

# MODELACIÓN NUMÉRICA DE TUBOS DE CARTÓN A TRAVÉS DEL PROGRAMA FlexPDE

Dr. IVÁN FERNANDO OTÁLVARO  
JHON EDWARD MONTOYA

Trabajo realizado para CARTONTUBOS S.A.S  
Febrero 2015



# 1. INTRODUCCIÓN

En esta presentación se muestra la segunda etapa de la evaluación del material en estudio, específicamente se analizan las deformaciones producidas cuando se funde una columna y una losa aligerada.

Para lograr lo anterior, se calibro el modelo de acuerdo a los resultados obtenidos por los ensayos de compresión diametral y axial realizados en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, para de esta manera obtener el módulo de elasticidad (E) y el coeficiente de poisson ( $\mu$ ) que generen los resultados que más se asemejen a la realidad.

Una vez calibrados, se procede a modelar la fundición de una columna y una losa aligerada, y de esta forma determinar incrementalmente las deformaciones que se esperan en campo.

## 2. CALIBRACIÓN DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

Primeramente se calibro el ensayo de compresión diametral, para lo cual fue necesario modelar en el programa uno de los ensayos realizados en el laboratorio. La muestra modelada tiene las siguientes dimensiones:

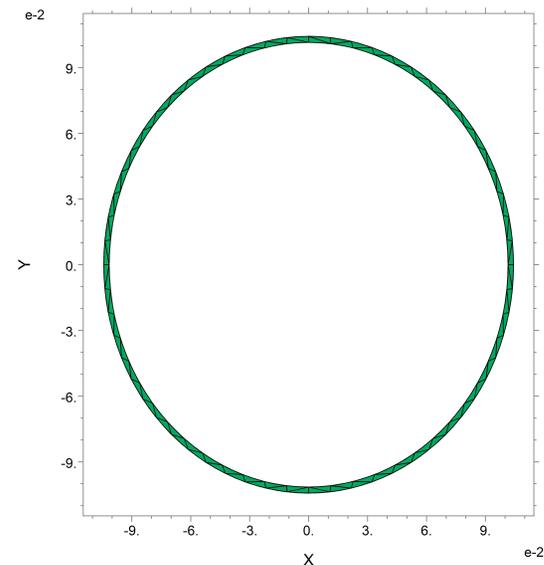
Diámetro externo=209 mm

Diámetro interno= 203 mm

Espesor= 55 mm

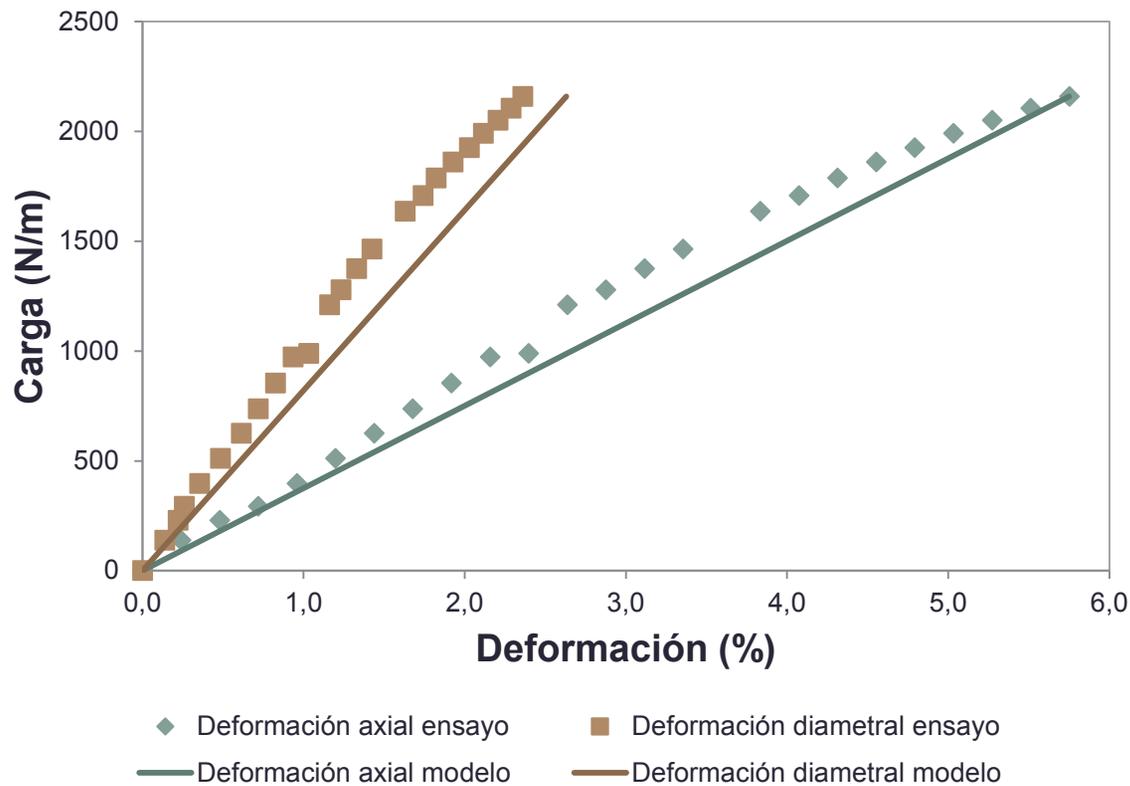


**Figura 1.** Ensayo de compresión diametral



**Figura 2.** Definición de la malla sometida a compresión diametral

## 2.1. Curvas carga - deformación



