8	18626.5028	23.40
29	130.68	15.1	30.4	346.6	17907.8635	19.35
30	124.16	15.3	30	334.2	18385.3856	18.18

## ANEXO G. RESULTADOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ENSAYO DE COMPRESIÓN.

MUESTRA N°=	<b>1</b>				
er=	4.60 cm	Diámetro=	15.20 cm		
eg=	5.10 cm	Altura=	30.40 cm	Área (mm <sup>2</sup> ) =	18145.84
% Excentricidad Longitudinal =	0.47	Carga Máxima=	275.9 KN		

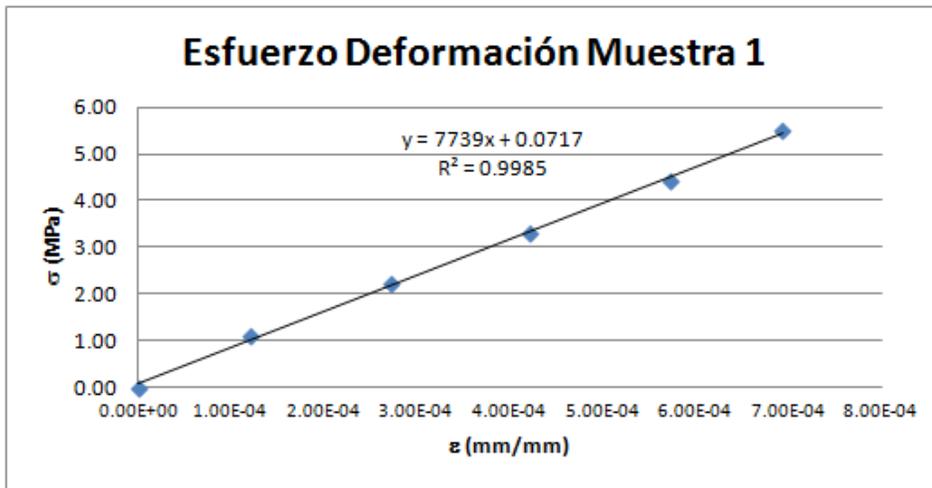
CARGA (KN)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL					ESFUERZO (MPa)
	$\epsilon_{L1(0,01mm)}$	$\epsilon_{L2(0,01mm)}$	$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.025	0.000120	0.000120	1.20E-04	1.10
40	0.051	0.064	0.000241	0.000302	2.71E-04	2.20
60	0.076	0.102	0.000362	0.000483	4.22E-04	3.31
80	0.114	0.127	0.000543	0.000603	5.73E-04	4.41
100	0.140	0.153	0.000664	0.000724	6.94E-04	5.51
					<b>0.002081</b>	<b>16.53</b>

n =	6.000			
$\epsilon$ prom =	3.468E-04	$\sigma$ prom =	2.755453	
1	0	0.000E+00		
2	0.000132762	1.451E-08		
3	0.00059795	7.358E-08		
4	0.001396193	1.783E-07		
5	0.002526444	3.284E-07		
6	0.003822909	4.812E-07		
	<b>0.008476259</b>	<b>1.076E-06</b>		

Ecuación de la Gráfica:	Esfuerzo =	7738.95	* Deformación	7.169E-02
-------------------------	------------	---------	---------------	-----------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	4.586E-01	0.00005
2	5.51	6.94E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	7848.80
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>2</b>				
<b>er=</b>	5.0 cm	<b>Diámetro=</b>	15.00 cm		
<b>eg=</b>	5.20 cm	<b>Altura=</b>	29.80 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	17671.46
		<b>=</b>		<b>=</b>	
<b>% Exc. Longitudinal =</b>	0.49	<b>Carga Máxima=</b>	328.4 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1(0,01mm)}$	$\epsilon_{L2(0,01mm)}$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.025	0.000125	0.000125	1.25E-04	1.13
40	0.051	0.051	0.000249	0.000249	2.49E-04	2.26
60	0.076	0.089	0.000374	0.000436	4.05E-04	3.40
80	0.114	0.127	0.000561	0.000624	5.92E-04	4.53
100	0.140	0.153	0.000686	0.000748	7.17E-04	5.66
120	0.153	0.165	0.000748	0.000811	7.79E-04	6.79

**0.002868      23.77**

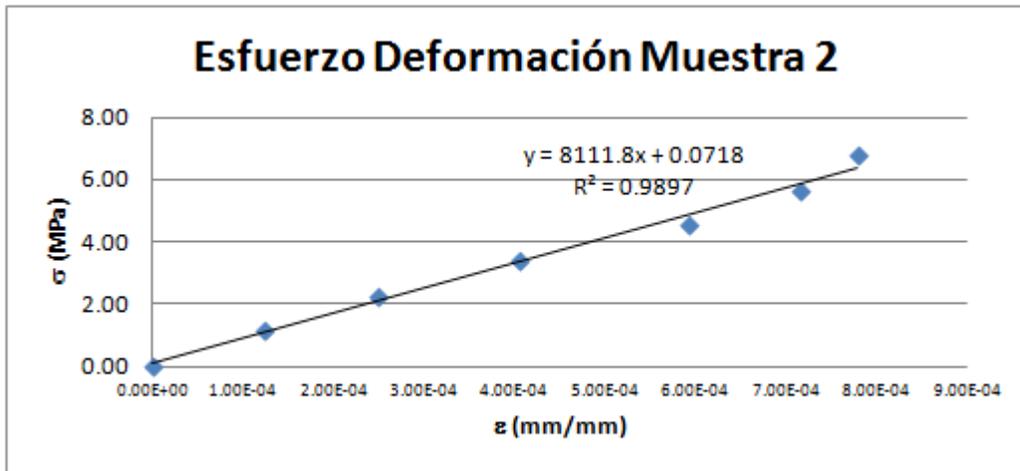
	n =	7.000		
	$\epsilon$ prom =	4.097E-04	$\sigma$ prom =	3.395305
1	0	0.000E+00		
2	0.000141027	1.553E-08		
3	0.000564109	6.211E-08		
4	0.001376097	1.643E-07		
5	0.002681626	3.509E-07		

6      0.004057723    5.142E-07  
 7      0.005292682    6.075E-07  
       **0.014113264    1.714E-06**

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	8111.84	<b>* Deformación</b>	0.0718356
--------------------------------	-------------------	---------	----------------------	-----------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.477427753	0.00005
2	6.79	7.79E-04

**MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:  $E_c$  (MPa) = 8655.17**



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>3</b>				
<b>er=</b>	5.0 cm	<b>Diámetro=</b>	15.00 cm		
<b>eg=</b>	5.60 cm	<b>Altura=</b>	29.80 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	17671.46
		<b>=</b>			
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.47	<b>Carga Máxima=</b>	372.8 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1(0,01mm)}$	$\epsilon_{L2(0,01mm)}$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000120	0.000180	1.50E-04	1.13

40	0.051	0.064	0.000240	0.000300	2.70E-04	2.26
60	0.076	0.089	0.000360	0.000420	3.90E-04	3.40
80	0.114	0.127	0.000540	0.000600	5.70E-04	4.53
100	0.127	0.140	0.000600	0.000660	6.30E-04	5.66
120	0.140	0.153	0.000660	0.000720	6.90E-04	6.79
140	0.153	0.165	0.000720	0.000780	7.50E-04	7.92

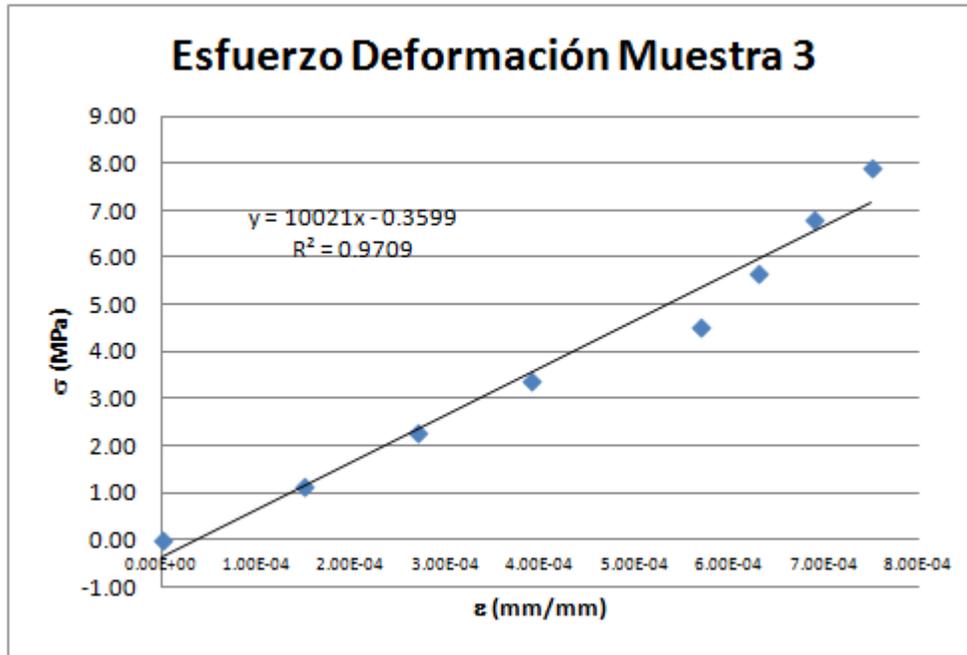
**0.003450      31.69**

	n =	8.000		
	$\epsilon$ prom =	4.312E-04	$\sigma$ prom =	3.961190
1	0	0.000E+00		
2	0.000169765	2.250E-08		
3	0.000610728	7.280E-08		
4	0.001324009	1.521E-07		
5	0.002579578	3.247E-07		
6	0.003565071	3.969E-07		
7	0.004685522	4.761E-07		
8	0.005941785	5.625E-07		
	<b>0.018876457</b>	<b>2.008E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	10021.22	<b>* Deformación</b>	-3.599E-01
--------------------------------	-------------------	----------	----------------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.141132636	0.00005
2	7.92	7.50E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	11116.07
--	-------------------	----------



<b>MUESTRA N°=</b>	4				
<b>er=</b>	4.70 cm	<b>Diámetro=</b>	15.20 cm		
<b>eg=</b>	5.70 cm	<b>Altura=</b>	30.30 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	18145.84
				=	
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.45	<b>Carga Máxima=</b>	274.5 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000115	0.000172	1.44E-04	1.10
40	0.051	0.064	0.000230	0.000287	2.59E-04	2.20
60	0.076	0.102	0.000345	0.000460	4.02E-04	3.31
80	0.114	0.114	0.000517	0.000517	5.17E-04	4.41
100	0.140	0.153	0.000632	0.000690	6.61E-04	5.51

**0.001983      16.53**

n = 6.000

$\epsilon$  prom = 3.305E-04       $\sigma$  prom = 2.755453

1                      0                      0.000E+00

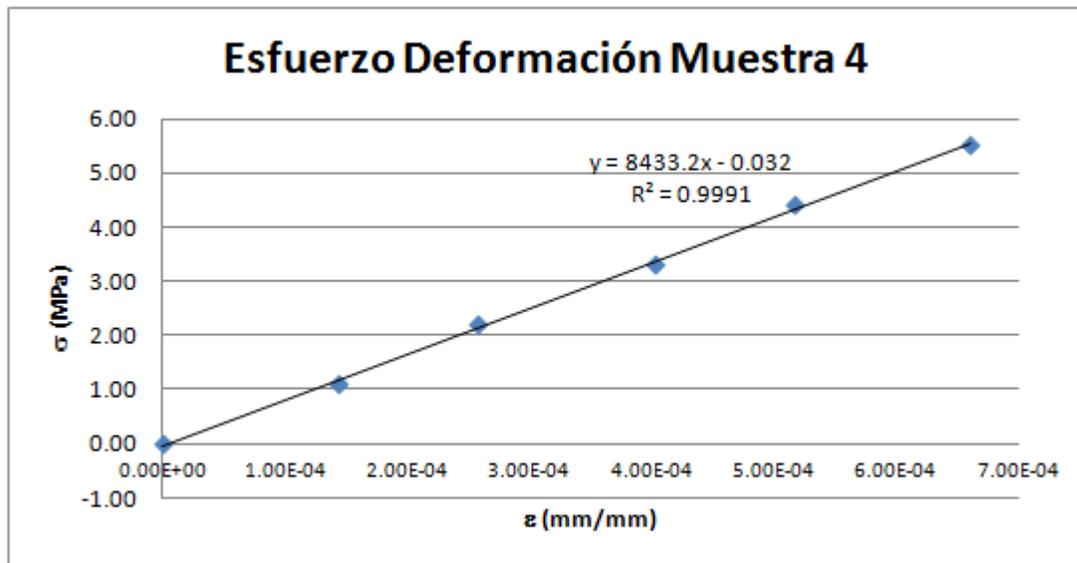
2                      0.000158396      2.065E-08

3	0.000570226	6.692E-08
4	0.001330528	1.619E-07
5	0.002280904	2.677E-07
6	0.003643111	4.370E-07
	<b>0.007983165</b>	<b>9.542E-07</b>

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	8433.16	*	Deforcación	-0.032014
--------------------------------	-------------------	---------	---	-------------	-----------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deforcación
1	0.38964424	0.00005
2	5.51	6.61E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	8380.77
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>5</b>				
<b>er=</b>	4.85 cm	<b>Diámetro=</b>	15.20 cm		
<b>eg=</b>	5.30 cm	<b>Altura=</b>	29.60 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	18145.84
				=	
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.48	<b>Carga Máxima=</b>	289.2 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000122	0.000182	1.52E-04	1.10
40	0.061	0.064	0.000291	0.000304	2.97E-04	2.20
60	0.076	0.089	0.000365	0.000425	3.95E-04	3.31
80	0.114	0.114	0.000547	0.000547	5.47E-04	4.41
100	0.140	0.165	0.000668	0.000790	7.29E-04	5.51

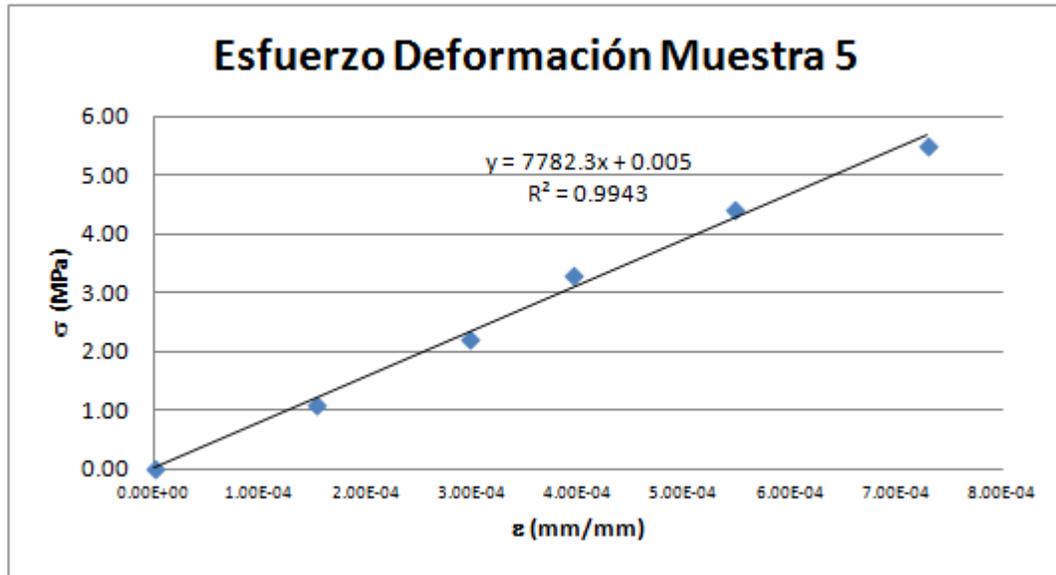
**0.002121      16.53**

	n =	6.000		
	$\epsilon$ prom =	3.534E-04	$\sigma$ prom =	2.755453
1	0	0.000E+00		
2	0.000167477	2.309E-08		
3	0.000655584	8.845E-08		
4	0.001306322	1.561E-07		
5	0.002411672	2.992E-07		
6	0.004018137	5.316E-07		
	<b>0.008559192</b>	<b>1.098E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	7782.29	<b>*</b> Deformación	0.00496581
--------------------------------	-------------------	---------	-------------------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.39408049	0.00005
2	5.51	7.29E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	7534.44
--	-------------------	---------



MUESTRA N°=	6				
er=	6.0 cm	Diámetro=	15.30 cm		
eg=	4.80 cm	Altura=	30.40 cm	Área (mm <sup>2</sup> ) =	18385.39
% Excentricidad Longitudinal =	0.56	Carga Máxima=	586.7 KN		

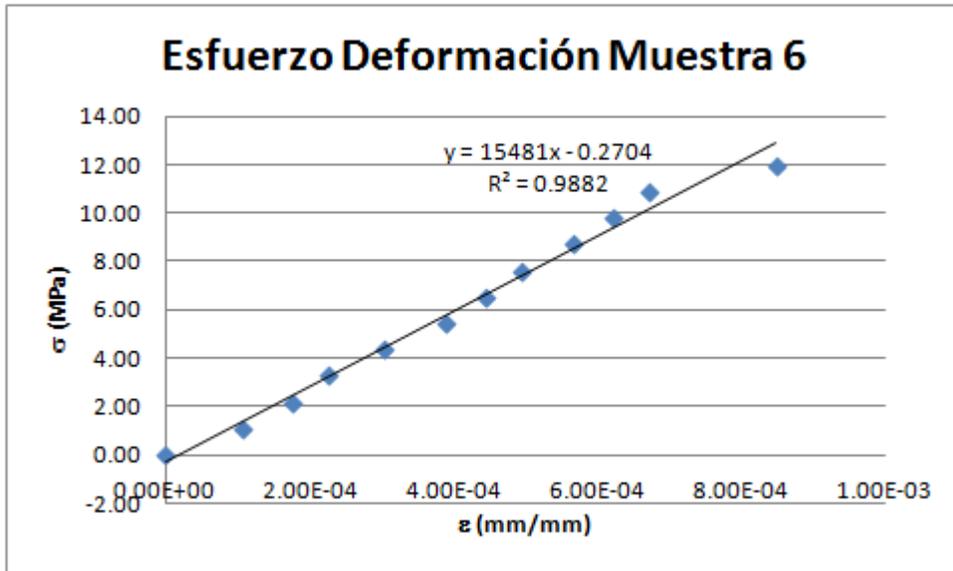
CARGA (KN)	$\epsilon_{L1(0,01mm)}$	$\epsilon_{L2(0,01mm)}$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.013	0.025	0.000071	0.000141	1.06E-04	1.09
40	0.025	0.038	0.000141	0.000212	1.77E-04	2.18
60	0.031	0.051	0.000170	0.000282	2.26E-04	3.26
80	0.046	0.064	0.000254	0.000353	3.04E-04	4.35
100	0.064	0.076	0.000353	0.000424	3.89E-04	5.44
120	0.071	0.089	0.000396	0.000495	4.45E-04	6.53
140	0.076	0.102	0.000424	0.000565	4.95E-04	7.61
160	0.089	0.114	0.000495	0.000636	5.65E-04	8.70
180	0.097	0.127	0.000537	0.000707	6.22E-04	9.79
200	0.102	0.140	0.000565	0.000777	6.71E-04	10.88
220	0.140	0.165	0.000777	0.000919	8.48E-04	11.97
					<b>0.004847</b>	<b>71.80</b>

n = 12.000  
 ε prom = 4.040E-04      σ prom = 5.983013  
 1            0            0.000E+00  
 2            0.000115188    1.121E-08  
 3            0.000384363    3.121E-08  
 4            0.000737252    5.104E-08  
 5            0.00132221      9.233E-08  
 6            0.002113998    1.511E-07  
 7            0.002905786    1.982E-07  
 8            0.00376676      2.447E-07  
 9            0.00491985      3.196E-07  
 10           0.006088314    3.867E-07  
 11           0.007302902    4.507E-07  
 12           0.01014719      7.191E-07  
**0.039803813    2.65587E-06**

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	15480.63	* Deformación	-2.704E-01
--------------------------------	-------------------	----------	---------------	------------

No	σ (Mpa)	Deformación
1	0.503643797	0.00005
2	11.97	8.48E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	14363.89
--	-------------------	----------



MUESTRA N°=	7				
er=	6.0 cm	Diámetro=	15.30 cm		
eg=	4.80 cm	Altura=	30.20 cm	Área (mm <sup>2</sup> )	18385.39
		=			
% Excentricidad Longitudinal =	0.56	Carga Máxima=	394.2 KN		

CARGA (KN)	ε <sub>L1</sub> (0,01mm)	ε <sub>L2</sub> (0,01mm)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000141	0.000212	1.77E-04	1.09
40	0.051	0.051	0.000283	0.000283	2.83E-04	2.18
60	0.076	0.089	0.000424	0.000495	4.59E-04	3.26
80	0.102	0.114	0.000565	0.000636	6.01E-04	4.35
100	0.114	0.127	0.000636	0.000707	6.71E-04	5.44
120	0.127	0.140	0.000707	0.000777	7.42E-04	6.53
140	0.140	0.165	0.000775	0.000919	8.47E-04	7.61
160	0.165	0.178	0.000919	0.000989	9.54E-04	8.70

**0.004734 39.161539**

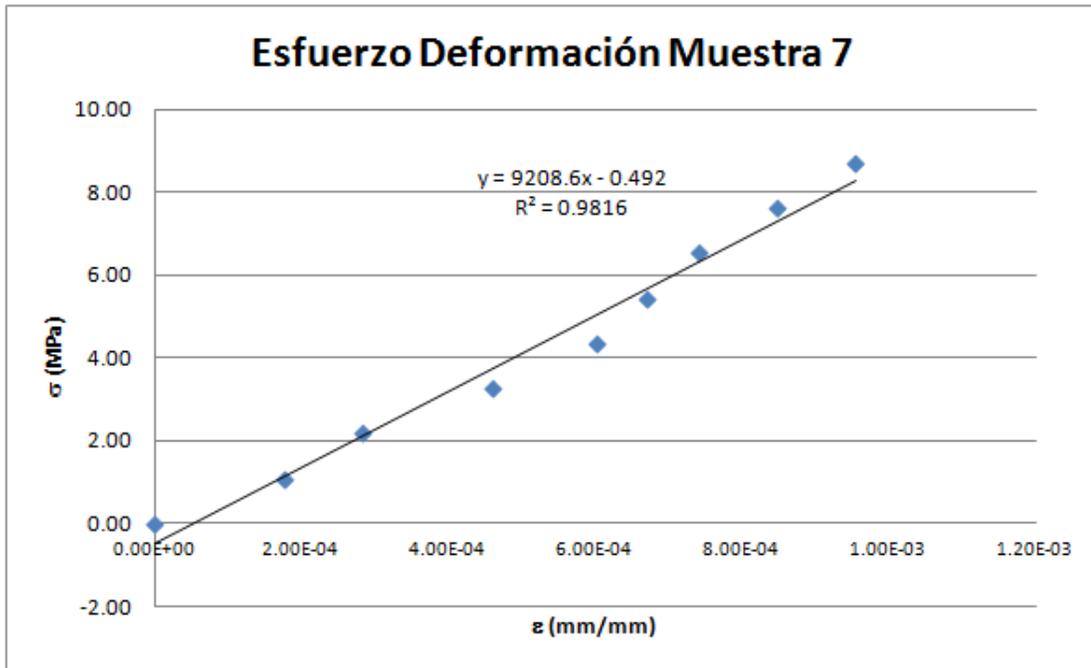
n = 9.000  
 ε prom = 5.260E-04      σ prom = 4.351282  
 1                      0                      0.000E+00

2	0.000192182	3.121E-08
3	0.000614981	7.990E-08
4	0.001499017	2.110E-07
5	0.00261367	3.608E-07
6	0.003651451	4.507E-07
7	0.004842977	5.506E-07
8	0.006448842	7.172E-07
9	0.008302246	9.101E-07
	<b>0.028165366</b>	<b>3.31149E-06</b>

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	9208.65	*	-4.920E-01
			Deforcación	

No	$\sigma$ (Mpa)	Deforcación
1	-0.031580273	0.00005
2	8.70	9.54E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	9661.66
--	-------------------	---------



MUESTRA N°=	8				
er=	4.80 cm	Diámetro=	15.40 cm		
eg=	5.0 cm	Altura=	30.30 cm	Área (mm <sup>2</sup> ) =	18626.50
% Excentricidad Longitudinal =	0.49	Carga Máxima=	329.8 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000125	0.000187	1.56E-04	1.07
40	0.051	0.051	0.000249	0.000249	2.49E-04	2.15
60	0.076	0.076	0.000374	0.000374	3.74E-04	3.22
80	0.114	0.114	0.000561	0.000561	5.61E-04	4.29
100	0.140	0.140	0.000685	0.000685	6.85E-04	5.37
120	0.153	0.165	0.000748	0.000810	7.79E-04	6.44

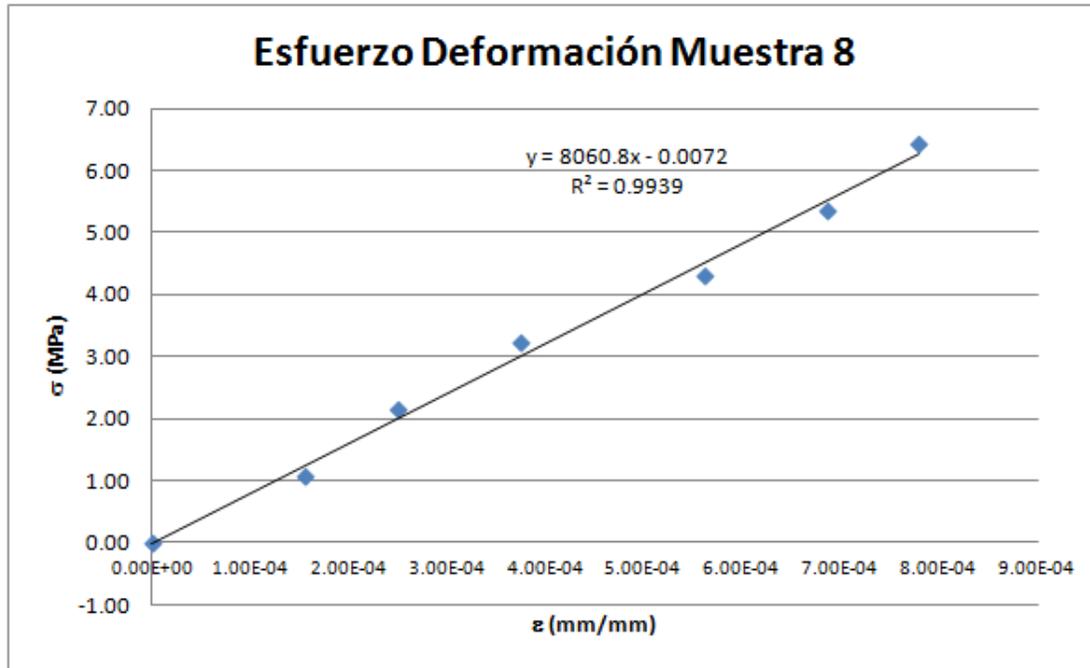
**0.002804      22.55**

	n =	7.000		
	$\epsilon$ prom =	4.005E-04	$\sigma$ prom =	3.221217
1	0	0.000E+00		
2	0.00016724	2.426E-08		
3	0.000535169	6.210E-08		
4	0.00120413	1.397E-07		
5	0.00240826	3.144E-07		
6	0.003679287	4.697E-07		
7	0.005017209	6.065E-07		
	<b>0.013011296</b>	<b>1.617E-06</b>		

Ecuación de la Gráfica:	Esfuerzo =	8060.79	* Deformación	- 0.0072346
-------------------------	------------	---------	------------------	----------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.395804759	0.00005
2	6.44	7.79E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	<b>8296.97</b>
--	-------------------	----------------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>9</b>				
<b>er=</b>	5.50 cm	<b>Diámetro=</b>	15.40 cm		
<b>eg=</b>	5.50 cm	<b>Altura=</b>	29.70 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	18626.50
				=	
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.50	<b>Carga Máxima=</b>	343.9 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000127	0.000191	1.59E-04	1.07
40	0.051	0.064	0.000254	0.000318	2.86E-04	2.15
60	0.076	0.089	0.000382	0.000445	4.13E-04	3.22
80	0.114	0.114	0.000572	0.000572	5.72E-04	4.29
100	0.140	0.140	0.000700	0.000700	7.00E-04	5.37
120	0.165	0.165	0.000827	0.000827	8.27E-04	6.44

**0.002957      22.55**

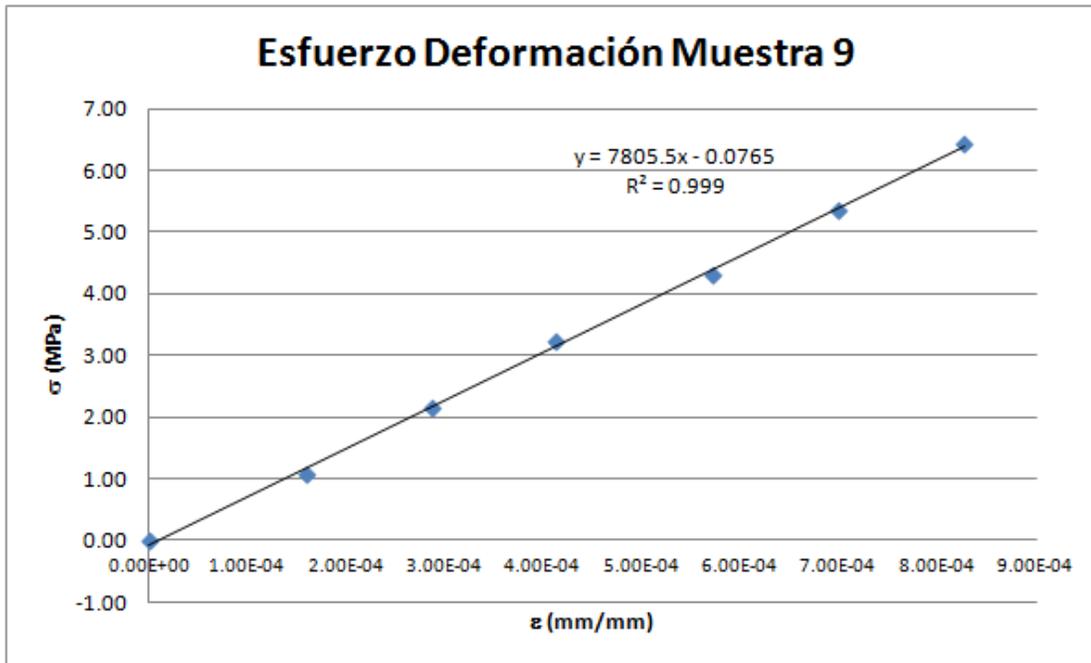
n = 7.000  
 $\epsilon$  prom = 4.225E-04       $\sigma$  prom = 3.221217

1	0	0.000E+00
2	0.000170724	2.528E-08
3	0.000614608	8.191E-08
4	0.001331651	1.709E-07
5	0.002458433	3.276E-07
6	0.003755939	4.894E-07
7	0.005326604	6.836E-07
	<b>0.013657958</b>	<b>1.779E-06</b>

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	7805.48	<b>*</b> Deformación	-0.076486
--------------------------------	-------------------	---------	-------------------------	-----------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.313787584	0.00005
2	6.44	8.27E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	7889.61
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>10</b>		
<b>er=</b>	5.25 cm	<b>Diámetro=</b>	15.70 cm

eg=	5.20 cm	Altura=	29.80 cm	Área (mm <sup>2</sup> ) =	19359.28
% Excentricidad Longitudinal =	0.50	Carga Máxima=	424.5 KN		

CARGA (KN)	ε <sub>L1</sub> (0,01mm)	ε <sub>L2</sub> (0,01mm)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000128	0.000192	1.60E-04	1.03
40	0.051	0.064	0.000256	0.000320	2.88E-04	2.07
60	0.076	0.089	0.000383	0.000447	4.15E-04	3.10
80	0.102	0.120	0.000511	0.000603	5.57E-04	4.13
100	0.114	0.127	0.000575	0.000639	6.07E-04	5.17
120	0.127	0.140	0.000639	0.000703	6.71E-04	6.20
140	0.140	0.153	0.000703	0.000767	7.35E-04	7.23
160	0.165	0.165	0.000831	0.000831	8.31E-04	8.26

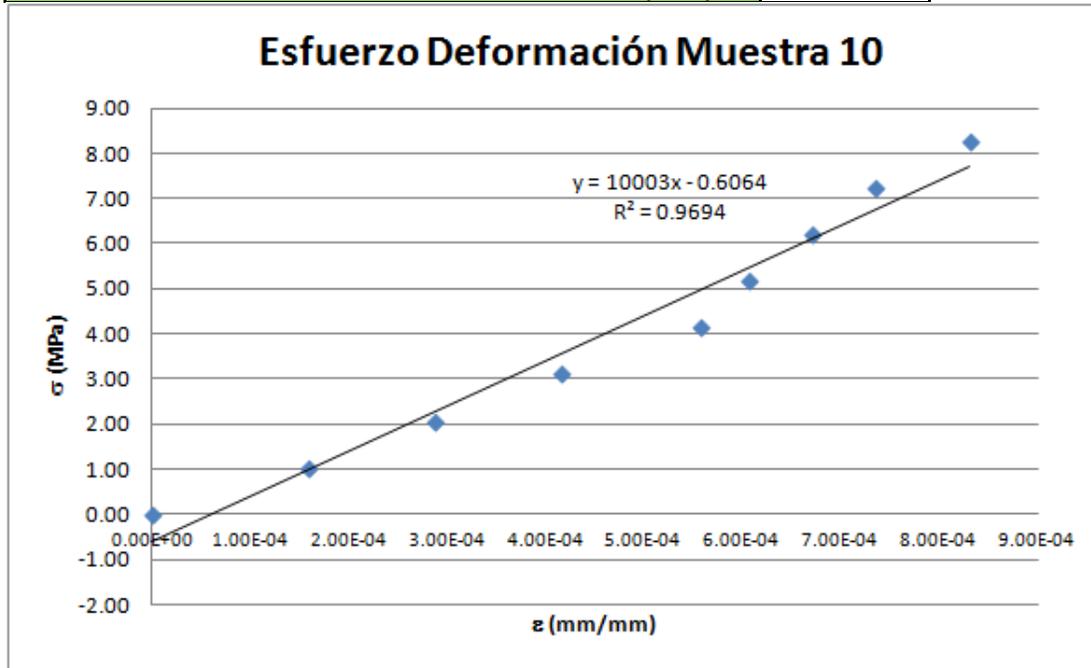
**0.004263      37.19**

	n =	9.000		
	ε prom =	4.737E-04	σ prom =	4.132385
1	0	0.000E+00		
2	0.000165048	2.552E-08		
3	0.000594174	8.270E-08		
4	0.001287376	1.725E-07		
5	0.002301748	3.103E-07		
6	0.003135917	3.686E-07		
7	0.004159216	4.502E-07		
8	0.005314554	5.401E-07		
9	0.006866007	6.902E-07		
	<b>0.023824041</b>	<b>2.64004E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	10003.45	*	Deformación	-6.064E-01
--------------------------------	-------------------	----------	---	-------------	------------

No	σ (Mpa)	Deformación
1	-0.106244526	0.00005
2	8.26	8.31E-04

**MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:**  $E_c$  (MPa) = 10721.68



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>11</b>				
<b>er=</b>	5.70 cm	<b>Diámetro=</b>	15.30 cm		
<b>eg=</b>	5.30 cm	<b>Altura=</b>	30.40 cm	<b>Área (mm²) =</b>	18385.39
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.52	<b>Carga Máxima=</b>	385.6 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000132	0.000198	1.65E-04	1.09
40	0.051	0.064	0.000264	0.000330	2.97E-04	2.18
60	0.076	0.089	0.000395	0.000461	4.28E-04	3.26
80	0.114	0.114	0.000593	0.000593	5.93E-04	4.35
100	0.127	0.127	0.000659	0.000659	6.59E-04	5.44
120	0.140	0.140	0.000725	0.000725	7.25E-04	6.53
140	0.153	0.153	0.000791	0.000791	7.91E-04	7.61

**0.003658      30.46**

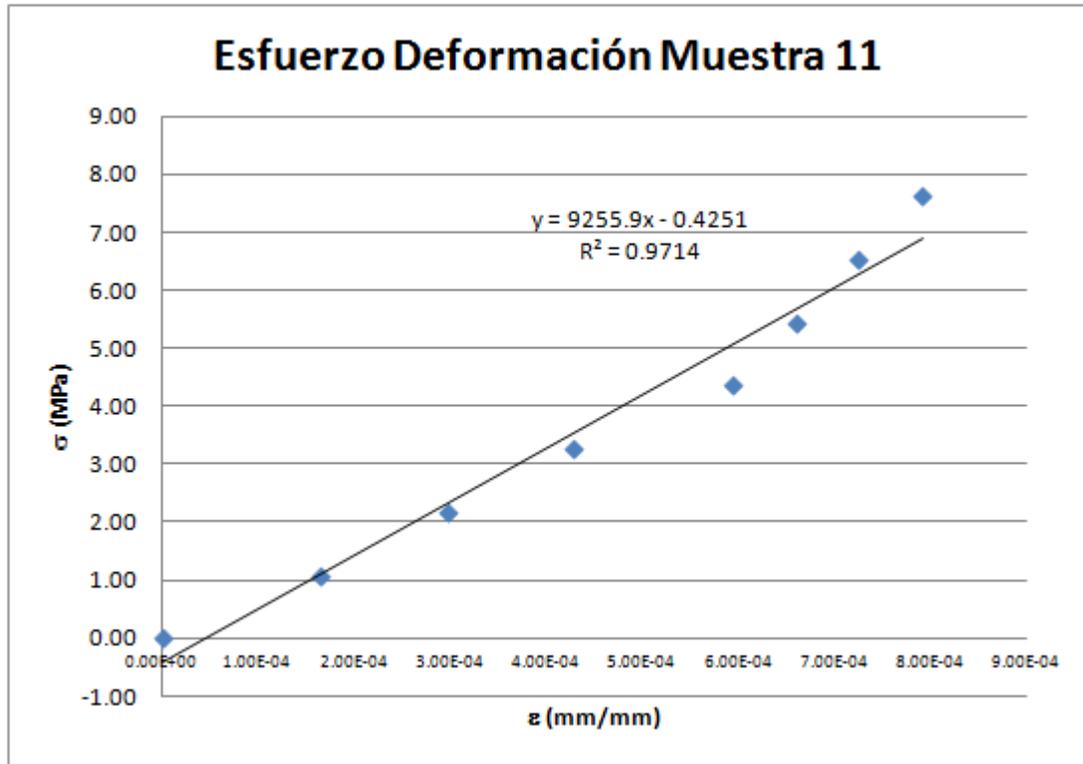
n = 8.000

	$\varepsilon$ prom =	4.573E-04	$\sigma$ prom =	3.807372
1	0	0.000E+00		
2	0.000179253	2.715E-08		
3	0.000645311	8.798E-08		
4	0.001398174	1.836E-07		
5	0.002581244	3.519E-07		
6	0.003585061	4.344E-07		
7	0.004732228	5.257E-07		
8	0.006022902	6.256E-07		
	<b>0.019144225</b>	<b>2.236E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	9255.89	* Deformación	-4.251E-01
--------------------------------	-------------------	---------	---------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.037729508	0.00005
2	7.61	7.91E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	10226.04
--	-------------------	----------



MUESTRA N°=	12				
er=	5.30 cm	Diámetro=	14.90 cm		
eg=	4.90 cm	Altura=	29.30 cm	Área (mm <sup>2</sup> ) =	17436.62
% Excentricidad Longitudinal =	0.52	Carga Máxima=	354.9 KN		

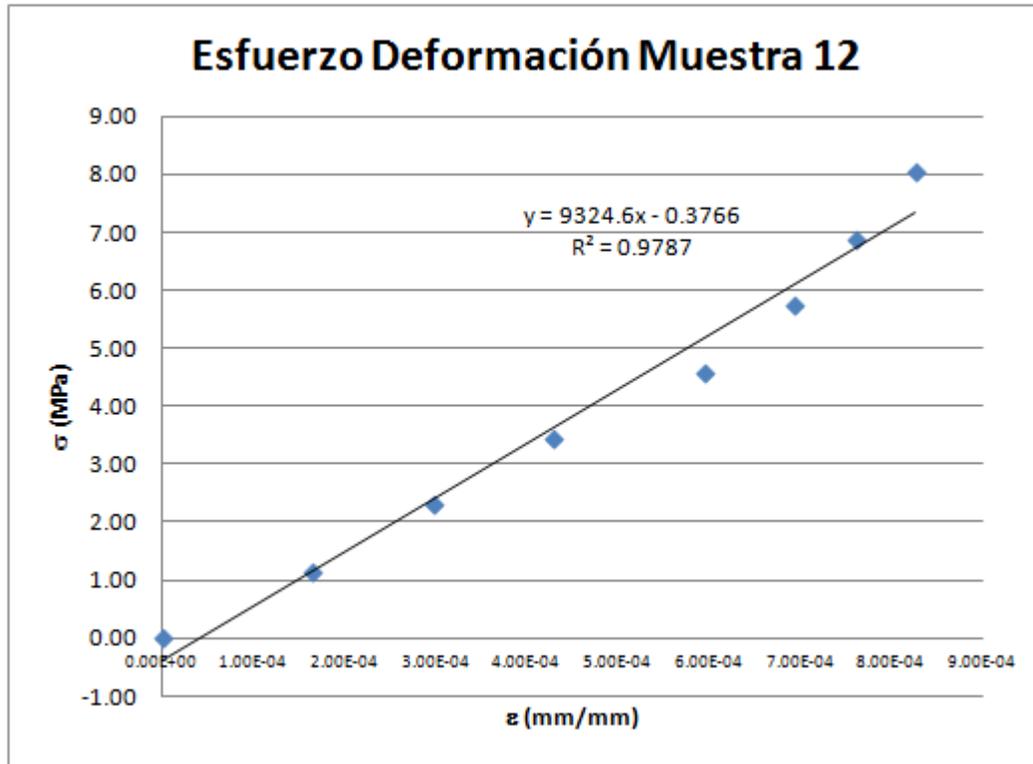
CARGA (KN)	ε <sub>L1</sub> (0,01mm)	ε <sub>L2</sub> (0,01mm)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000132	0.000198	1.65E-04	1.15
40	0.051	0.064	0.000264	0.000330	2.97E-04	2.29
60	0.076	0.089	0.000397	0.000463	4.30E-04	3.44
80	0.114	0.114	0.000595	0.000595	5.95E-04	4.59
100	0.127	0.140	0.000661	0.000727	6.94E-04	5.74
120	0.140	0.153	0.000727	0.000793	7.60E-04	6.88
140	0.153	0.165	0.000793	0.000859	8.26E-04	8.03
					<b>0.003767</b>	<b>32.12</b>

n = 8.000  
 ε prom = 4.709E-04      σ prom = 4.014538  
 1            0            0.000E+00  
 2            0.000189527    2.730E-08  
 3            0.000682296    8.846E-08  
 4            0.001478308    1.846E-07  
 5            0.002729184    3.538E-07  
 6            0.003980061    4.816E-07  
 7            0.005230937    5.777E-07  
 8            0.006633434    6.826E-07  
             **0.020923747    2.396E-06**

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	9324.65	* Deformación	-3.766E-01
--------------------------------	-------------------	---------	------------------	------------

No	σ (Mpa)	Deformación
1	0.089601948	0.00005
2	8.03	8.26E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	10228.96
--	-------------------	----------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>13</b>				
<b>er=</b>	5.0 cm	<b>Diámetro=</b>	15.20 cm		
<b>eg=</b>	4.80 cm	<b>Altura=</b>	30.50 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	18145.84
				=	
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.51	<b>Carga Máxima=</b>	299.8 KN		

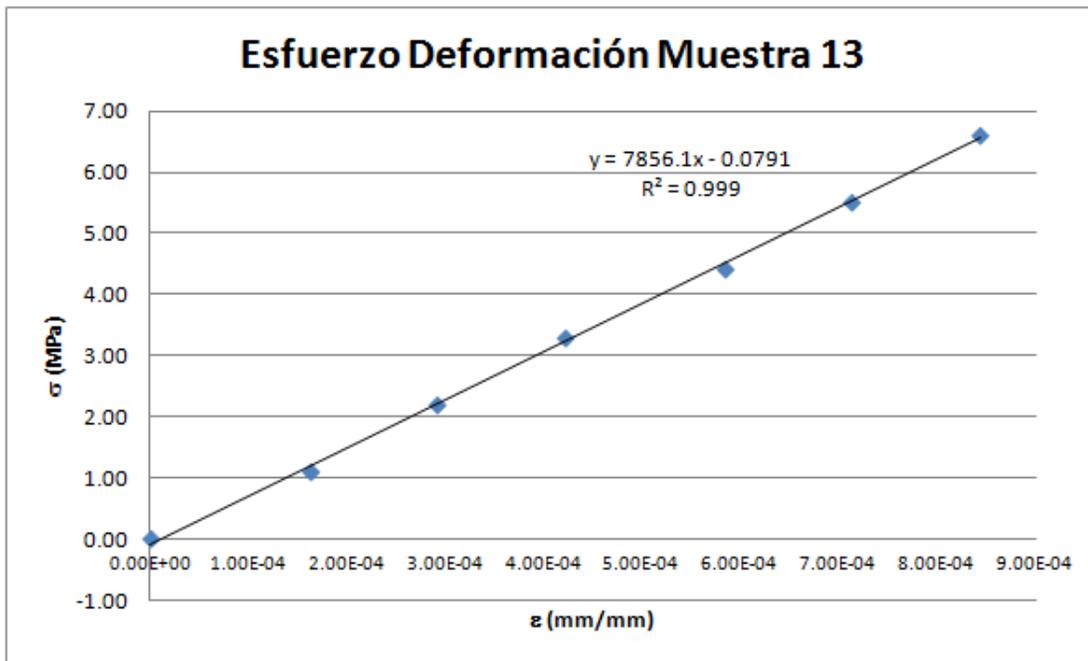
CARGA (KN)	ε <sub>L1(0,01mm)</sub>	ε <sub>L2(0,01mm)</sub>	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000130	0.000195	1.62E-04	1.10
40	0.051	0.064	0.000260	0.000324	2.92E-04	2.20
60	0.076	0.089	0.000389	0.000454	4.22E-04	3.31
80	0.114	0.114	0.000584	0.000584	5.84E-04	4.41
100	0.140	0.140	0.000712	0.000714	7.13E-04	5.51
120	0.165	0.165	0.000844	0.000844	8.44E-04	6.61
					<b>0.003017</b>	<b>23.15</b>

	n =	7.000		
	$\varepsilon$ prom =	4.310E-04	$\sigma$ prom =	3.306543
1	0	0.000E+00		
2	0.000178823	2.632E-08		
3	0.000643764	8.529E-08		
4	0.001394821	1.779E-07		
5	0.002575055	3.412E-07		
6	0.003928488	5.082E-07		
7	0.005579285	7.118E-07		
	<b>0.014300237</b>	<b>1.851E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	7856.12	*	-
			Deformación	0.0791485

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.313657738	0.00005
2	6.61	8.44E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	7937.05
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>14</b>
--------------------	-----------

<b>er=</b>	5.40 cm	<b>Diámetro=</b>	15.00 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b> =	17671.46
<b>eg=</b>	4.80 cm	<b>Altura=</b>	29.30 cm		
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.53	<b>Carga Máxima=</b>	298.3 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1(0,01mm)}$	$\epsilon_{L2(0,01mm)}$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.025	0.000135	0.000135	1.35E-04	1.13
40	0.051	0.064	0.000269	0.000337	3.03E-04	2.26
60	0.076	0.089	0.000404	0.000471	4.38E-04	3.40
80	0.114	0.114	0.000606	0.000606	6.06E-04	4.53
100	0.140	0.153	0.000741	0.000808	7.74E-04	5.66

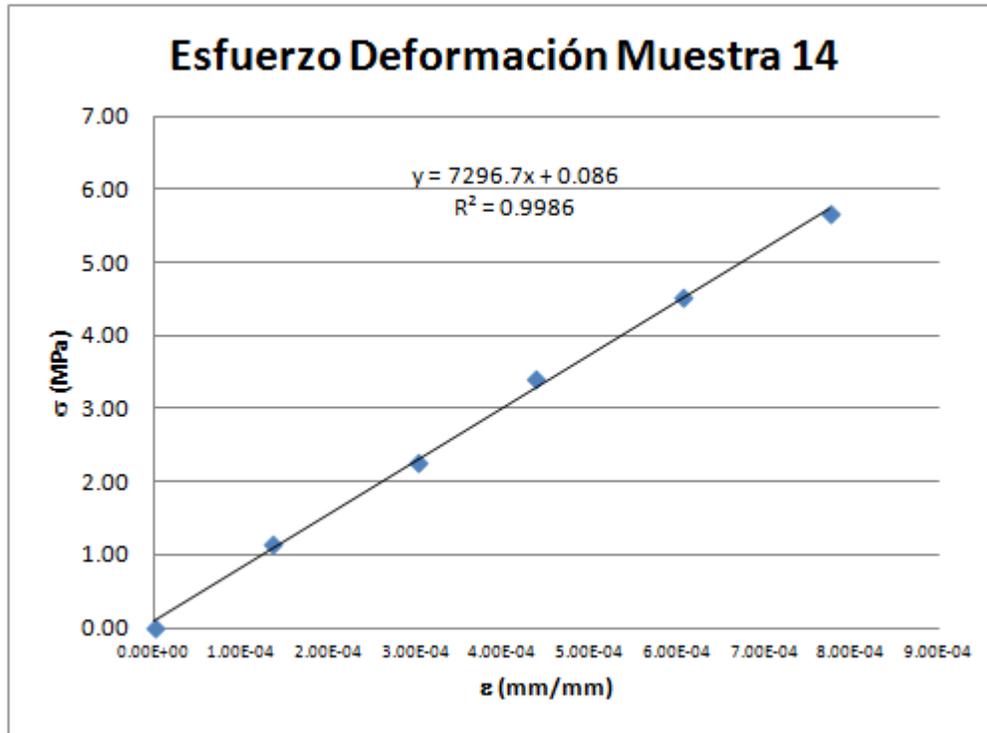
**0.002256      16.98**

	n =	6.000		
	$\epsilon$ prom =	3.760E-04	$\sigma$ prom =	2.829421
1	0	0.000E+00		
2	0.000152429	1.814E-08		
3	0.000685932	9.183E-08		
4	0.001486185	1.916E-07		
5	0.002743726	3.673E-07		
6	0.004382341	5.997E-07		
	<b>0.009450613</b>	<b>1.269E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	7296.66	<b>* Deformación</b>	8.596E-02
--------------------------------	-------------------	---------	----------------------	-----------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.450796453	0.00005
2	5.66	7.74E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	7189.23
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>15</b>				
<b>er=</b>	5.20 cm	<b>Diámetro=</b>	15.30 cm		
<b>eg=</b>	5.50 cm	<b>Altura=</b>	30.50 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	18385.39
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.49	<b>Carga Máxima=</b>	275.8 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000124	0.000185	1.55E-04	1.09
40	0.051	0.064	0.000247	0.000309	2.78E-04	2.18
60	0.076	0.089	0.000371	0.000433	4.02E-04	3.26
80	0.114	0.114	0.000556	0.000556	5.56E-04	4.35
100	0.140	0.153	0.000680	0.000742	7.11E-04	5.44

**0.002102      16.32**

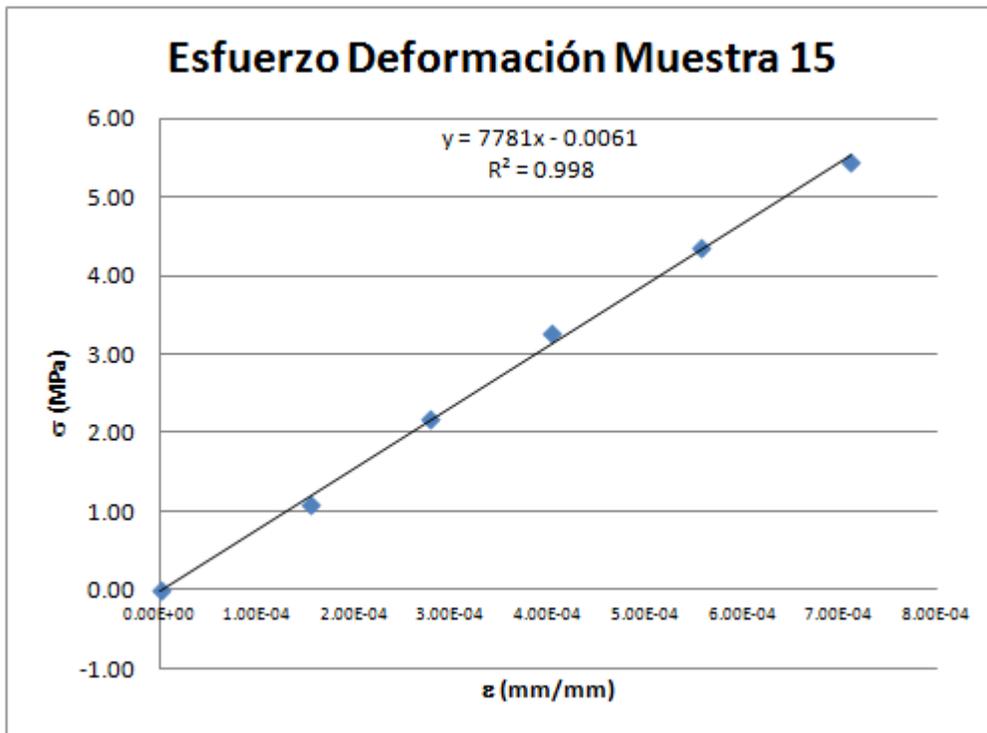
n = 6.000  
 $\epsilon$  prom = 3.503E-04       $\sigma$  prom = 2.719551

1	0	0.000E+00
2	0.000168114	2.388E-08
3	0.00060521	7.738E-08
4	0.001311289	1.615E-07
5	0.002420842	3.095E-07
6	0.003866623	5.054E-07
	<b>0.008372078</b>	<b>1.078E-06</b>

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	7780.98	<b>*</b> Deformación	-6.089E-03
--------------------------------	-------------------	---------	-------------------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.382960302	0.00005
2	5.44	7.11E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	7650.47
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>16</b>		
<b>er=</b>	5.30 cm	<b>Diámetro=</b>	15.10 cm

<b>eg=</b>	5.0 cm	<b>Altura=</b>	30.00 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>) =</b>	17907.86
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.51	<b>Carga Máxima=</b>	230.1 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.038	0.038	0.000196	0.000196	1.96E-04	1.12
40	0.076	0.076	0.000393	0.000393	3.93E-04	2.23
60	0.089	0.089	0.000458	0.000458	4.58E-04	3.35
80	0.140	0.140	0.000720	0.000720	7.20E-04	4.47

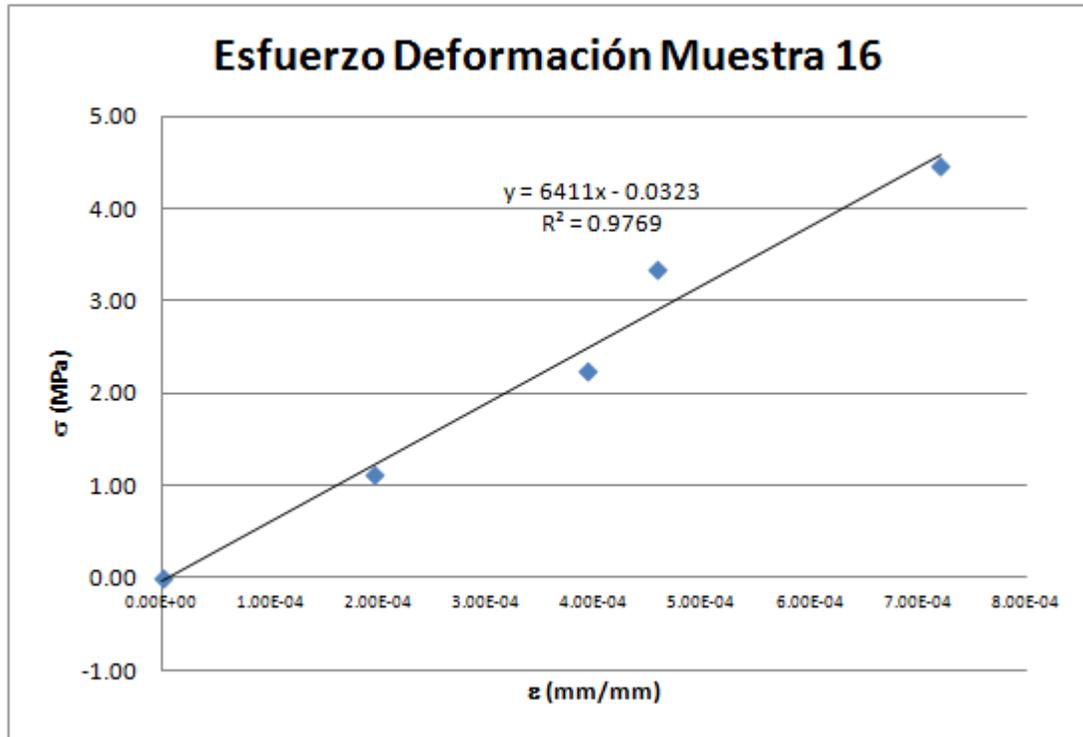
**0.001767 11.17**

	n =	5.000		
	$\epsilon prom =$	3.534E-04	$\sigma prom =$	2.233656
1	0	0.000E+00		
2	0.000219297	3.856E-08		
3	0.000877189	1.542E-07		
4	0.001535081	2.099E-07		
5	0.00321636	5.184E-07		
	<b>0.005847927</b>	<b>9.211E-07</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	6411.03	* Deformación	-3.228E-02
--------------------------------	-------------------	---------	---------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.288273172	0.00005
2	4.47	7.20E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	6237.59
--	-------------------	---------



MUESTRA N°=	17				
er=	5.0 cm	Diámetro=	15.40 cm		
eg=	5.20 cm	Altura=	30.20 cm	Área (mm <sup>2</sup> )	18626.50
				=	
% Excentricidad Longitudinal =	0.49	Carga Máxima=	229.9 KN		

CARGA (KN)	ε <sub>L1</sub> (0,01mm)	ε <sub>L2</sub> (0,01mm)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.038	0.038	0.000187	0.000187	1.87E-04	1.07
40	0.076	0.076	0.000374	0.000374	3.74E-04	2.15
60	0.089	0.102	0.000436	0.000499	4.68E-04	3.22
80	0.140	0.153	0.000686	0.000748	7.17E-04	4.29

**0.001746      10.74**

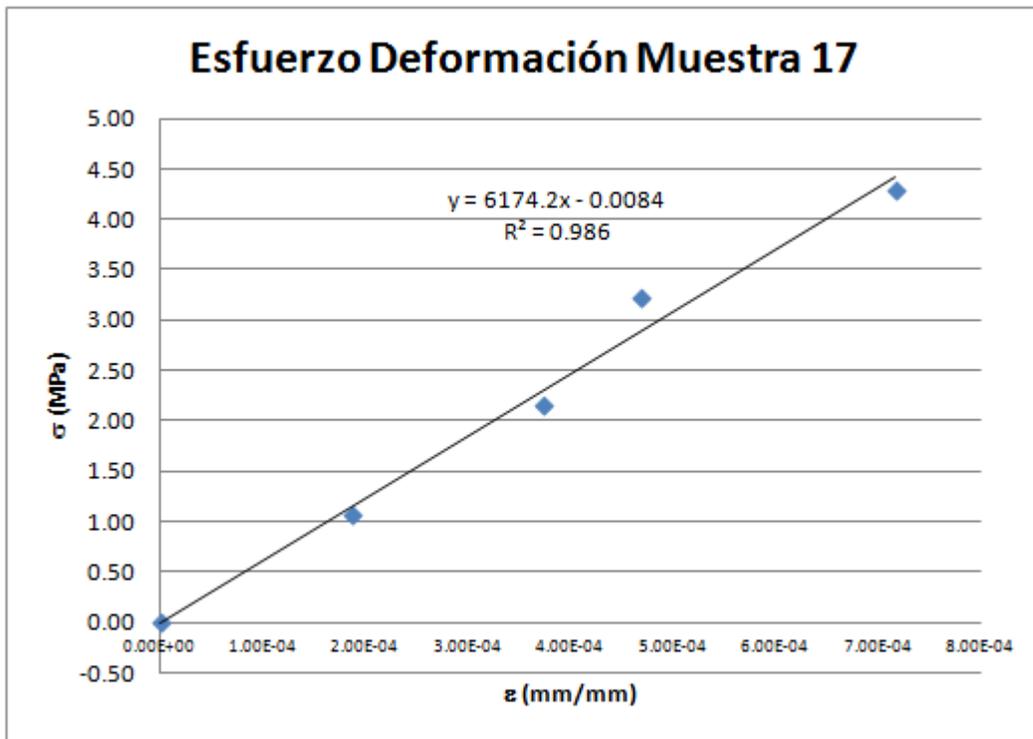
n = 5.000  
 ε prom = 3.492E-04      σ prom = 2.147478

1	0	0.000E+00
2	0.000200852	3.499E-08
3	0.000803409	1.400E-07
4	0.001506392	2.187E-07
5	0.003079736	5.142E-07
	<b>0.00559039</b>	<b>9.078E-07</b>

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	6174.18	<b>*</b>	-8.400E-03
--------------------------------	-------------------	---------	----------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.300309316	0.00005
2	4.29	7.17E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	5988.45
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>18</b>			
<b>er=</b>	5.30 cm	<b>Diámetro=</b>	15.10 cm	
<b>eg=</b>	5.0 cm	<b>Altura=</b>	30.20 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b> 17907.86

				=	
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.51	<b>Carga Máxima=</b>	225.8 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.038	0.038	0.000196	0.000196	1.96E-04	1.12
40	0.076	0.076	0.000393	0.000393	3.93E-04	2.23
60	0.089	0.102	0.000458	0.000524	4.91E-04	3.35
80	0.127	0.140	0.000655	0.000720	6.87E-04	4.47

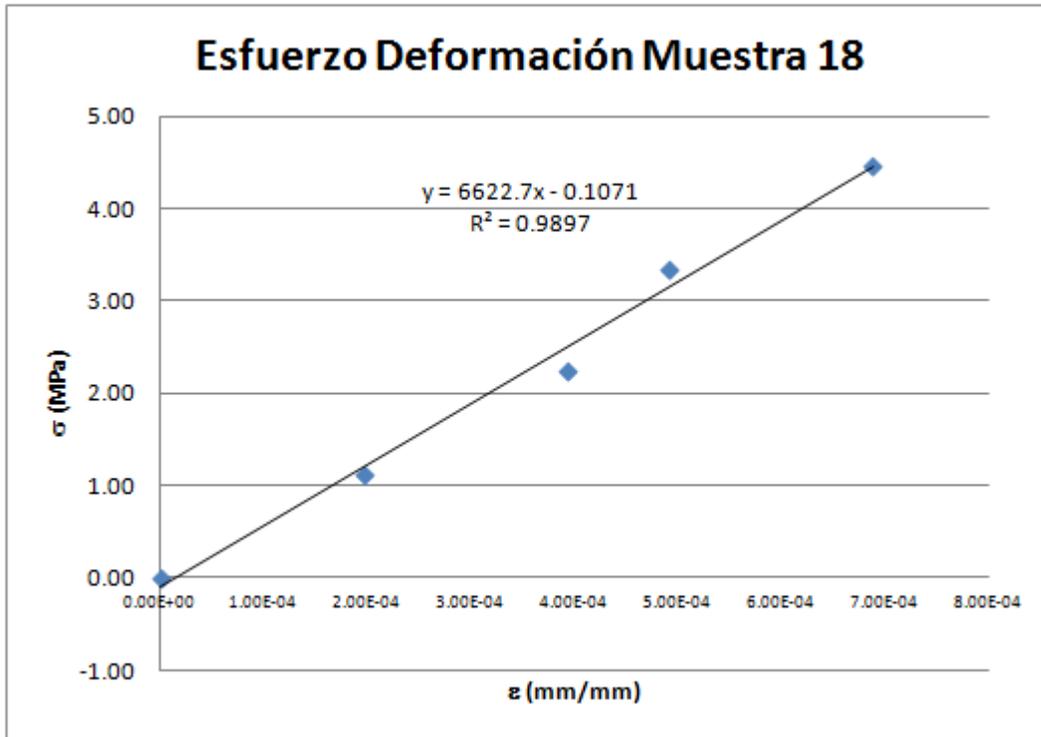
**0.001767      11.17**

	n =	5.000		
	$\epsilon$ prom =	3.534E-04	$\sigma$ prom =	2.233656
1	0	0.000E+00		
2	0.000219297	3.856E-08		
3	0.000877189	1.542E-07		
4	0.00164473	2.410E-07		
5	0.003070162	4.723E-07		
	<b>0.005811378</b>	<b>9.061E-07</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	6622.70	* Deformación	-1.071E-01
--------------------------------	-------------------	---------	------------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.224042069	0.00005
2	4.47	6.87E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	6658.71
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>19</b>				
<b>er=</b>	5.20 cm	<b>Diámetro=</b>	15.20 cm		
<b>eg=</b>	5.10 cm	<b>Altura=</b>	30.00 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	18145.84
				=	
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.50	<b>Carga Máxima=</b>	387.8 KN		

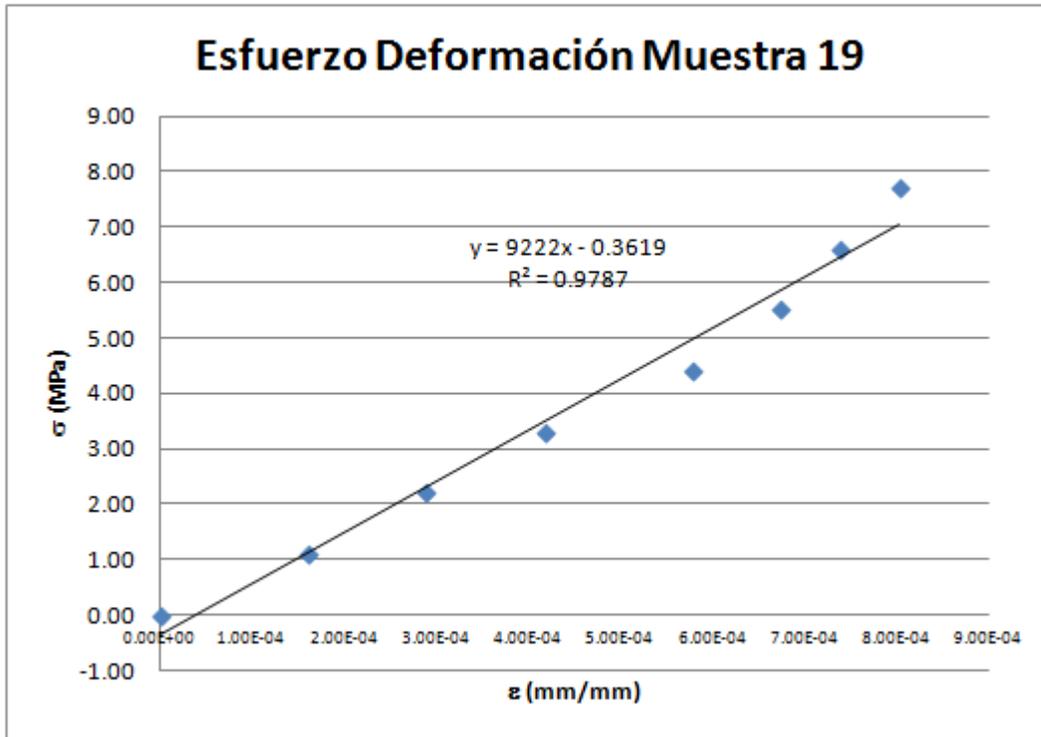
CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000128	0.000193	1.61E-04	1.10
40	0.051	0.064	0.000257	0.000321	2.89E-04	2.20
60	0.076	0.089	0.000385	0.000450	4.17E-04	3.31
80	0.114	0.114	0.000578	0.000578	5.78E-04	4.41
100	0.127	0.140	0.000642	0.000706	6.74E-04	5.51
120	0.140	0.153	0.000706	0.000771	7.39E-04	6.61
140	0.153	0.165	0.000771	0.000835	8.03E-04	7.72

	n =	8.000		
	$\varepsilon$ prom =	4.575E-04	$\sigma$ prom =	3.857634
1	0	0.000E+00		
2	0.000176948	2.577E-08		
3	0.000637014	8.351E-08		
4	0.001380196	1.742E-07		
5	0.002548054	3.340E-07		
6	0.003715912	4.547E-07		
7	0.004883771	5.454E-07		
8	0.006193187	6.444E-07		
	<b>0.019535083</b>	<b>2.262E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	9222.05	<sup>*</sup> Deformación	-3.619E-01
--------------------------------	-------------------	---------	-----------------------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.099192235	0.00005
2	7.72	8.03E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	10118.09
--	-------------------	----------



MUESTRA N°=	20				
er=	5.30 cm	Diámetro=	15.40 cm		
eg=	5.10 cm	Altura=	30.40 cm	Área (mm <sup>2</sup> )	18626.50
				=	
% Excentricidad Longitudinal =	0.51	Carga Máxima=	293.3 KN		

CARGA (KN)	ε <sub>L1</sub> (0,01mm)	ε <sub>L2</sub> (0,01mm)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000130	0.000194	1.62E-04	1.07
40	0.051	0.064	0.000259	0.000324	2.92E-04	2.15
60	0.076	0.089	0.000389	0.000454	4.21E-04	3.22
80	0.114	0.127	0.000583	0.000648	6.16E-04	4.29
100	0.140	0.153	0.000713	0.000778	7.45E-04	5.37

**0.002236      16.11**

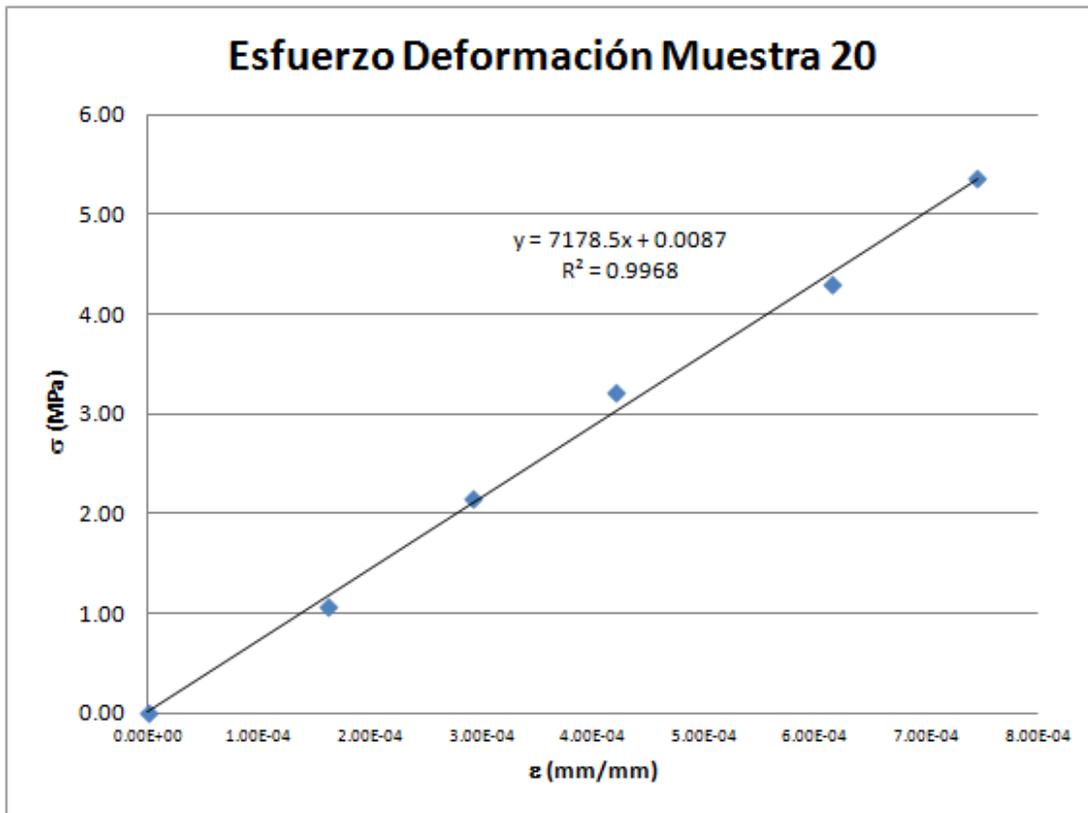
n = 6.000

	$\varepsilon$ prom =	3.727E-04	$\sigma$ prom =	2.684347
1	0	0.000E+00		
2	0.000174008	2.626E-08		
3	0.000626428	8.509E-08		
4	0.00135726	1.775E-07		
5	0.002644916	3.792E-07		
6	0.004002176	5.557E-07		
	<b>0.008804787</b>	<b>1.224E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	7178.54	*	Deforcación	8.671E-03
--------------------------------	-------------------	---------	---	-------------	-----------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deforcación
1	0.367597809	0.00005
2	5.37	7.45E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	7191.01
--	-------------------	---------



MUESTRA N°=	21				
er=	5.50 cm	Diámetro=	15.40 cm		
eg=	4.90 cm	Altura=	30.10 cm	Área (mm <sup>2</sup> ) =	18626.50
% Excentricidad Longitudinal =	0.53	Carga Máxima=	244.2 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.038	0.038	0.000202	0.000202	2.02E-04	1.07
40	0.076	0.076	0.000404	0.000404	4.04E-04	2.15
60	0.089	0.114	0.000471	0.000605	5.38E-04	3.22
80	0.127	0.127	0.000673	0.000673	6.73E-04	4.29

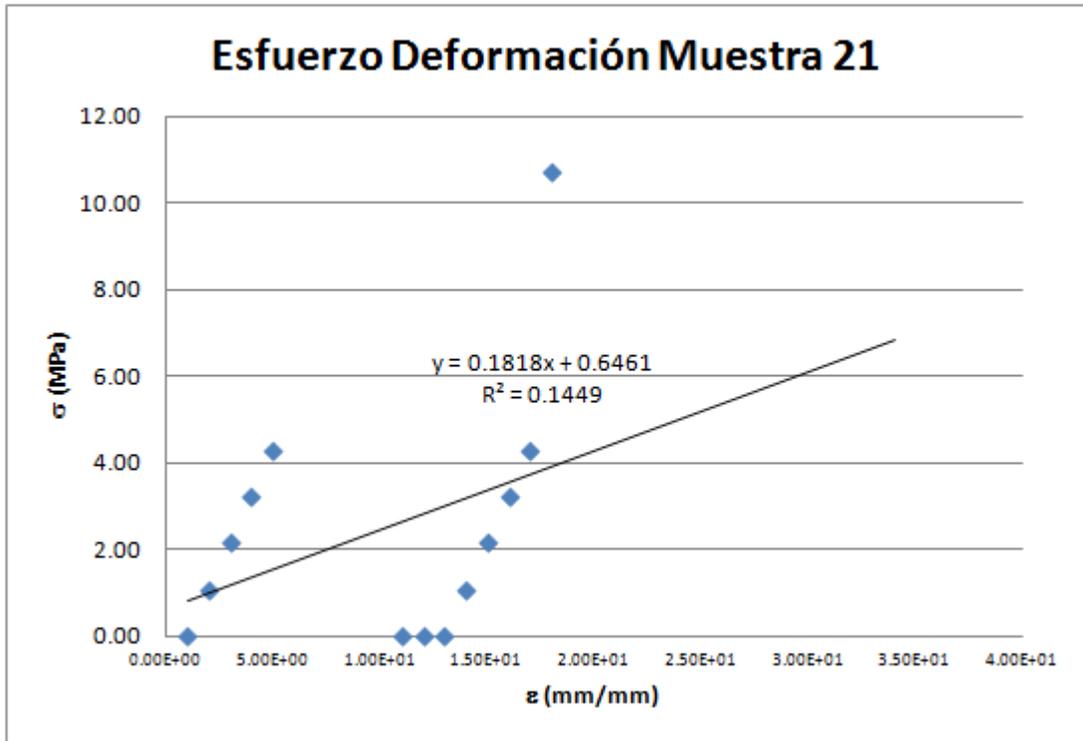
**0.001816      10.74**

	n =	5.000		
	$\epsilon$ prom =	3.633E-04	$\sigma$ prom =	2.147478
1	0	0.000E+00		
2	0.000216689	4.073E-08		
3	0.000866755	1.629E-07		
4	0.00173351	2.896E-07		
5	0.002889183	4.525E-07		
	<b>0.005706137</b>	<b>9.458E-07</b>		

Ecuación de la Gráfica:	Esfuerzo =	6314.01	* Deformación	-1.461E-01
-------------------------	------------	---------	---------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.169590375	0.00005
2	4.29	6.73E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	6625.05
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>22</b>				
<b>er=</b>	5.30 cm	<b>Diámetro=</b>	15.40 cm		
<b>eg=</b>	4.90 cm	<b>Altura=</b>	30.40 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	18626.50
				=	
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.52	<b>Carga Máxima=</b>	294.4 KN		

CARGA (KN)	ε <sub>L1</sub> (0,01mm)	ε <sub>L2</sub> (0,01mm)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000132	0.000198	1.65E-04	1.07
40	0.051	0.064	0.000264	0.000330	2.97E-04	2.15
60	0.076	0.089	0.000397	0.000463	4.30E-04	3.22
80	0.114	0.114	0.000595	0.000595	5.95E-04	4.29
100	0.153	0.153	0.000793	0.000793	7.93E-04	5.37

**0.002280      16.11**

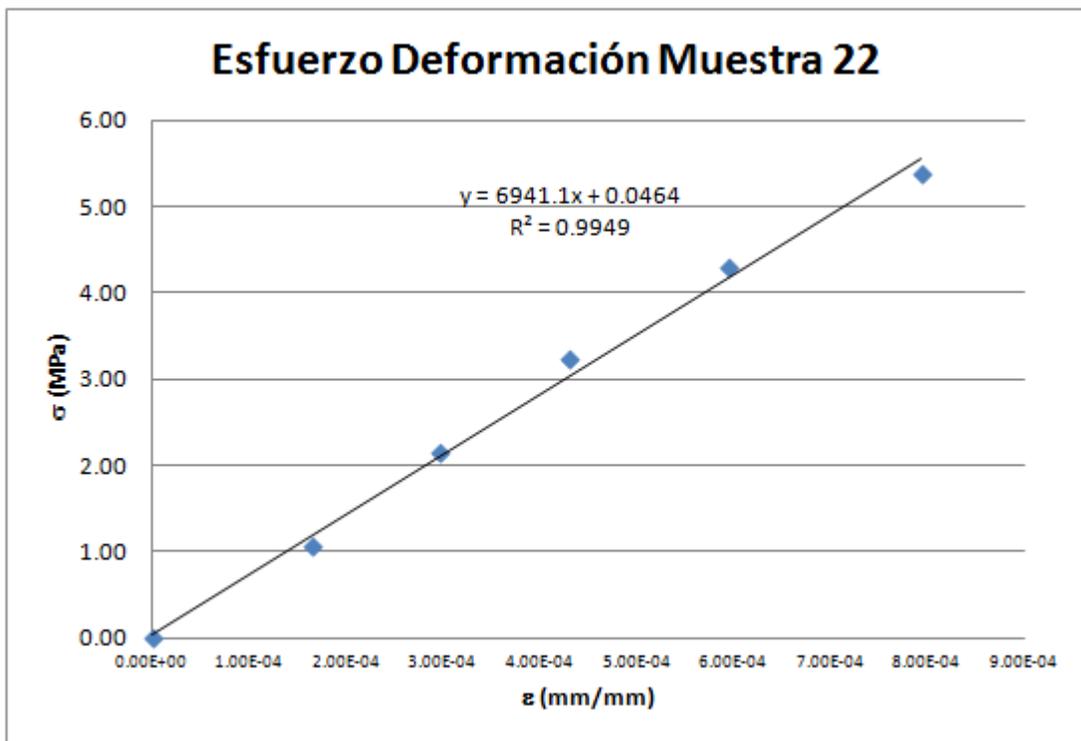
n =                      6.000

	$\varepsilon$ prom =	3.800E-04	$\sigma$ prom =	2.684347
1	0	0.000E+00		
2	0.00017742	2.730E-08		
3	0.00063871	8.846E-08		
4	0.001383873	1.846E-07		
5	0.002554842	3.538E-07		
6	0.004258069	6.291E-07		
	<b>0.009012913</b>	<b>1.283E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	6941.11	<b>Deformación*</b>	4.644E-02
--------------------------------	-------------------	---------	---------------------	-----------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.393495057	0.00005
2	5.37	7.93E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	6694.93
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>23</b>
--------------------	-----------

er=	4.80 cm	Diámetro=	15.80 cm	Área (mm <sup>2</sup> ) =	19606.68
eg=	5.50 cm	Altura=	30.00 cm		
% Excentricidad Longitudinal =	0.47	Carga Máxima=	400.2 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1(0,01mm)}$	$\epsilon_{L2(0,01mm)}$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.020	0.015	0.000093	0.000070	8.16E-05	1.02
40	0.035	0.035	0.000163	0.000163	1.63E-04	2.04
60	0.050	0.052	0.000233	0.000242	2.38E-04	3.06
80	0.065	0.070	0.000303	0.000326	3.15E-04	4.08
100	0.080	0.090	0.000373	0.000419	3.96E-04	5.10
120	0.100	0.105	0.000466	0.000489	4.78E-04	6.12

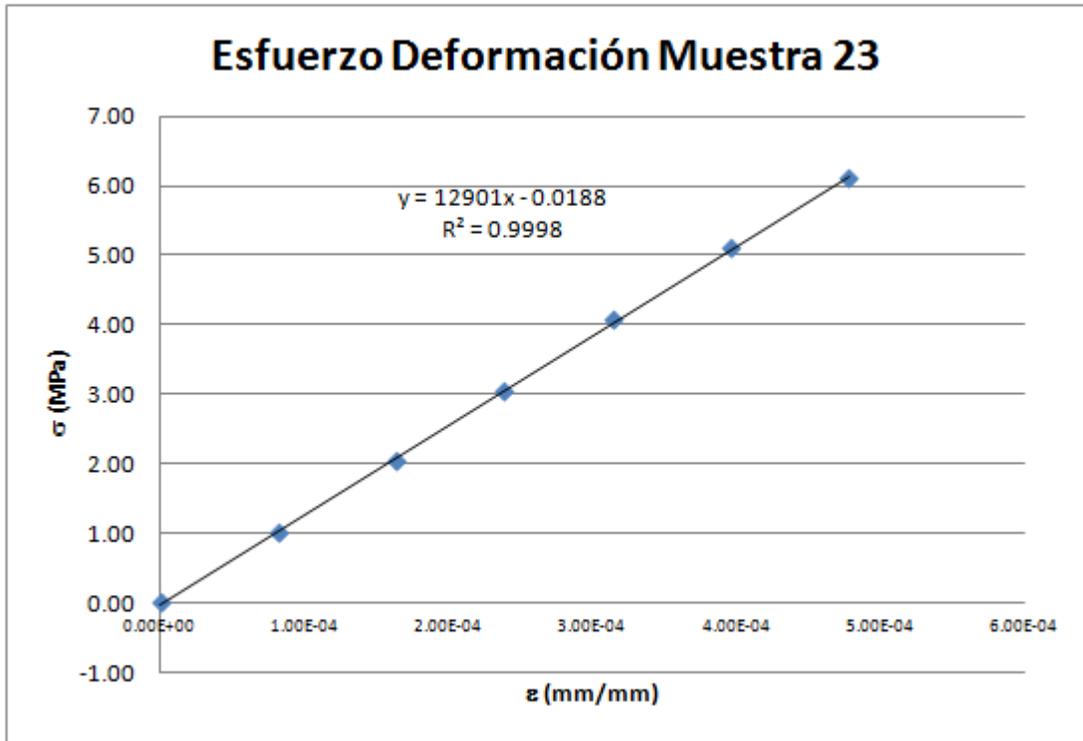
**0.001671      21.42**

	n =	7.000		
	$\epsilon$ prom =	2.387E-04	$\sigma$ prom =	3.060182
1	0	0.000E+00		
2	8.31894E-05	6.651E-09		
3	0.000332758	2.660E-08		
4	0.000727313	5.649E-08		
5	0.001283494	9.895E-08		
6	0.002020314	1.569E-07		
7	0.002923513	2.282E-07		
	<b>0.007370581</b>	<b>5.738E-07</b>		

Ecuación de la Gráfica:	Esfuerzo =	12900.64	* Deformación	- 0.0187953
-------------------------	------------	----------	------------------	----------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.626236794	0.00005
2	6.12	4.78E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	12846.65
--	-------------------	----------



MUESTRA N°=	24				
er=	5.30 cm	Diámetro=	15.40 cm		
eg=	5.80 cm	Altura=	30.30 cm	Área (mm <sup>2</sup> )	18626.50
				=	
% Excentricidad Longitudinal =	0.48	Carga Máxima=	307.1 KN		

CARGA (KN)	ε <sub>L1</sub> (0,01mm)	ε <sub>L2</sub> (0,01mm)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000121	0.000182	1.52E-04	1.07
40	0.051	0.064	0.000243	0.000304	2.73E-04	2.15
60	0.076	0.089	0.000364	0.000425	3.95E-04	3.22
80	0.114	0.114	0.000547	0.000547	5.47E-04	4.29
100	0.153	0.165	0.000729	0.000790	7.59E-04	5.37

**0.002126    16.11**

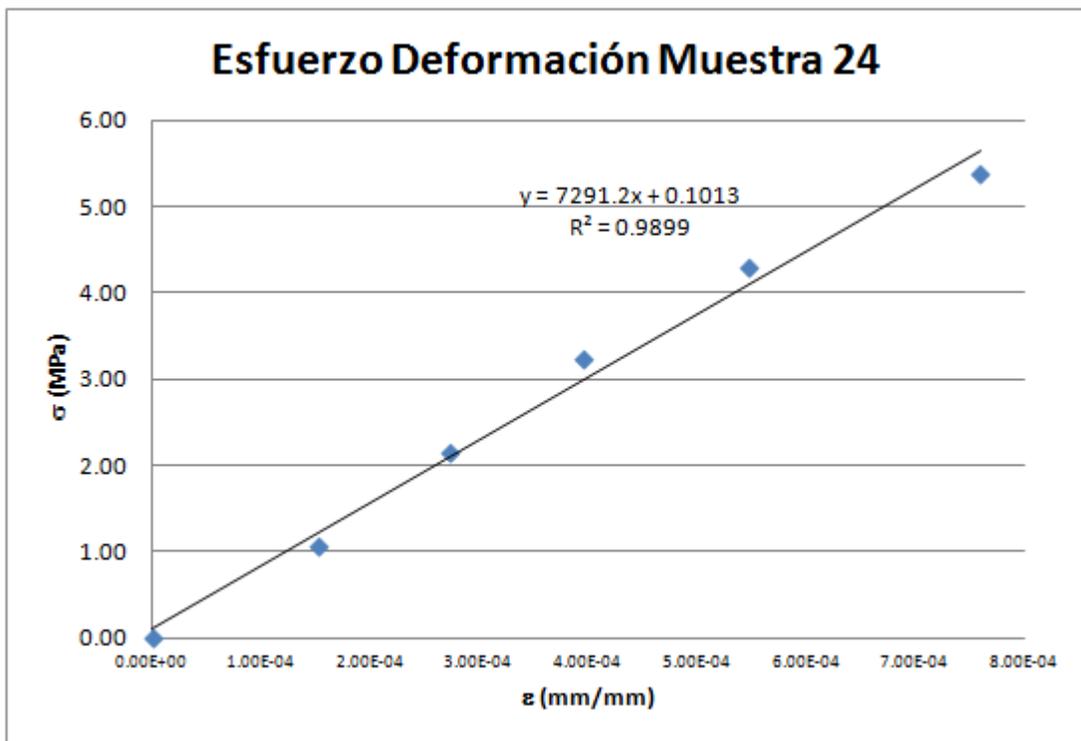
n = 6.000

	$\varepsilon$ prom =	3.543E-04	$\sigma$ prom =	2.684347
1	0	0.000E+00		
2	0.000162932	2.303E-08		
3	0.000586923	7.470E-08		
4	0.001271667	1.558E-07		
5	0.002347692	2.988E-07		
6	0.004075855	5.764E-07		
	<b>0.008445068</b>	<b>1.129E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	7291.18	<b>*</b> Deformación	1.013E-01
--------------------------------	-------------------	---------	-------------------------	-----------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.465843251	0.00005
2	5.37	7.59E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	6913.32
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>25</b>
--------------------	-----------

er=	5.10 cm	Diámetro=	15.50 cm	Área (mm <sup>2</sup> ) =	18869.19
eg=	5.10 cm	Altura=	30.10 cm		
% Excentricidad Longitudinal =	0.50	Carga Máxima=	291.7 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000127	0.000191	1.59E-04	1.06
40	0.051	0.064	0.000254	0.000318	2.86E-04	2.12
60	0.076	0.089	0.000382	0.000445	4.13E-04	3.18
80	0.114	0.114	0.000572	0.000572	5.72E-04	4.24
100	0.153	0.153	0.000763	0.000763	7.63E-04	5.30

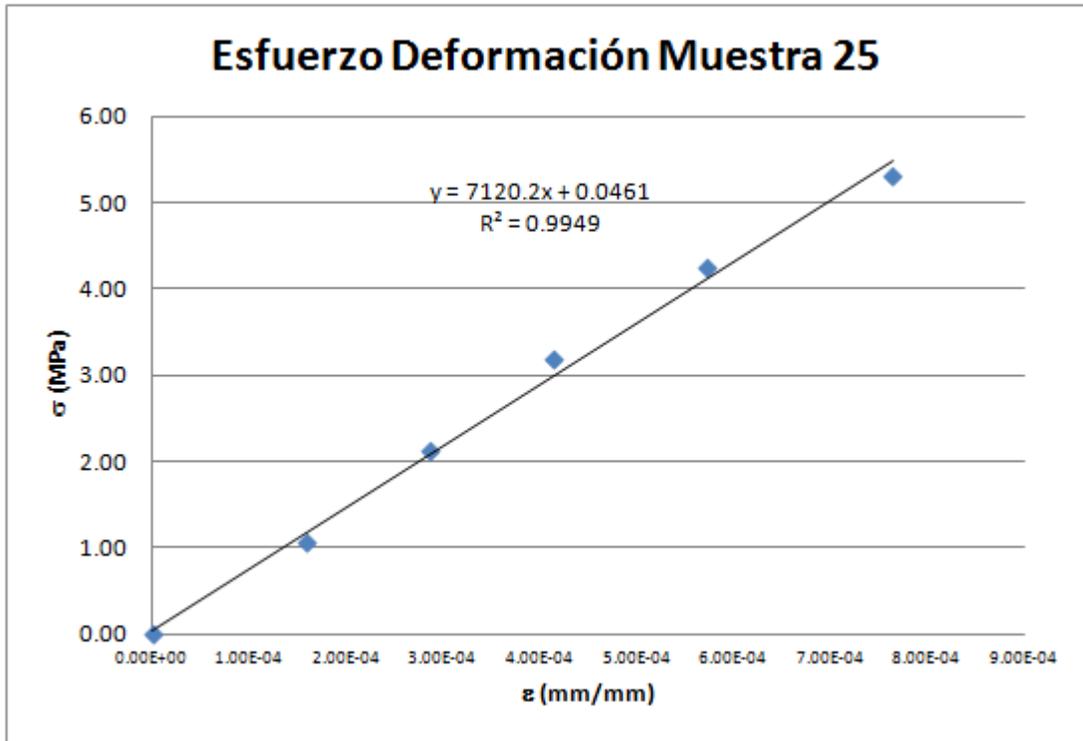
**0.002194      15.90**

	n =	6.000		
	$\epsilon$ prom =	3.657E-04	$\sigma$ prom =	2.649822
1	0	0.000E+00		
2	0.000168423	2.525E-08		
3	0.000606703	8.191E-08		
4	0.001314524	1.709E-07		
5	0.002426813	3.276E-07		
6	0.004044689	5.825E-07		
	<b>0.008561151</b>	<b>1.188E-06</b>		

Ecuación de la Gráfica:	Esfuerzo =	7120.18	*	Deformación	4.609E-02
-------------------------	------------	---------	---	-------------	-----------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.402098538	0.00005
2	5.30	7.63E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	6867.00
--	-------------------	---------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>26</b>				
<b>er=</b>	5.20 cm	<b>Diámetro=</b>	15.20 cm		
<b>eg=</b>	5.10 cm	<b>Altura=</b>	30.20 cm	<b>Área (mm²) =</b>	18145.84
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.50	<b>Carga Máxima=</b>	426.5 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1}(0,01mm)$	$\epsilon_{L2}(0,01mm)$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.00E+00	0.00
20	0.025	0.038	0.000128	0.000193	1.61E-04	1.10
40	0.051	0.064	0.000257	0.000321	2.89E-04	2.20
60	0.076	0.089	0.000385	0.000450	4.17E-04	3.31
80	0.102	0.114	0.000514	0.000578	5.46E-04	4.41
100	0.114	0.127	0.000578	0.000642	6.10E-04	5.51
120	0.127	0.140	0.000642	0.000706	6.74E-04	6.61
140	0.140	0.153	0.000706	0.000771	7.39E-04	7.72
160	0.178	0.178	0.000899	0.000899	8.99E-04	8.82

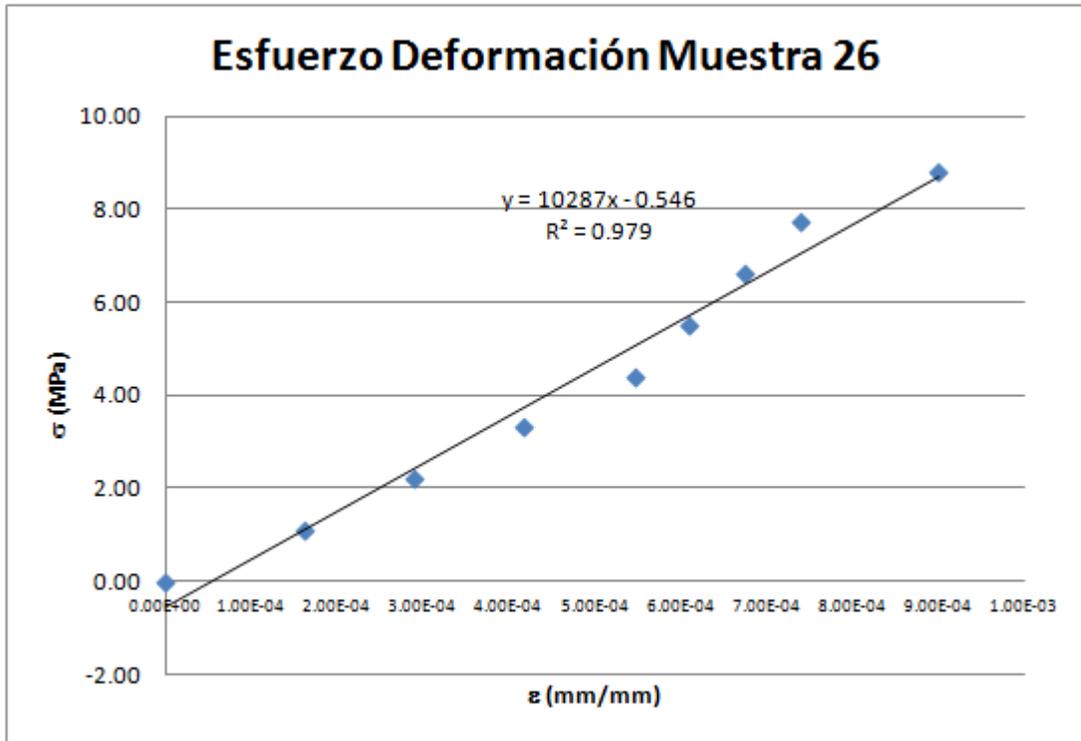
0.004335 39.68

	n =	9.000		
	$\varepsilon$ prom =	4.816E-04	$\sigma$ prom =	4.408724
1	0	0.000E+00		
2	0.000176948	2.577E-08		
3	0.000637014	8.351E-08		
4	0.001380196	1.742E-07		
5	0.002406496	2.980E-07		
6	0.003362016	3.722E-07		
7	0.004459095	4.547E-07		
8	0.005697732	5.454E-07		
9	0.00792728	8.083E-07		
	<b>0.026046777</b>	<b>2.76197E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	10287.46	* Deformación	-5.460E-01
--------------------------------	-------------------	----------	---------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	-3.166E-02	0.00005
2	8.82	8.99E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	10422.43
--	-------------------	----------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>27</b>				
<b>er=</b>	5.20 cm	<b>Diámetro=</b>	15.40 cm		
<b>eg=</b>	4.70 cm	<b>Altura=</b>	30.00 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	18626.50
				=	
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.53	<b>Carga Máxima=</b>	431.8 KN		

CARGA (KN)	ε <sub>L1</sub> (0,01mm)	ε <sub>L2</sub> (0,01mm)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00
20	0.025	0.038	0.000134	0.000200	0.000167	1.07
40	0.051	0.064	0.000267	0.000334	0.000301	2.15
60	0.076	0.076	0.000401	0.000401	0.000401	3.22
80	0.102	0.114	0.000534	0.000601	0.000568	4.29
100	0.114	0.127	0.000601	0.000668	0.000635	5.37
120	0.127	0.140	0.000668	0.000735	0.000702	6.44
140	0.140	0.153	0.000735	0.000802	0.000768	7.52

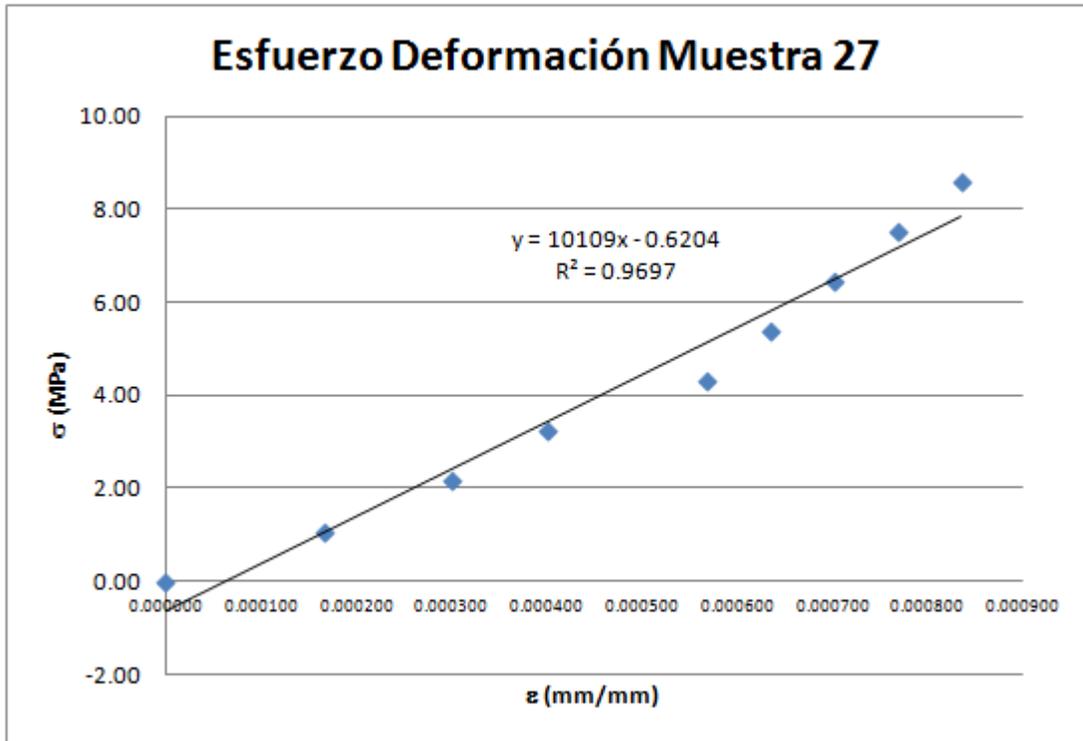
160	0.153	0.165	0.000802	0.000869	0.000835	8.59
					<b>0.004376</b>	<b>38.65</b>

	n =	9.000		
	$\varepsilon$ prom =	4.862E-04	$\sigma$ prom =	4.294955
1	0	0.000E+00		
2	0.000179347	2.790E-08		
3	0.000645649	9.039E-08		
4	0.001291298	1.607E-07		
5	0.002439118	3.225E-07		
6	0.003407592	4.029E-07		
7	0.004519543	4.921E-07		
8	0.005774971	5.903E-07		
9	0.007173877	6.975E-07		
	<b>0.025431394</b>	<b>2.78433E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	10108.90	<sup>*</sup> Deformación	-6.204E-01
--------------------------------	-------------------	----------	-----------------------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	-1.150E-01	0.00005
2	8.59	8.35E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	11086.90
--	-------------------	----------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>28</b>				
<b>er=</b>	5.30 cm	<b>Diámetro=</b>	15.40 cm		
<b>eg=</b>	4.80 cm	<b>Altura=</b>	30.30 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	18626.50
				=	
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.52	<b>Carga Máxima=</b>	435.8 KN		

CARGA (KN)	ε <sub>L1</sub> (0,01mm)	ε <sub>L2</sub> (0,01mm)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00
20	0.025	0.025	0.000133	0.000133	0.000133	1.07
40	0.051	0.064	0.000267	0.000334	0.000300	2.15
60	0.076	0.089	0.000400	0.000467	0.000434	3.22
80	0.102	0.114	0.000534	0.000601	0.000567	4.29
100	0.114	0.127	0.000601	0.000667	0.000634	5.37
120	0.127	0.140	0.000667	0.000734	0.000701	6.44
140	0.140	0.153	0.000734	0.000801	0.000768	7.52

160	0.153	0.165	0.000802	0.000868	0.000835	8.59
-----	-------	-------	----------	----------	----------	------

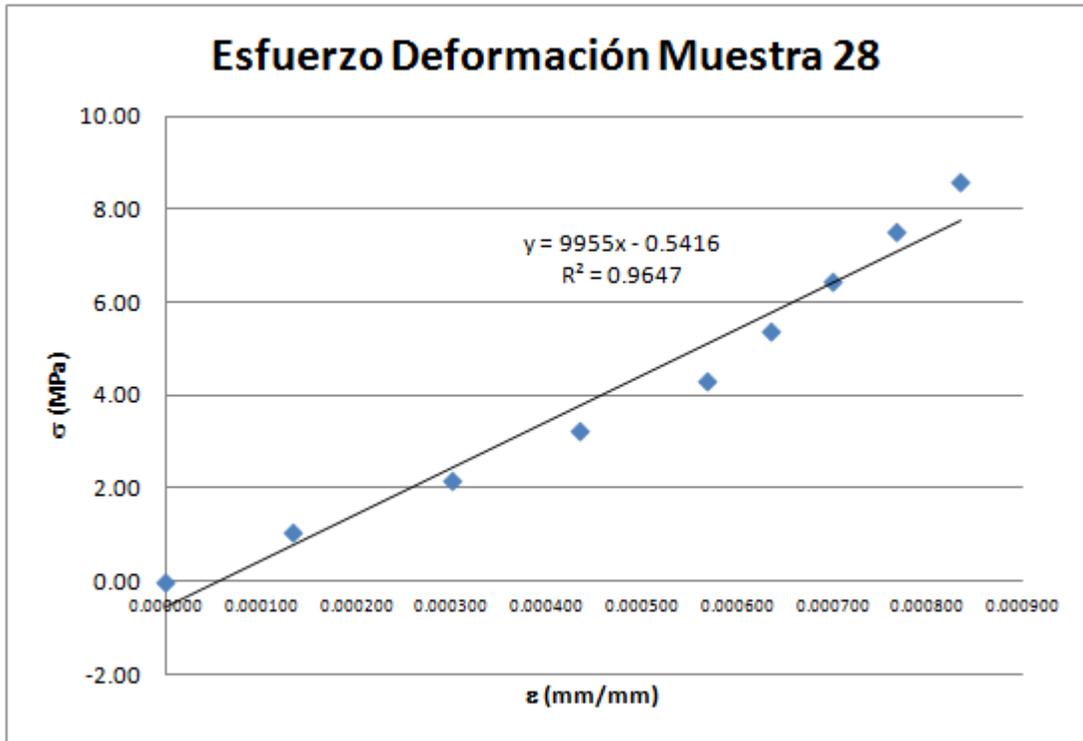
**0.004373      38.65**

	n =	9.000		
	$\varepsilon$ prom =	4.858E-04	$\sigma$ prom =	4.294955
1	0	0.000E+00		
2	0.000143341	1.782E-08		
3	0.000645034	9.022E-08		
4	0.001397574	1.882E-07		
5	0.002436796	3.219E-07		
6	0.003404348	4.021E-07		
7	0.00451524	4.912E-07		
8	0.005769473	5.892E-07		
9	0.007171555	6.970E-07		
	<b>0.025483361</b>	<b>2.79773E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	9955.01	* Deformación	-5.416E-01
--------------------------------	-------------------	---------	------------------	------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	-4.383E-02	0.00005
2	8.59	8.35E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	11000.06
--	-------------------	----------



<b>MUESTRA N°=</b>	<b>29</b>				
<b>er=</b>	5.10 cm	<b>Diámetro=</b>	15.10 cm		
<b>eg=</b>	5.70 cm	<b>Altura=</b>	30.40 cm	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	17907.86
				=	
<b>% Excentricidad Longitudinal =</b>	0.47	<b>Carga Máxima=</b>	346.6 KN		

CARGA (KN)	ε <sub>L1</sub> (0,01mm)	ε <sub>L2</sub> (0,01mm)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			ε <sub>L1</sub>	ε <sub>L2</sub>	ε <sub>Lprom</sub>	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00
20	0.025	0.038	0.000120	0.000180	0.000150	1.12
40	0.051	0.064	0.000240	0.000300	0.000270	2.23
60	0.076	0.089	0.000360	0.000420	0.000390	3.35
80	0.114	0.114	0.000541	0.000541	0.000541	4.47
100	0.140	0.140	0.000661	0.000661	0.000661	5.58
120	0.165	0.165	0.000781	0.000781	0.000781	6.70
					<b>0.002793</b>	<b>23.45</b>

	n =	7.000		
	$\varepsilon$ prom =	3.990E-04	$\sigma$ prom =	3.350483
1	0	0.000E+00		
2	0.00016771	2.255E-08		
3	0.000603757	7.306E-08		
4	0.00130814	1.524E-07		
5	0.002415028	2.922E-07		
6	0.003689627	4.366E-07		
7	0.005232562	6.098E-07		
	<b>0.013416825</b>	<b>1.587E-06</b>		

<b>Ecuación de la Gráfica:</b>	<b>Esfuerzo =</b>	8596.28	<b>*</b>	Deforcación	-0.079556
--------------------------------	-------------------	---------	----------	-------------	-----------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deforcación
1	0.350258382	0.00005
2	6.70	7.81E-04

**MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:  $E_c$  (MPa) = 8689.28**



MUESTRA N°=	30				
er=	5.60 cm	Diámetro=	15.30 cm		
eg=	5.30 cm	Altura=	30.00 cm	Área (mm <sup>2</sup> ) =	18385.39
% Excentricidad Longitudinal =	0.51	Carga Máxima=	334.2 KN		

CARGA (KN)	$\epsilon_{L1(0,01mm)}$	$\epsilon_{L2(0,01mm)}$	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			ESFUERZO (MPa)
			$\epsilon_{L1}$	$\epsilon_{L2}$	$\epsilon_{Lprom}$	
0	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00
20	0.025	0.038	0.000131	0.000196	0.000163	1.09
40	0.051	0.064	0.000261	0.000327	0.000294	2.18
60	0.076	0.089	0.000392	0.000457	0.000425	3.26
80	0.114	0.114	0.000588	0.000588	0.000588	4.35
100	0.140	0.140	0.000719	0.000719	0.000719	5.44
120	0.153	0.165	0.000784	0.000850	0.000817	6.53

**0.003006      22.84**

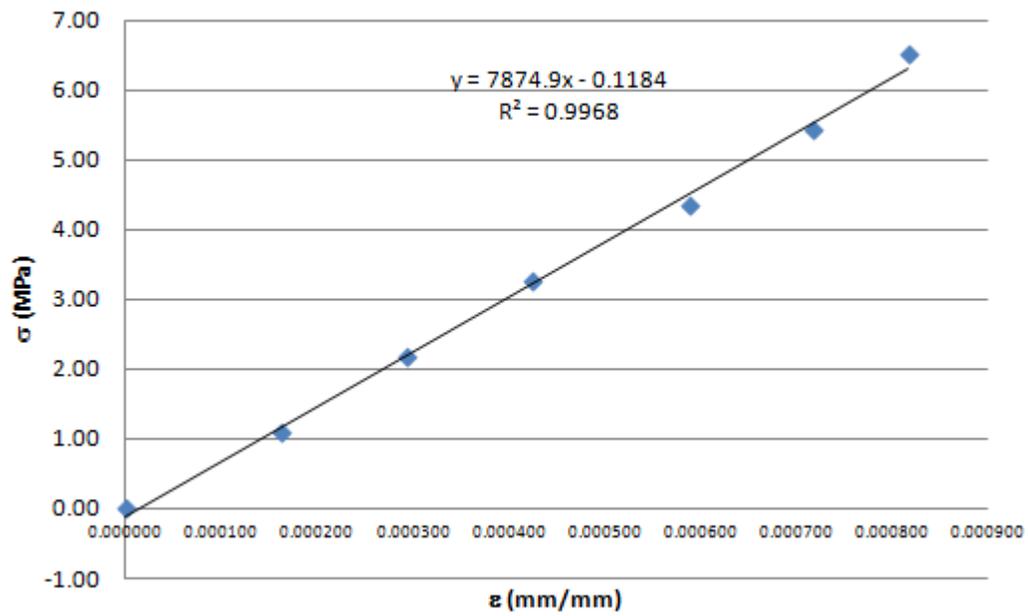
	n =	7.000		
	$\epsilon$ prom =	4.294E-04	$\sigma$ prom =	3.263462
1	0	0.000E+00		
2	0.000177724	2.669E-08		
3	0.000639806	8.648E-08		
4	0.001386247	1.804E-07		
5	0.002559225	3.459E-07		
6	0.003909926	5.168E-07		
7	0.005331718	6.673E-07		
	<b>0.014004645</b>	<b>1.824E-06</b>		

Ecuación de la Gráfica:	Esfuerzo =	7874.89	* Deformación	- 0.11837681
-------------------------	------------	---------	---------------	--------------

No	$\sigma$ (Mpa)	Deformación
1	0.275367626	0.00005
2	6.53	8.17E-04

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO:</b>	<b>Ec (MPa) =</b>	8151.93
--	-------------------	---------

### Esfuerzo Deformación Muestra 30



## ANEXO H. DIMENSIONES DE LAS VIGAS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN

Muestra	B1 (mm)	B2 (mm)	B3 (mm)	Bprom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	Hprom (mm)	I (mm <sup>4</sup> )	C (mm)
1	306	302	301	303.00	292	292	291	291.67	626501013	145.83
2	286	291	288	288.33	302	305	303	303.33	670616168	151.67
3	300	298	302	300.00	302	300	301	301.00	681772525	150.50
4	295	293	292	293.33	302	306	301	303.00	679998660	151.50
5	290	295	296	293.67	302	303	301	302.00	674053296	151.00
6	295	296	298	296.33	302	304	306	304.00	693777180	152.00
7	295	296	292	294.33	304	305	305	304.67	693638237	152.33
8	292	291	293	292.00	305	303	305	304.33	685883213	152.17
9	295	292	290	292.33	305	303	304	304.00	684412359	152.00
10	285	285	280	283.33	300	302	303	301.67	648184137	150.83
11	298	302	302	300.67	290	289	301	293.33	632394798	146.67
12	292	290	290	290.67	305	302	303	303.33	676043119	151.67
13	302	301	300	301.00	295	300	300	298.33	666025092	149.17
14	304	302	304	303.33	301	295	298	298.00	668940798	149.00
15	304	305	305	304.67	294	295	295	294.67	649586104	147.33
16	301	298	302	300.33	298	299	298	298.33	664549954	149.17
17	301	301	302	301.33	302	301	301	301.33	687080237	150.67
18	300	297	299	298.67	295	298	297	296.67	649847967	148.33
19	298	296	300	298.00	300	298	301	299.67	668267482	149.83
20	305	303	302	303.33	295	294	297	295.33	651142875	147.67
21	305	304	302	303.67	301	300	302	301.00	690105300	150.50
22	302	302	304	302.67	297	295	296	296.00	654121586	148.00
23	301	295	302	299.33	300	301	302	301.00	680257475	150.50
24	301	302	302	301.67	301	300	302	301.00	685560150	150.50
25	302	299	301	300.67	295	296	296	295.67	647606400	147.83
26	301	300	298	299.67	301	302	301	301.33	683280015	150.67
27	300	296	302	299.33	297	298	295	296.67	651298521	148.33
28	295	295	297	295.67	301	302	301	301.33	674159481	150.67
29	301	295	298	298.00	295	293	294	294.00	631069236	147.00
30	295	294	292	293.67	302	300	301	301.00	667379549	150.50

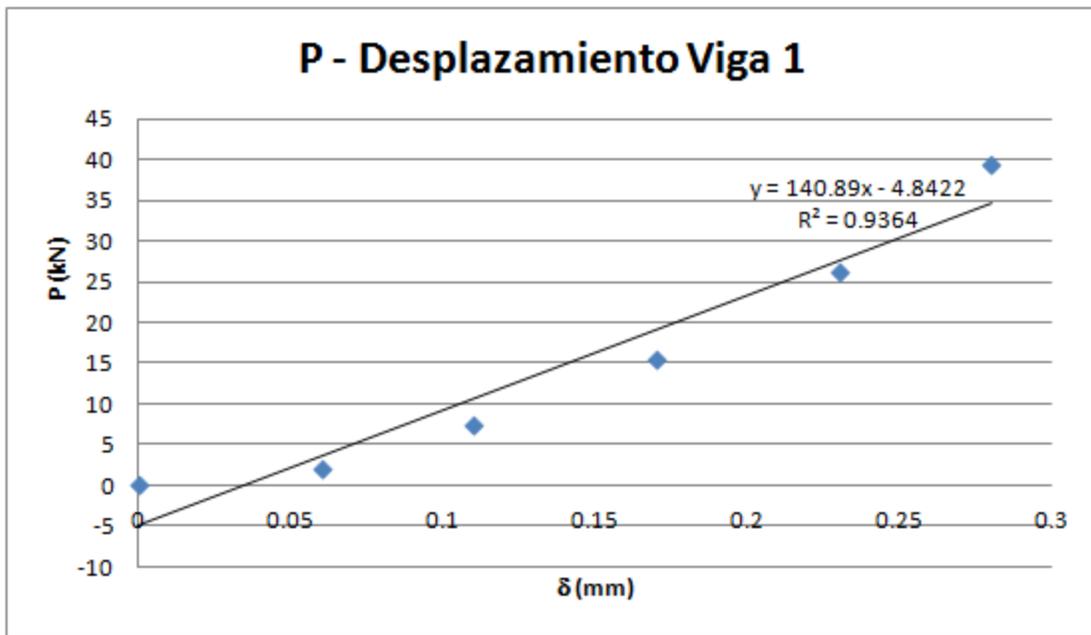


2                    39.5                    0.28

k secante =            160.8619981            kN/m

$$k = \frac{48 EI}{L^3}$$

E viga =            7119.811567            MPa



Viga No 2

L =            1.1            m

B =            288.33            mm            P<sub>elástico</sub> (kN)            31.78

H =            303.33            mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.06	0.5	0.03	0.0036
3	0.11	5.5	0.605	0.0121
4	0.17	13	2.21	0.0289
5	0.22	24	5.28	0.0484
6	0.27	37.5	10.125	0.0729
7	0.31	45	13.95	0.0961

**1.140000      125.500000      32.200000      0.262000**

$\delta$  prom = 0.162857143      n = 7

P prom = 17.92857143

a1 = 154.0606287      a0 = -7.1613024

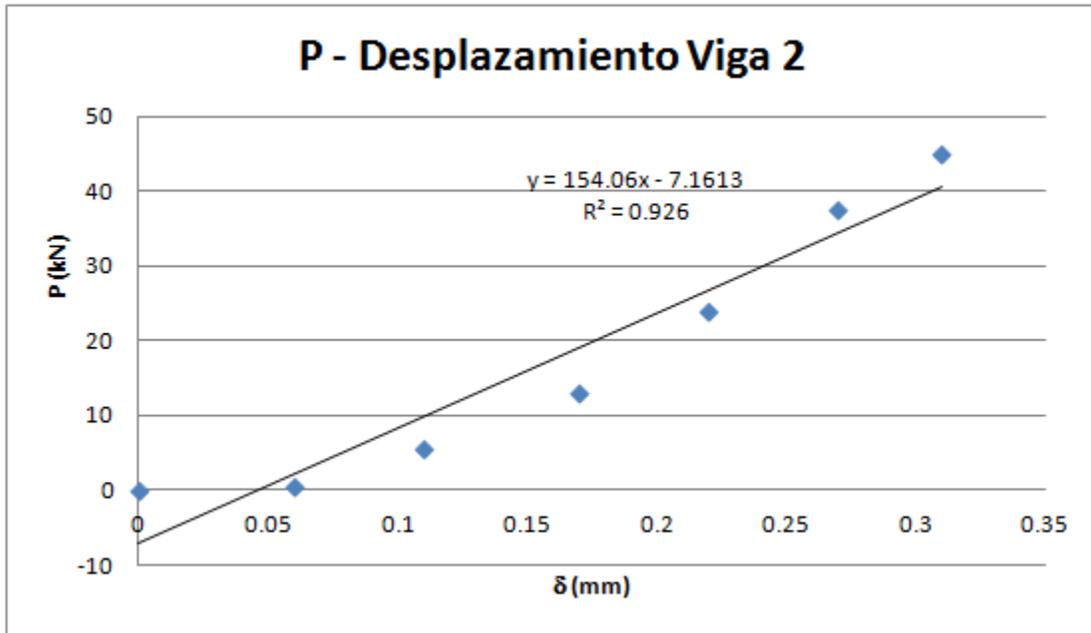
	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	-1.769180389	0.035
2	45	0.31

k secante = 170.0697469      kN/m

k =  $\frac{48 EI}{\quad}$

$$L^3$$

E viga = 7032.178142 MPa



Viga No 3

L = 1.1 m

B = 300.00 mm       $P_{\text{elástico}}$  (kN) = 35.81

H = 301.00 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.04	7.2	0.288	0.0016
3	0.08	18.3	1.464	0.0064
4	0.13	26.1	3.393	0.0169

<b>5</b>	0.15	31.5	4.725	0.0225
<b>6</b>	0.17	40.8	6.936	0.0289
<b>7</b>	0.2	49.1	9.82	0.04

**0.770000      173.000000      26.626000      0.116300**

$\delta$  prom = 0.11      n = 7

P prom = 24.71428571

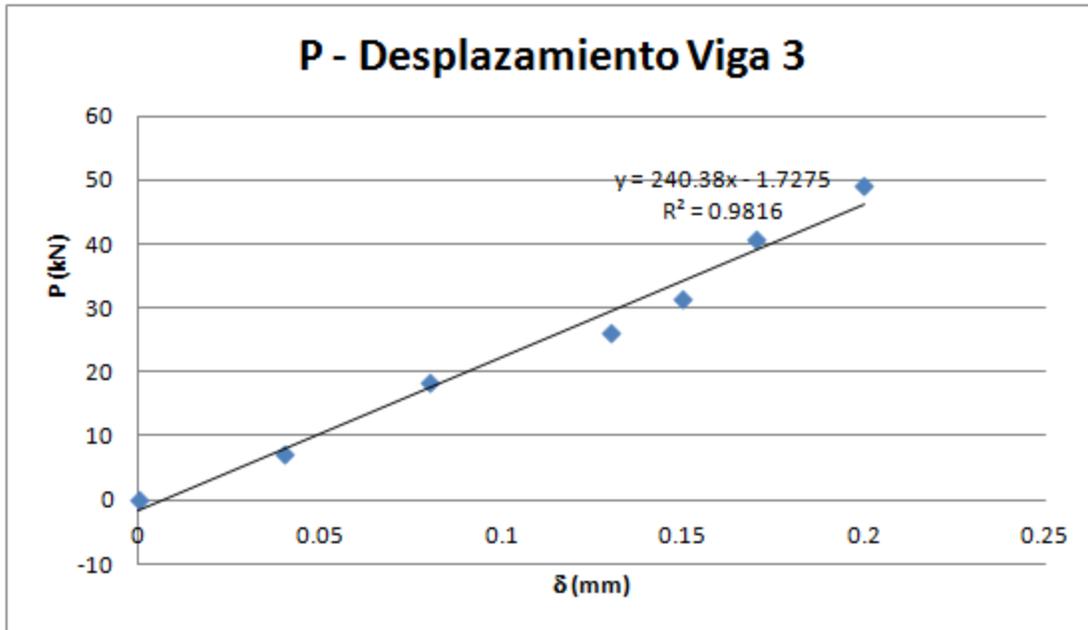
a1 = 240.3797468      a0 = -  
1.72748644

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	6.685804702	0.035
2	49.1	0.2

k secante = 257.0557291      kN/m

$$k = \frac{48 EI}{L^3}$$

E viga = 10455.0138      MPa



Viga No 4

$L = 1.1$  m

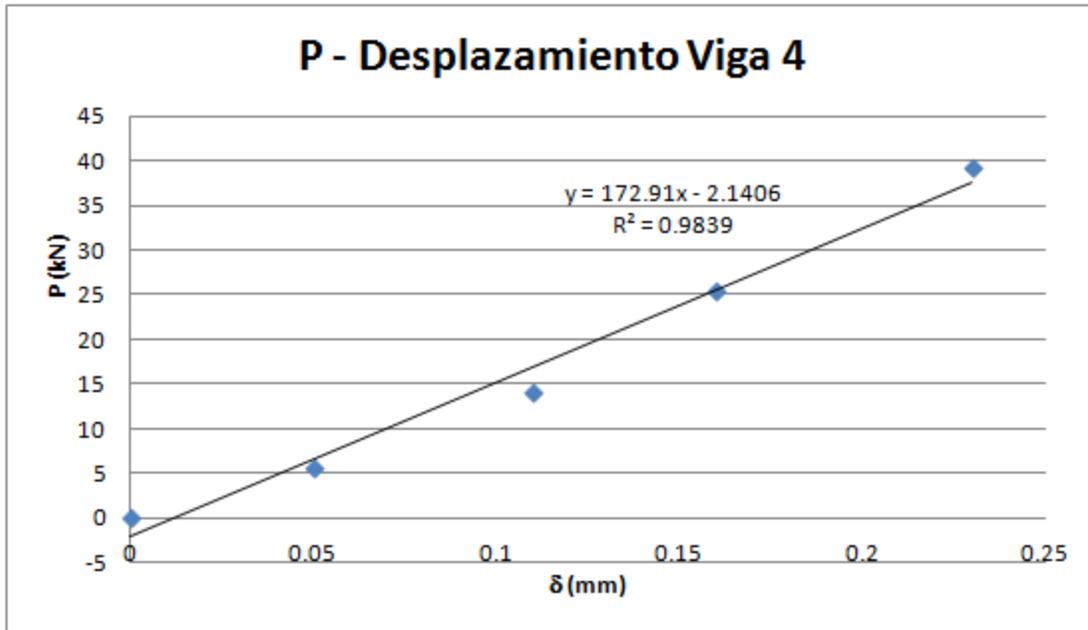
$B = 293.33$  mm       $P_{\text{elástico}} \text{ (kN)} = 29.79$

$H = 303.00$  mm

Lectura	$\delta$ (mm)	$P$ (kN)	$\delta * P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.05	5.7	0.285	0.0025
3	0.11	14	1.54	0.0121
4	0.16	25.5	4.08	0.0256
5	0.23	39.2	9.016	0.0529

**0.550000      84.400000      14.921000      0.093100**





Viga No 5

L = 1.1 m

B = 293.67 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 30.40

H = 302.00 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.07	5.2	0.364	0.0049
3	0.14	19.7	2.758	0.0196
4	0.23	39.6	9.108	0.0529
5	0.26	41.6	10.816	0.0676

0.700000      106.100000      23.046000      0.145000

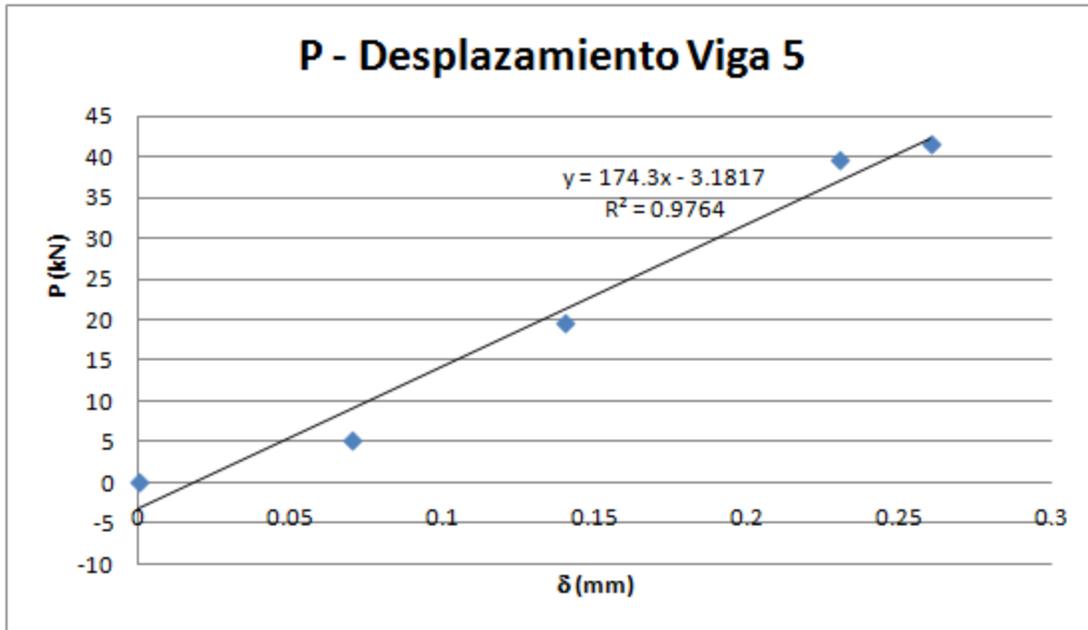
$\delta \text{ prom} = 0.14$        $n = 5$   
 $P \text{ prom} = 21.22$   
 $a1 = 174.2978723$        $a0 = -3.18170213$

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	2.918723404	0.035
2	41.6	0.26

$k \text{ secante} = 171.9167849 \text{ kN/m}$

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

$E \text{ viga} = 7072.303051 \text{ MPa}$



Viga No 6

L = 1.1 m

B = 296.33 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 44.05

H = 304.00 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.02	2.6	0.052	0.0004
3	0.03	5.2	0.156	0.0009
4	0.06	7.2	0.432	0.0036
5	0.09	9.1	0.819	0.0081
6	0.1	10.9	1.09	0.01

<b>7</b>	0.11	13.5	1.485	0.0121
<b>8</b>	0.12	16	1.92	0.0144
<b>9</b>	0.13	21.2	2.756	0.0169
<b>10</b>	0.15	28.7	4.305	0.0225
<b>11</b>	0.17	37.9	6.443	0.0289
<b>12</b>	0.18	45.2	8.136	0.0324
<b>13</b>	0.19	52.9	10.051	0.0361
<b>14</b>	0.21	59.1	12.411	0.0441

**1.56**

**309.5**

**50.056**

**0.2304**

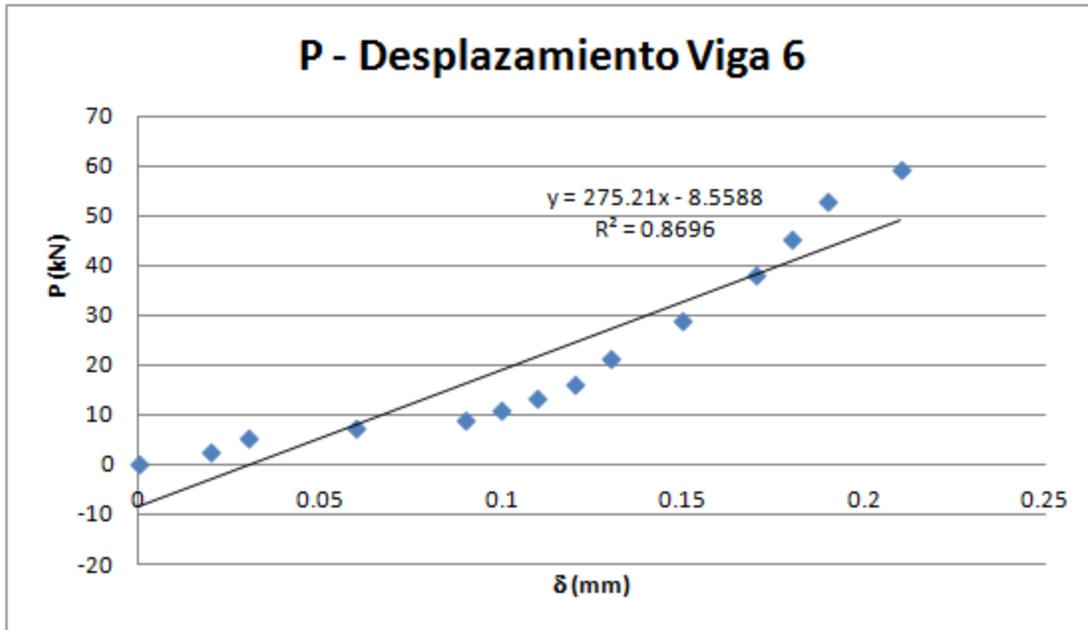
$\delta$  prom = 0.111428571      n = 14  
P prom = 22.10714286  
a1 = 275.2070707      a0 = -  
8.55878788

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	1.073459596	0.035
2	59.1	0.21

k secante = 331.5802309      kN/m

$$k = \frac{48 EI}{L^3}$$

E viga = 13252.73264      MPa



Viga No 7

L = 1.1 m

B = 294.33 mm       $P_{\text{elástico}}$  (kN) = 35.79

H = 304.67 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.07	8	0.56	0.0049
3	0.09	15.3	1.377	0.0081
4	0.15	25.1	3.765	0.0225
5	0.23	37.5	8.625	0.0529
6	0.25	48.7	12.175	0.0625

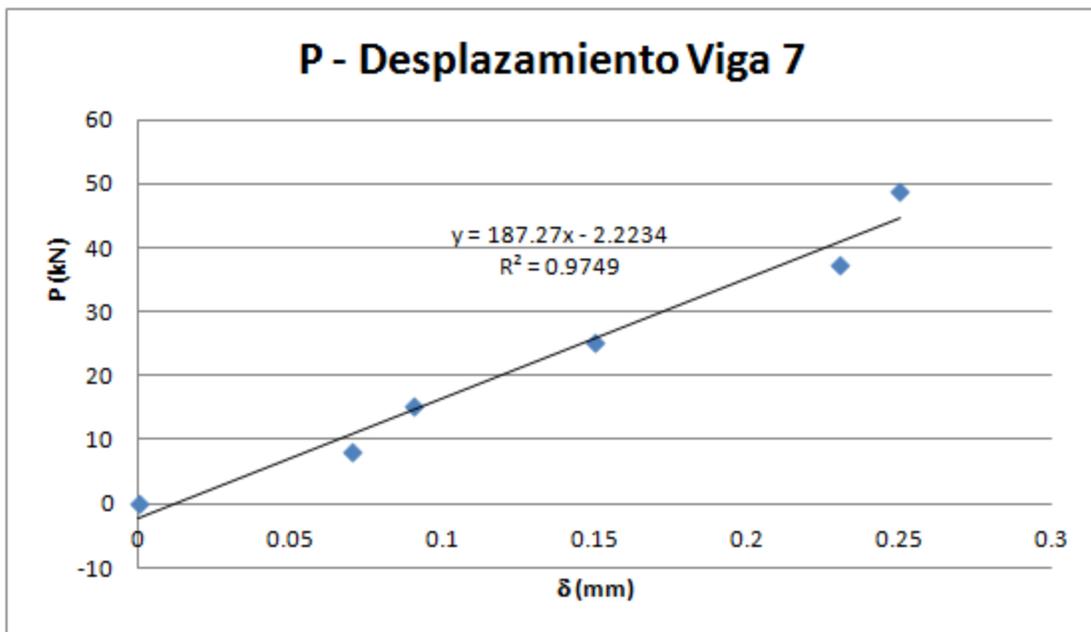
**0.790000**      **134.600000**      **26.502000**      **0.150900**  
 $\delta$  prom = 0.131666667      n = 6  
P prom = 22.43333333  
a1 = 187.2662638      a0 = -2.2233914

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	4.330927835	0.035
2	48.7	0.25

k secante = 206.3677775      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 8249.842916      MPa



Viga No 8

L = 1.1 m

B = 292.00 mm      P<sub>elástico</sub> (kN) 33.12  
H = 304.33 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.03	0.8	0.024	0.0009
3	0.09	1.5	0.135	0.0081
4	0.15	5.5	0.825	0.0225
5	0.2	13.7	2.74	0.04
6	0.24	25	6	0.0576
7	0.28	39.7	11.116	0.0784
8	0.33	55.2	18.216	0.1089

**1.320000      141.400000      39.056000      0.316400**

$\delta$  prom = 0.165      n = 8

P prom = 17.675

a1 = 159.4827586      a0 = - 8.63965517

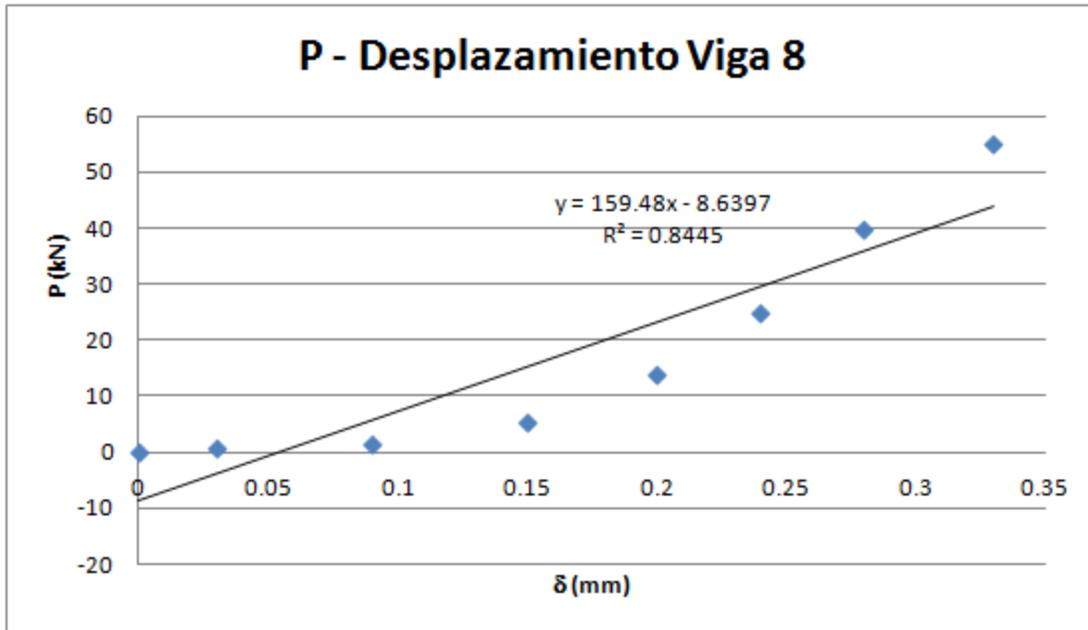
P (kN)       $\delta$  (mm)

1	-3.057758621	0.035
2	55.2	0.33

k secante = 197.4839275 kN/m

$$k = \frac{48 EI}{L^3}$$

E viga = 7983.960875 MPa



Viga No 9

L = 1.1 m

B = 292.33 mm      P<sub>elástico</sub> (kN) = 33.06

H = 304.00 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.05	0.7	0.035	0.0025
3	0.13	5.7	0.741	0.0169
4	0.22	18	3.96	0.0484
5	0.29	39	11.31	0.0841
6	0.31	45.6	14.136	0.0961

**1.000000      109.000000      30.182000      0.248000**

$\delta$  prom = 0.166666667      n = 6

P prom = 18.16666667

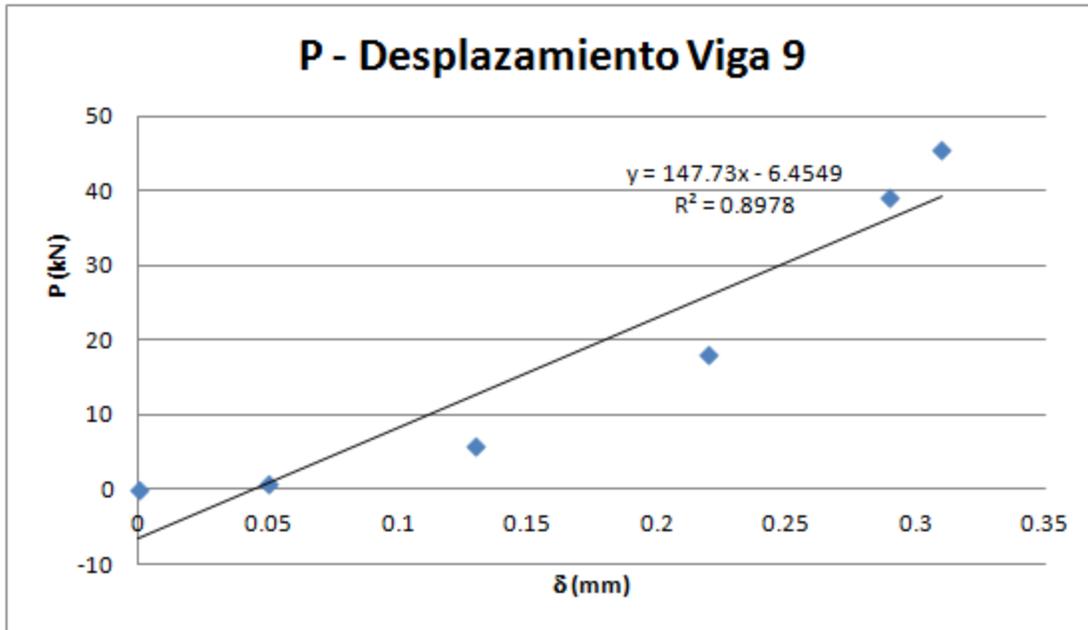
a1 = 147.7295082      a0 = -6.45491803

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	-1.284385246	0.035
2	45.6	0.31

k secante = 170.4886736      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 6907.398417      MPa



Viga No 10

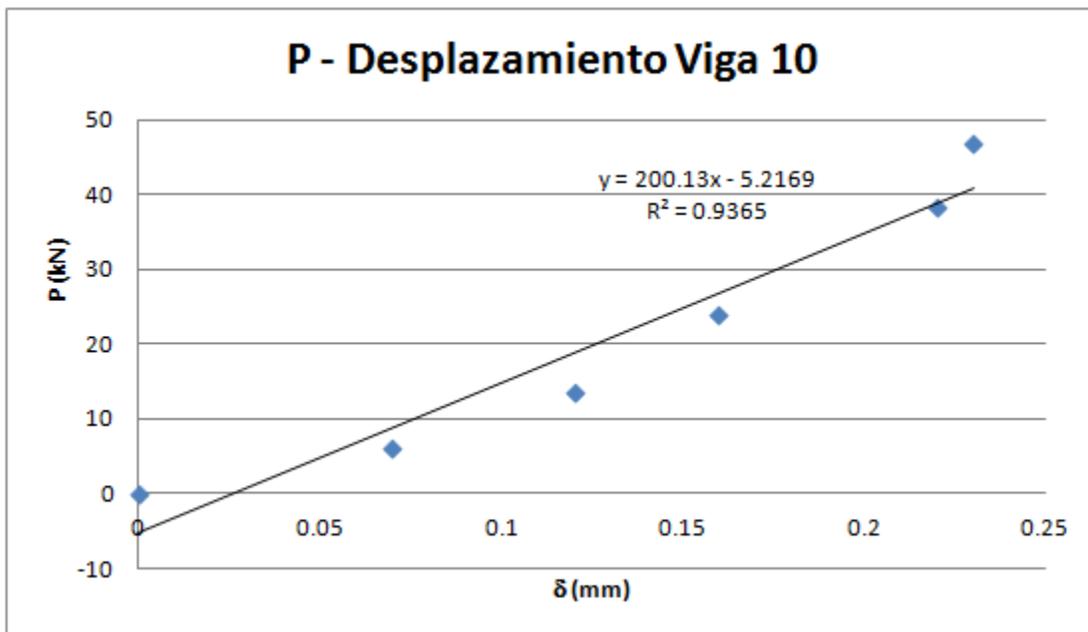
L = 1.1 m

B = 283.33 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 34.61

H = 301.67 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.07	6.2	0.434	0.0049
3	0.12	13.5	1.62	0.0144
4	0.16	24	3.84	0.0256
5	0.22	38.2	8.404	0.0484
6	0.23	46.9	10.787	0.0529

	<b>0.800000</b>	<b>128.800000</b>	<b>25.085000</b>	<b>0.146200</b>
$\delta$ prom =	0.133333333	n =	6	
P prom =	21.46666667			
a1 =	200.1264755	a0 =	-	
			5.21686341	
	P (kN)	$\delta$ (mm)		
1	1.787563238	0.035		
2	46.9	0.23		
k secante =	231.3458295	kN/m		
k =	$\frac{48 E I}{L^3}$			
E viga =	9896.920795	MPa		



Viga No 11

L = 1.1 m

B = 300.67 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 34.43

H = 293.33 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.06	2.5	0.15	0.0036
3	0.13	12.1	1.573	0.0169
4	0.17	23.7	4.029	0.0289
5	0.2	39	7.8	0.04
6	0.25	46.9	11.725	0.0625

**0.810000      124.200000      25.277000      0.151900**

$\delta$  prom = 0.135      n = 6

P prom = 20.7

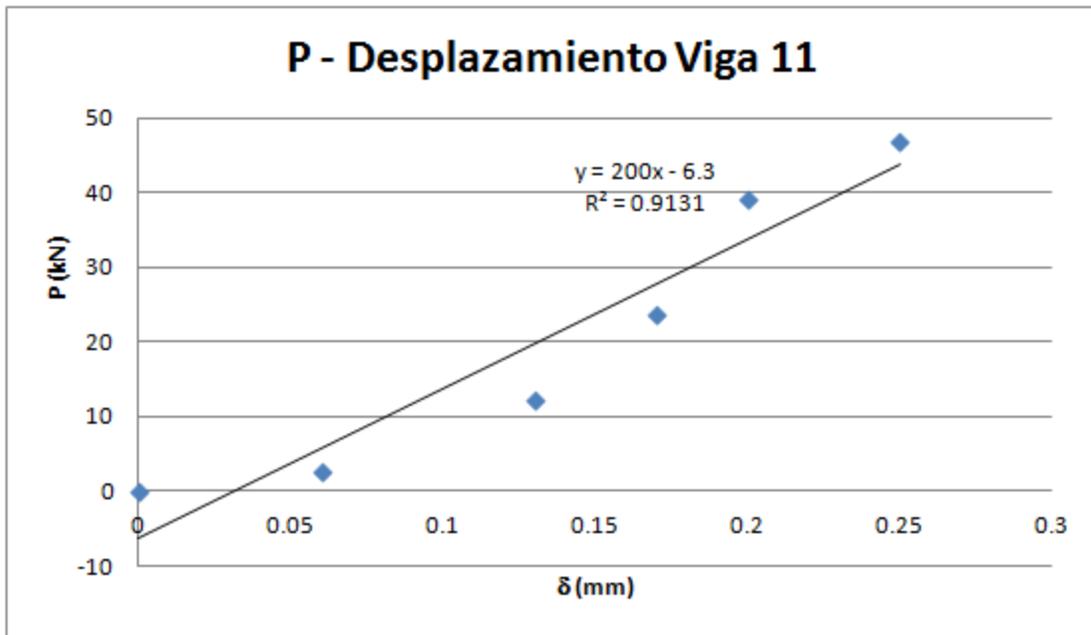
a1 = 200      a0 = -6.3

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	0.7	0.035
2	46.9	0.25

k secante = 214.8837209 kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 9422.194058 MPa



Viga No 12

L = 1.1 m

B = 290.67 mm      P<sub>elástico</sub> (kN) = 33.71

H = 303.33 mm

Lectura	δ (mm)	P (kN)	δ*P	δ <sup>2</sup>
1	0	0	0	0
2	0.06	1.2	0.072	0.0036
3	0.1	5.7	0.57	0.01

<b>4</b>	0.12	13.2	1.584	0.0144
<b>5</b>	0.17	23.7	4.029	0.0289
<b>6</b>	0.22	39.2	8.624	0.0484
<b>7</b>	0.23	45.8	10.534	0.0529

**0.900000      128.800000      25.413000      0.158200**

$\delta$  prom = 0.128571429      n = 7

P prom = 18.4

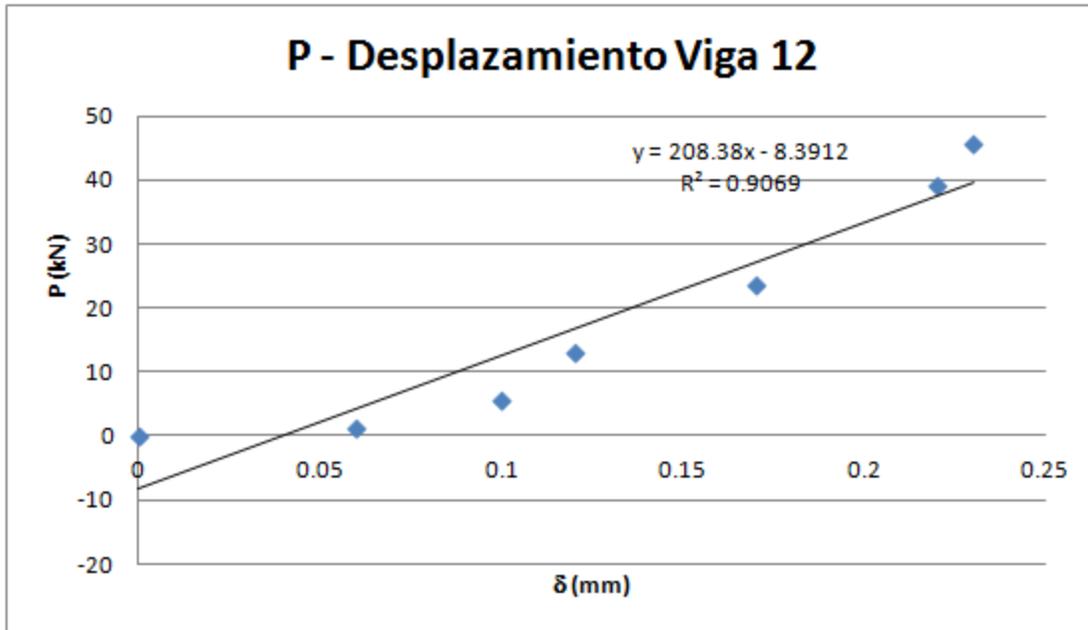
a1 = 208.3759247      a0 = -8.39119032

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	-1.098032952	0.035
2	45.8	0.23

k secante = 240.5027331      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 9864.667177      MPa



Viga No 13

L = 1.1 m

B = 301.00 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 31.04

H = 298.33 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.07	4	0.28	0.0049
3	0.13	15	1.95	0.0169
4	0.18	30	5.4	0.0324
5	0.24	44.5	10.68	0.0576

0.620000      93.500000      18.310000      0.111800

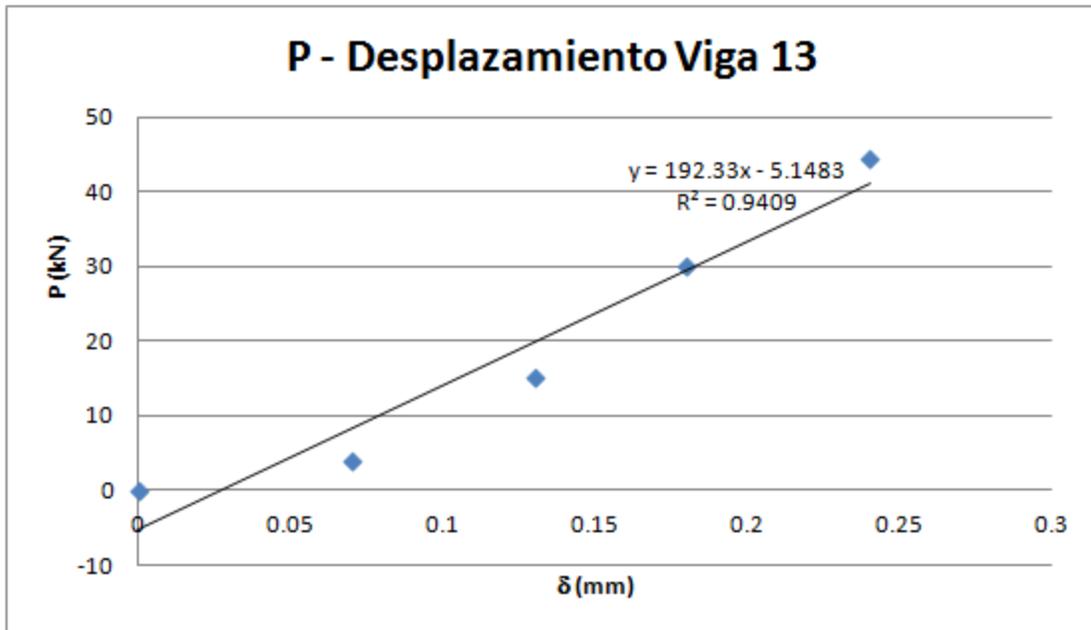
$\delta$  prom = 0.124      n = 5  
 P prom = 18.7  
 $a_1 = 192.325315$        $a_0 = -5.14833906$

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	1.583046964	0.035
2	44.5	0.24

k secante = 209.3509904      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 8716.08078      MPa



Viga No 14

L =

1.1

m

B = 303.33

mm

P<sub>elástico</sub> (kN)

31.09

H = 298.00

mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.06	0.8	0.048	0.0036
3	0.12	2.5	0.3	0.0144
4	0.18	10.5	1.89	0.0324
5	0.24	20.7	4.968	0.0576
6	0.29	36.5	10.585	0.0841
7	0.37	54	19.98	0.1369

1.260000

125.000000

37.771000

0.329000

$\delta$  prom = 0.18

n = 7

P prom = 17.85714286

a1 = 149.4227006

a0 = -  
9.03894325

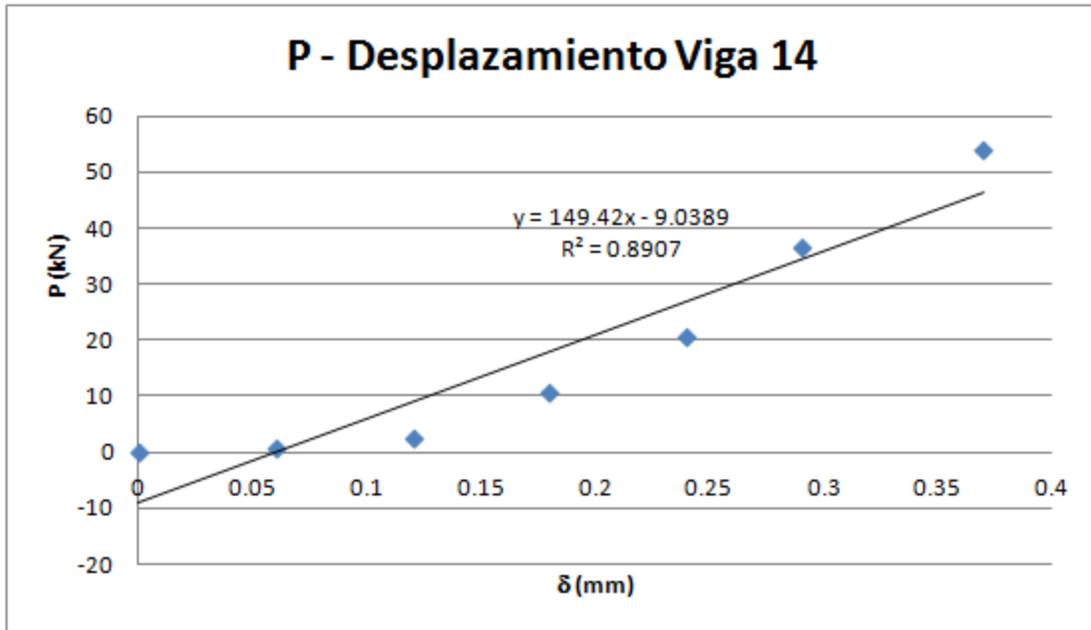
	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	-3.809148728	0.035

2                      54                      0.37

k secante =        172.5646231        kN/m

$$k = \frac{48 EI}{L^3}$$

E viga =            7153.208789        MPa



**Viga No 15**

**L =            1.1            m**

B =            304.67            mm             $P_{\text{elástico}}$  (kN)        29.40

H =            294.67            mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.06	0.5	0.03	0.0036
3	0.12	5.2	0.624	0.0144
4	0.18	14	2.52	0.0324
5	0.23	26.5	6.095	0.0529
6	0.29	42.5	12.325	0.0841
7	0.34	54.7	18.598	0.1156
	<b>1.220000</b>	<b>143.400000</b>	<b>40.192000</b>	<b>0.303000</b>

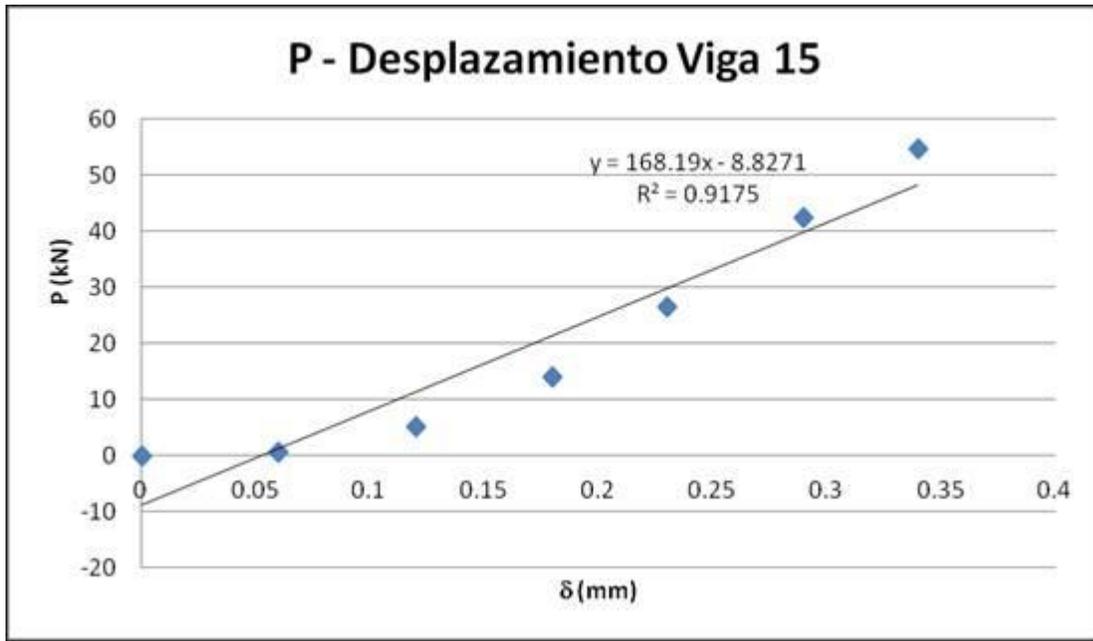
$\delta$  prom = 0.174285714      n = 7  
P prom = 20.48571429  
a1 = 168.1884287      a0 = -8.82712615

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	-2.940531141	0.035
2	54.7	0.34

k secante = 188.985348      kN/m

$$k = \frac{48 EI}{L^3}$$

E viga = 8067.300363 MPa



Viga No 16

L = 1.1 m

B = 300.33 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 26.76

H = 298.33 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.08	7.2	0.576	0.0064
3	0.15	19.5	2.925	0.0225
4	0.2	39.7	7.94	0.04

<b>5</b>	<b>0.28</b>	<b>43.5</b>	<b>12.18</b>	<b>0.0784</b>
----------	-------------	-------------	--------------	---------------

**0.710000      109.900000      23.621000      0.147300**

$\delta$  prom = 0.142      n = 5

P prom = 21.98

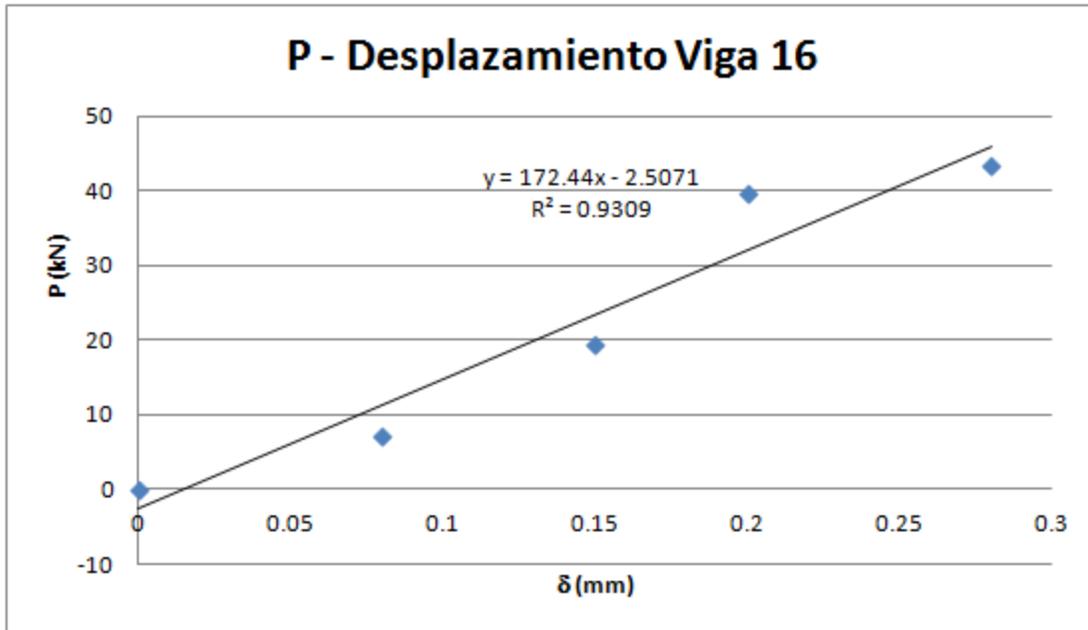
a1 = 172.444062      a0 = -2.5070568

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	3.52848537	0.035
2	43.5	0.28

k secante = 163.1490393      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 6807.594942      MPa



Viga No 17

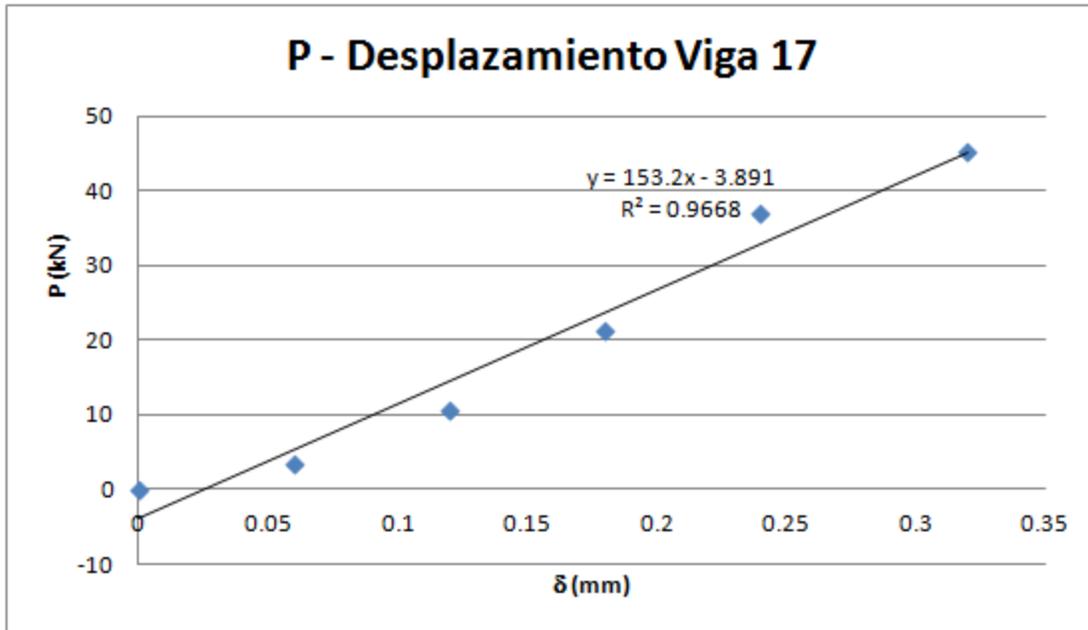
L = 1.1 m

B = 301.33 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 27.28

H = 301.33 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.06	3.5	0.21	0.0036
3	0.12	10.7	1.284	0.0144
4	0.18	21.2	3.816	0.0324
5	0.24	37	8.88	0.0576
6	0.32	45.2	14.464	0.1024





Viga No 18

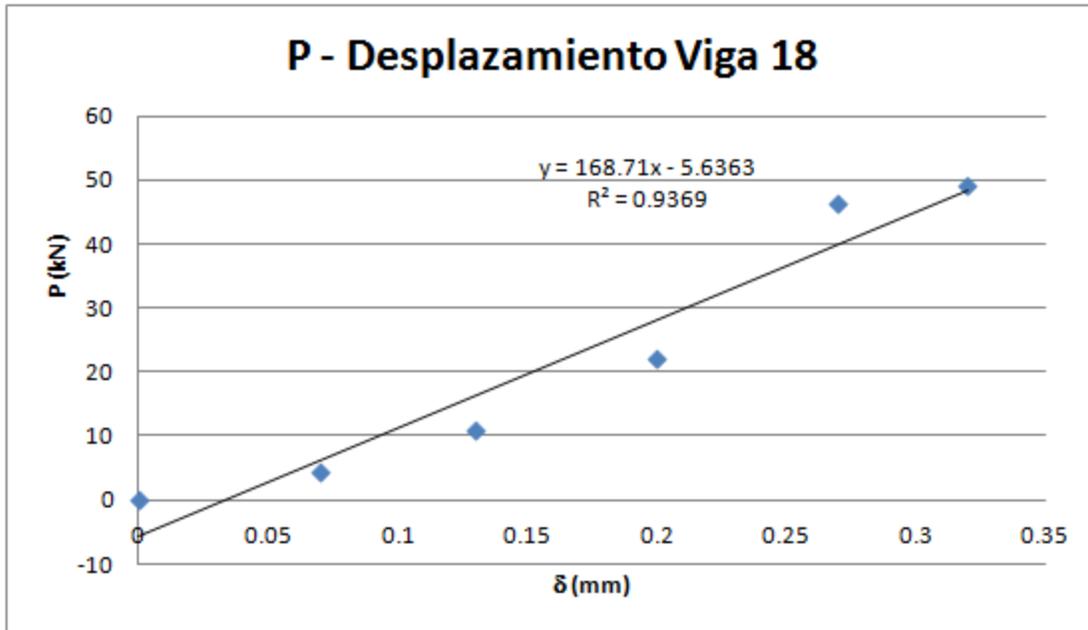
L = 1.1 m

B = 298.67 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 26.23

H = 296.67 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.07	4.5	0.315	0.0049
3	0.13	11	1.43	0.0169
4	0.2	22.2	4.44	0.04
5	0.27	46.5	12.555	0.0729
6	0.32	49	15.68	0.1024





Viga No 19

L = 1.1 m

B = 298.00 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 34.99

H = 299.67 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.07	4	0.28	0.0049
3	0.13	13.5	1.755	0.0169
4	0.19	29.7	5.643	0.0361
5	0.24	47.9	11.496	0.0576

0.630000      95.100000      19.174000      0.115500

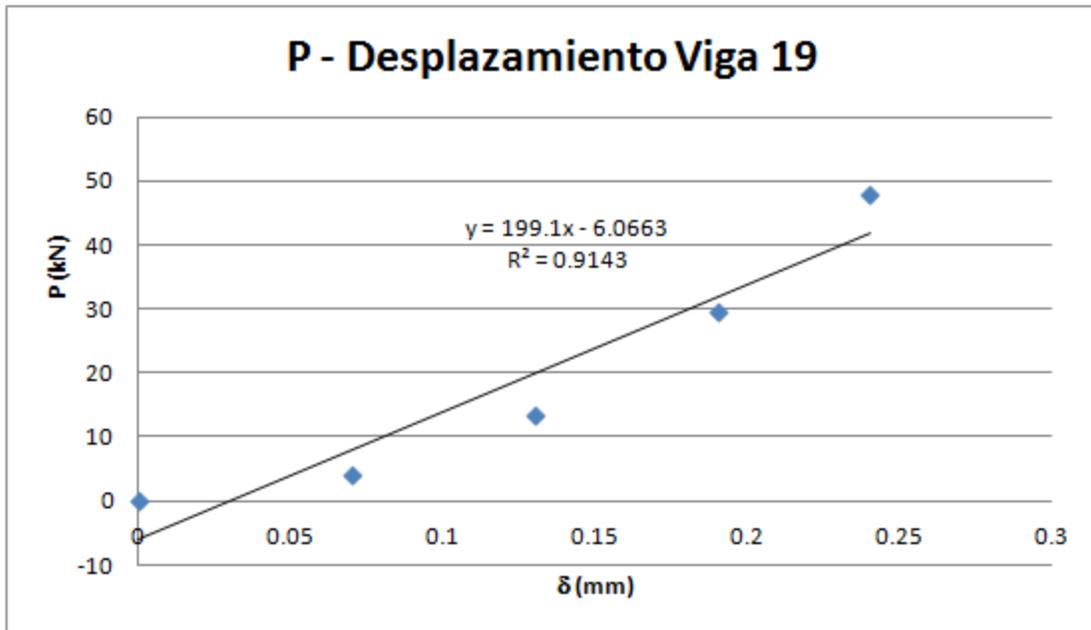
$\delta$  prom = 0.126      n = 5  
 P prom = 19.02  
 $a_1 = 199.0974529$        $a_0 = -6.06627907$

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	0.902131783	0.035
2	47.9	0.24

k secante = 229.2578937      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 9512.85303      MPa



Viga No 20

L = 1.1 m

B = 303.33 mm      P<sub>elástico</sub> (kN) = 29.65  
H = 295.33 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.08	2.5	0.2	0.0064
3	0.14	7.7	1.078	0.0196
4	0.19	17.2	3.268	0.0361
5	0.25	32	8	0.0625
6	0.32	49	15.68	0.1024

**0.980000      108.400000      28.226000      0.227000**

$\delta$  prom = 0.163333333      n = 6

P prom = 18.06666667

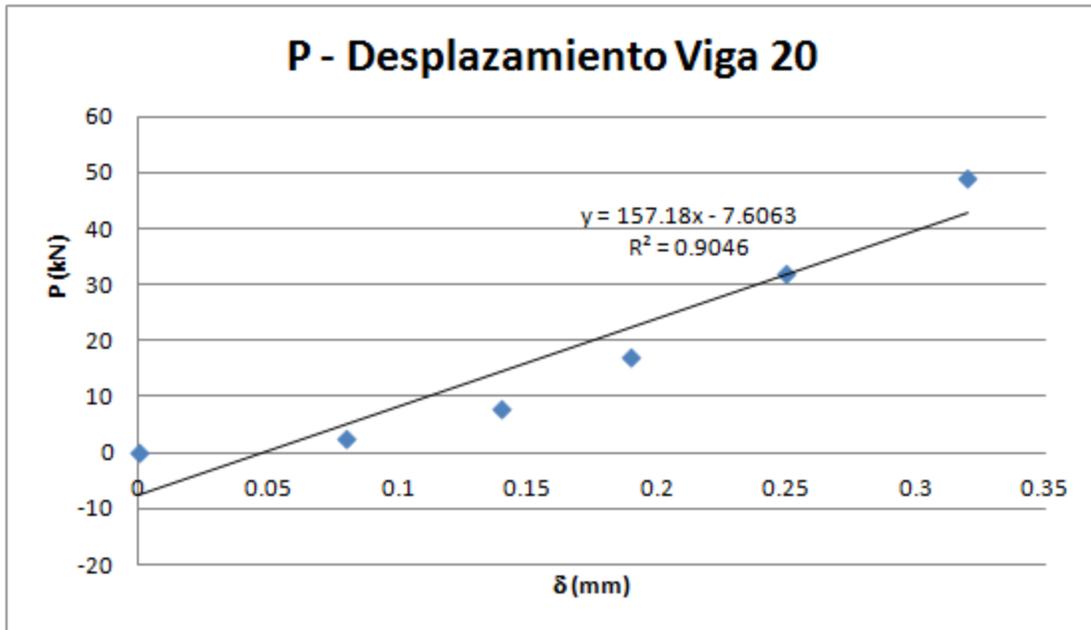
a1 = 157.1812749      a0 = -7.6062749

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	-2.104930279	0.035
2	49	0.32

k secante = 179.3155448 kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 7636.220584 MPa



Viga No 21

L = 1.1 m

B = 303.67 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 28.34

H = 301.00 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
---------	---------------	--------	------------------	------------

<b>1</b>	0	0	0	0
<b>2</b>	0.05	2.5	0.125	0.0025
<b>3</b>	0.13	14	1.82	0.0169
<b>4</b>	0.2	29.7	5.94	0.04
<b>5</b>	0.27	51	13.77	0.0729
<b>6</b>	0.36	52.7	18.972	0.1296

**1.010000      149.900000      40.627000      0.261900**

$\delta$  prom = 0.168333333      n = 6

P prom = 24.98333333

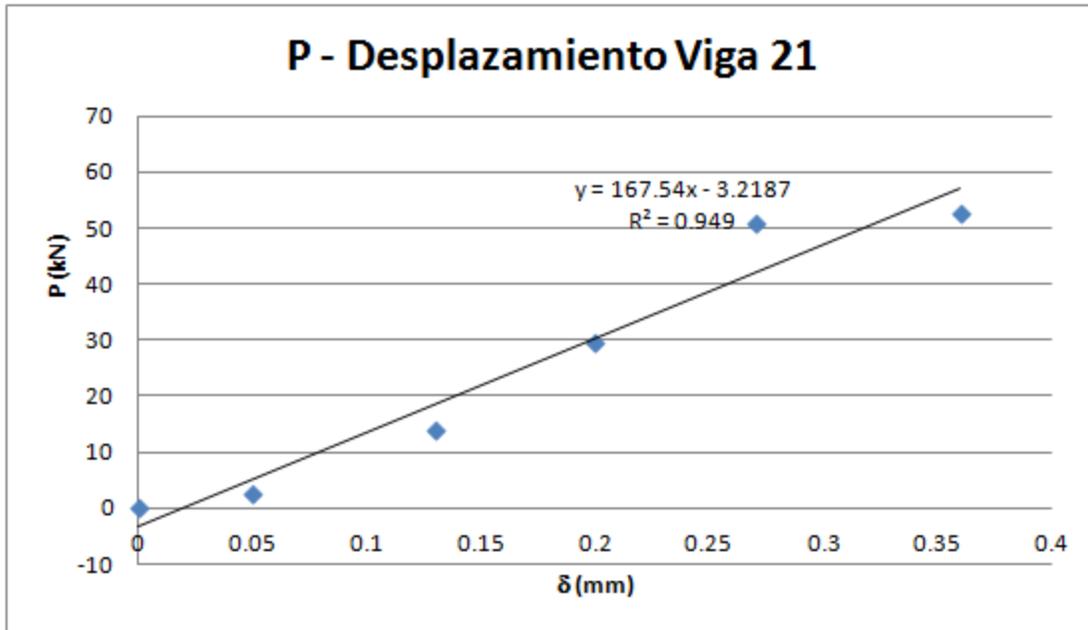
a1 = 167.5367314      a0 = -  
3.21868311

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	2.645102485	0.035
2	52.7	0.36

k secante = 154.0150693      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 6188.489674      MPa



Viga No 22

L = 1.1 m

B = 302.67 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 30.31

H = 296.00 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.07	3.2	0.224	0.0049
3	0.13	12.2	1.586	0.0169
4	0.19	27.7	5.263	0.0361
5	0.24	48.5	11.64	0.0576
6	0.34	50.5	17.17	0.1156

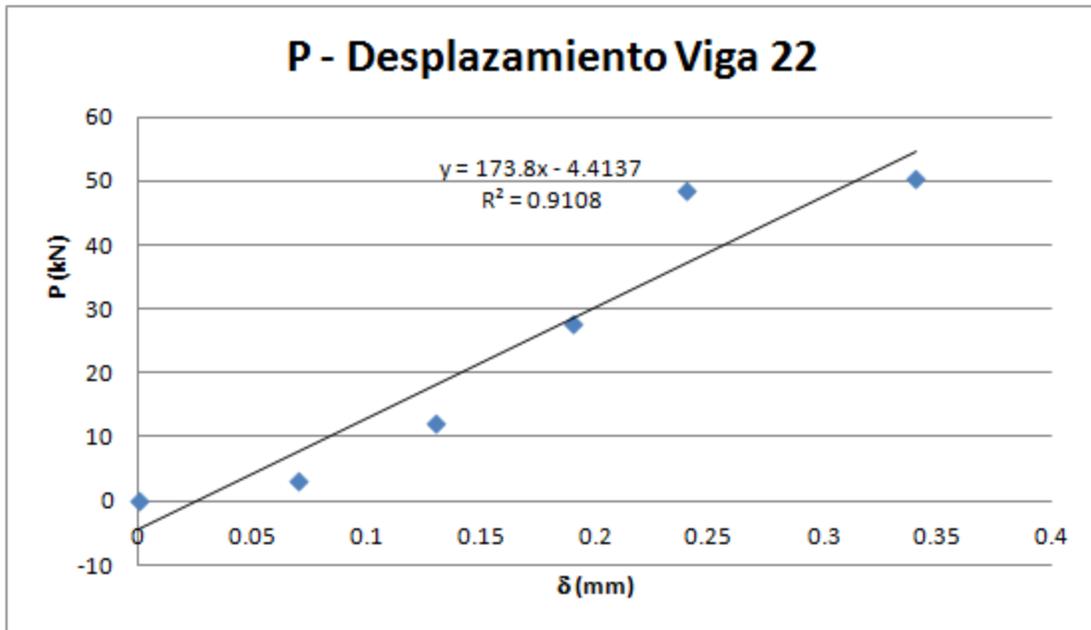
**0.970000**      **142.100000**      **35.883000**      **0.231100**  
 $\delta$  prom = 0.161666667      n = 6  
P prom = 23.68333333  
a1 = 173.7962755      a0 = 4.41373121

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	1.669138434	0.035
2	50.5	0.34

k secante = 160.1011855      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 6786.922419      MPa



Viga No 23

L =

1.1

m

B = 299.33

mm

P<sub>elástico</sub> (kN)

34.03

H = 301.00

mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.06	4.7	0.282	0.0036
3	0.12	14.5	1.74	0.0144
4	0.17	29.5	5.015	0.0289
5	0.2	46.5	9.3	0.04
6	0.21	54.5	11.445	0.0441

**0.760000**

**149.700000**

**27.782000**

**0.131000**

$\delta$  prom = 0.126666667

n = 6

P prom = 24.95

a1 = 253.9347409

a0 = -  
7.21506718

P (kN)

$\delta$  (mm)

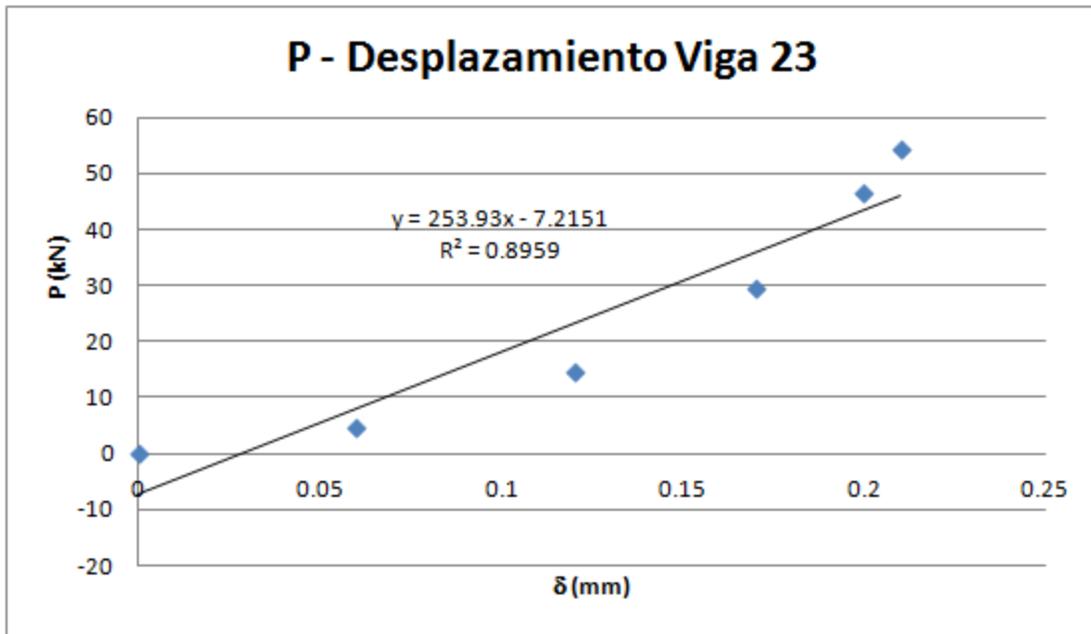
1 1.672648752 0.035

2 54.5 0.21

k secante = 301.8705786 kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 12305.07549 MPa



Viga No 24

L = 1.1 m

B = 301.67 mm      P<sub>elástico</sub> (kN) = 30.94

H = 301.00 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.07	6.5	0.455	0.0049

<b>3</b>	0.13	17.5	2.275	0.0169
<b>4</b>	0.22	32.2	7.084	0.0484
<b>5</b>	0.3	48.5	14.55	0.09

**0.720000      104.700000      24.364000      0.160200**

$\delta$  prom = 0.144      n = 5

P prom = 20.94

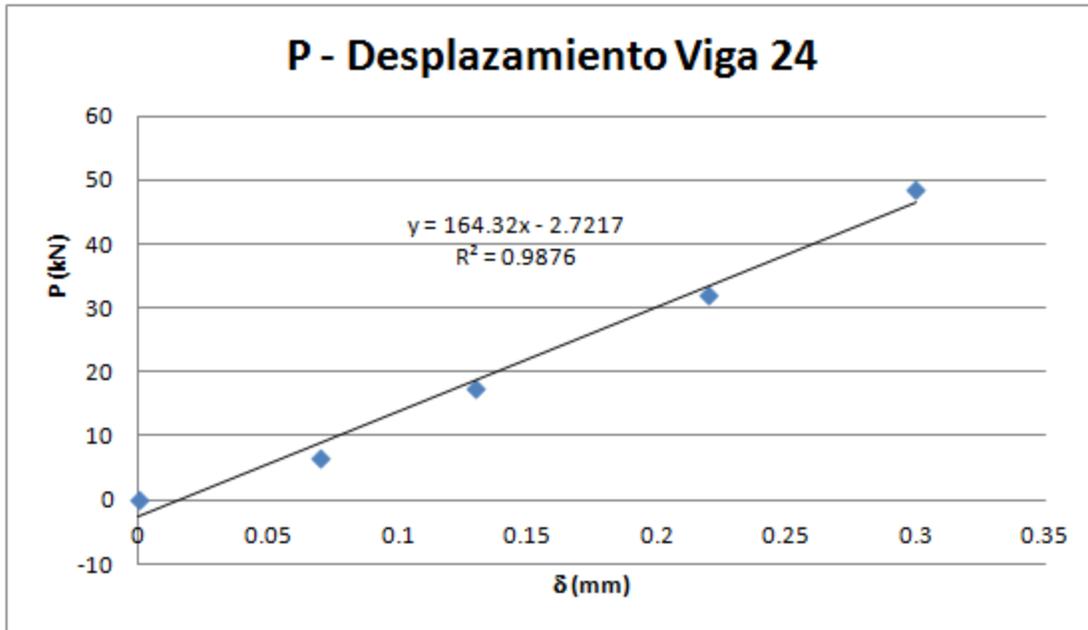
a1 = 164.3170559      a0 =  $\frac{-}{2.72165605}$

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	3.029440906	0.035
2	48.5	0.3

k secante = 171.5870154      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 6940.258923      MPa



Viga No 25

L = 1.1 m

B = 300.67 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 29.18

H = 295.67 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.08	5	0.4	0.0064
3	0.14	15.5	2.17	0.0196
4	0.2	36	7.2	0.04
5	0.3	46	13.8	0.09

0.720000      102.500000      23.570000      0.156000

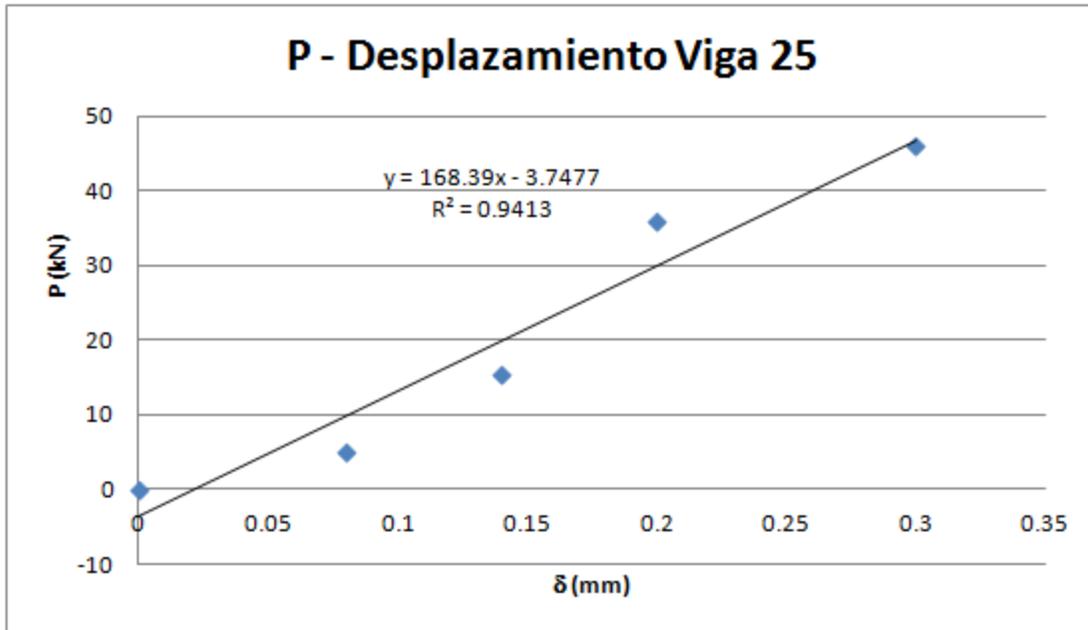
$\delta_{prom} = 0.144$        $n = 5$   
 $P_{prom} = 20.5$   
 $a_1 = 168.3868502$        $a_0 = -3.74770642$

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	2.145833333	0.035
2	46	0.3

$k_{secante} = 165.4874214$       kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

$E_{viga} = 7085.829121$       MPa



Viga No 26

L = 1.1 m

B = 299.67 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 37.74

H = 301.33 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.06	4.2	0.252	0.0036
3	0.11	11.5	1.265	0.0121
4	0.17	23.7	4.029	0.0289
5	0.22	39.7	8.734	0.0484
6	0.25	51.7	12.925	0.0625



Viga No 27

L = 1.1 m

B = 299.33 mm      P<sub>elástico</sub> (kN) = 36.29  
 H = 296.67 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.06	8.9	0.534	0.0036
3	0.13	25.2	3.276	0.0169
4	0.2	42.2	8.44	0.04
5	0.22	49.7	10.934	0.0484

**0.610000      126.000000      23.184000      0.108900**

$\delta$  prom = 0.122      n = 5

P prom = 25.2

a1 = 226.5661253      a0 = -  
2.44106729

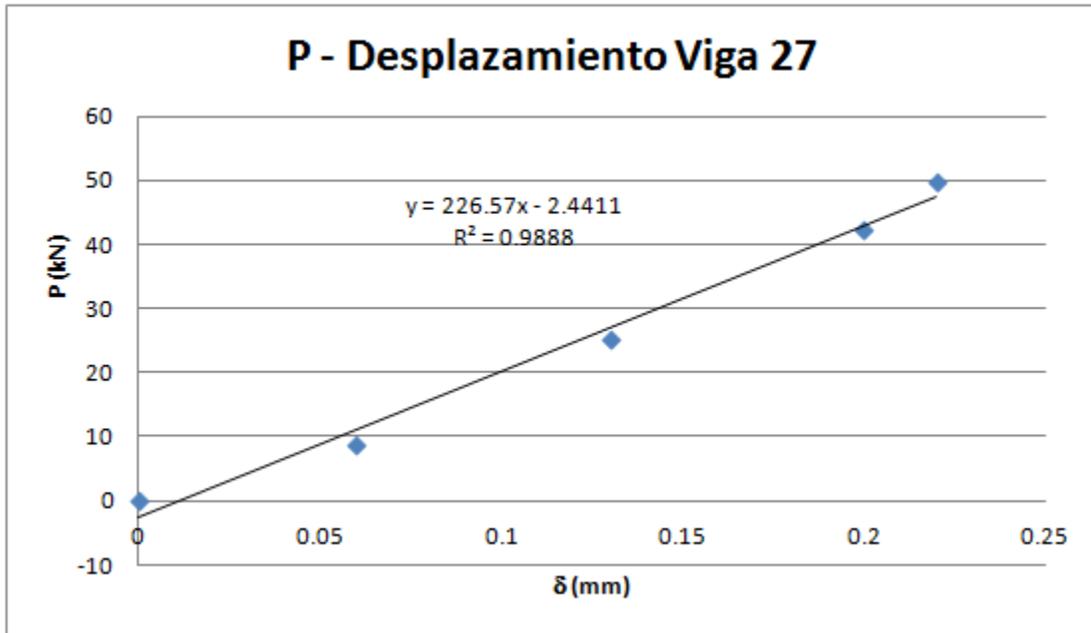
	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	5.4887471	0.035
2	49.7	0.22

k secante = 238.9797454 kN/m

k =  $\frac{48 EI}{L}$

$$L^3$$

E viga = 10174.61115 MPa



Viga No 28

L = 1.1 m

B = 295.67 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 37.02

H = 301.33 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.06	7	0.42	0.0036
3	0.11	16.5	1.815	0.0121
4	0.17	29	4.93	0.0289

<b>5</b>	0.2	33	6.6	0.04
<b>6</b>	0.21	42.9	9.009	0.0441
<b>7</b>	0.22	51.7	11.374	0.0484

**0.970000      180.100000      34.148000      0.177100**

$\delta$  prom = 0.138571429      n = 7

P prom = 25.72857143

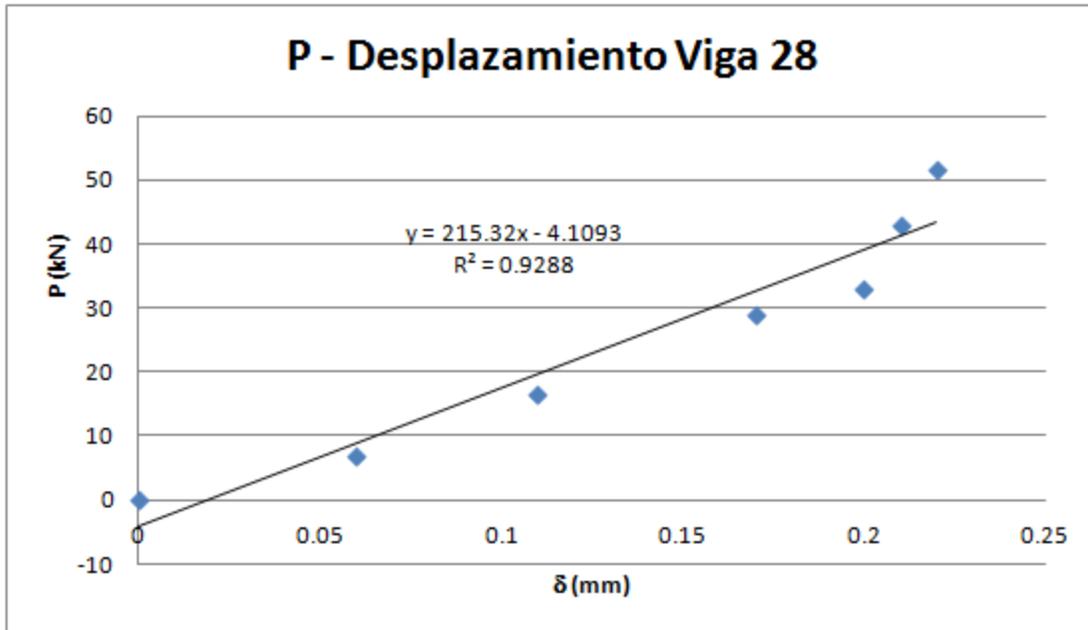
a1 = 215.3246319      a0 = -  
4.10927041

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	3.4270917	0.035
2	51.7	0.22

k secante = 260.9346395      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 10732.62383      MPa



Viga No 29

L = 1.1 m

B = 298.00 mm      P<sub>elástico</sub> (kN) 31.58

H = 294.00 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.06	0.5	0.03	0.0036
3	0.09	1.5	0.135	0.0081
4	0.13	7.2	0.936	0.0169
5	0.19	16.7	3.173	0.0361
6	0.25	31	7.75	0.0625

<b>7</b>	0.3	47	14.1	0.09
----------	-----	----	------	------

**1.020000      103.900000      26.124000      0.217200**

$\delta$  prom = 0.145714286      n = 7

P prom = 14.84285714

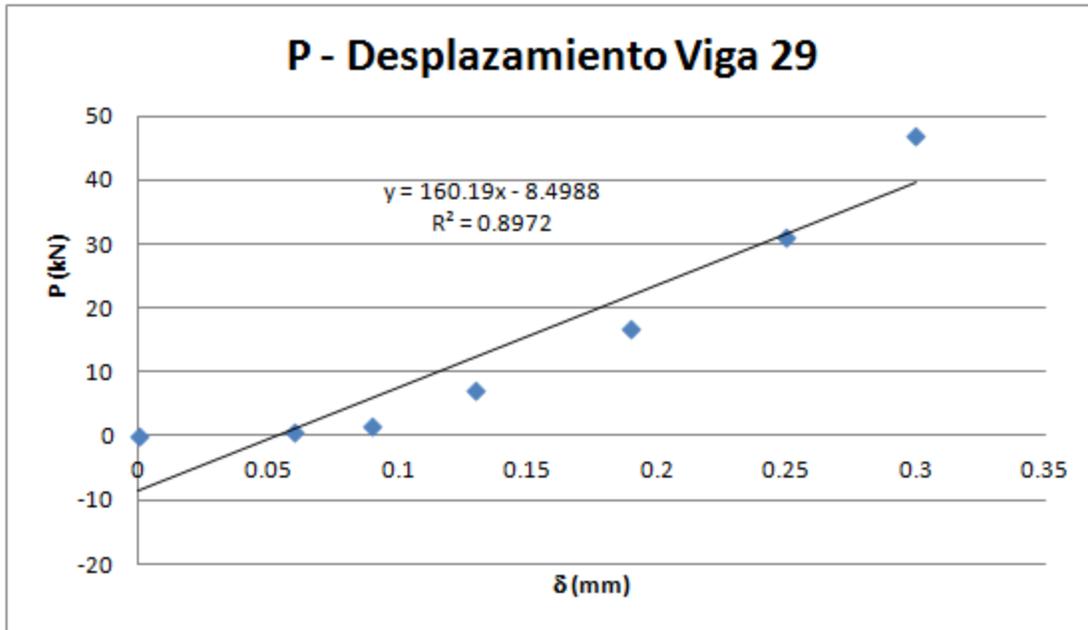
a1 = 160.1875      a0 = -8.49875

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	-2.8921875	0.035
2	47	0.3

k secante = 188.2724057      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 8272.684862      MPa



Viga No 30

L = 1.1 m

B = 293.67 mm  $P_{\text{elástico}}$  (kN) 31.60

H = 301.00 mm

Lectura	$\delta$ (mm)	P (kN)	$\delta \cdot P$	$\delta^2$
1	0	0	0	0
2	0.04	0.2	0.008	0.0016
3	0.11	4	0.44	0.0121
4	0.16	14.7	2.352	0.0256
5	0.23	30.7	7.061	0.0529
6	0.25	39	9.75	0.0625

<b>7</b>	0.27	44.1	11.907	0.0729
----------	------	------	--------	--------

**1.060000      132.700000      31.518000      0.227600**

$\delta$  prom = 0.151428571      n = 7

P prom = 18.95714286

a1 = 170.2810903      a0 = -  
6.82827939

	P (kN)	$\delta$ (mm)
1	-0.868441227	0.035
2	44.1	0.27

k secante = 191.355069      kN/m

$$k = \frac{48 E I}{L^3}$$

E viga = 7950.673056      MPa

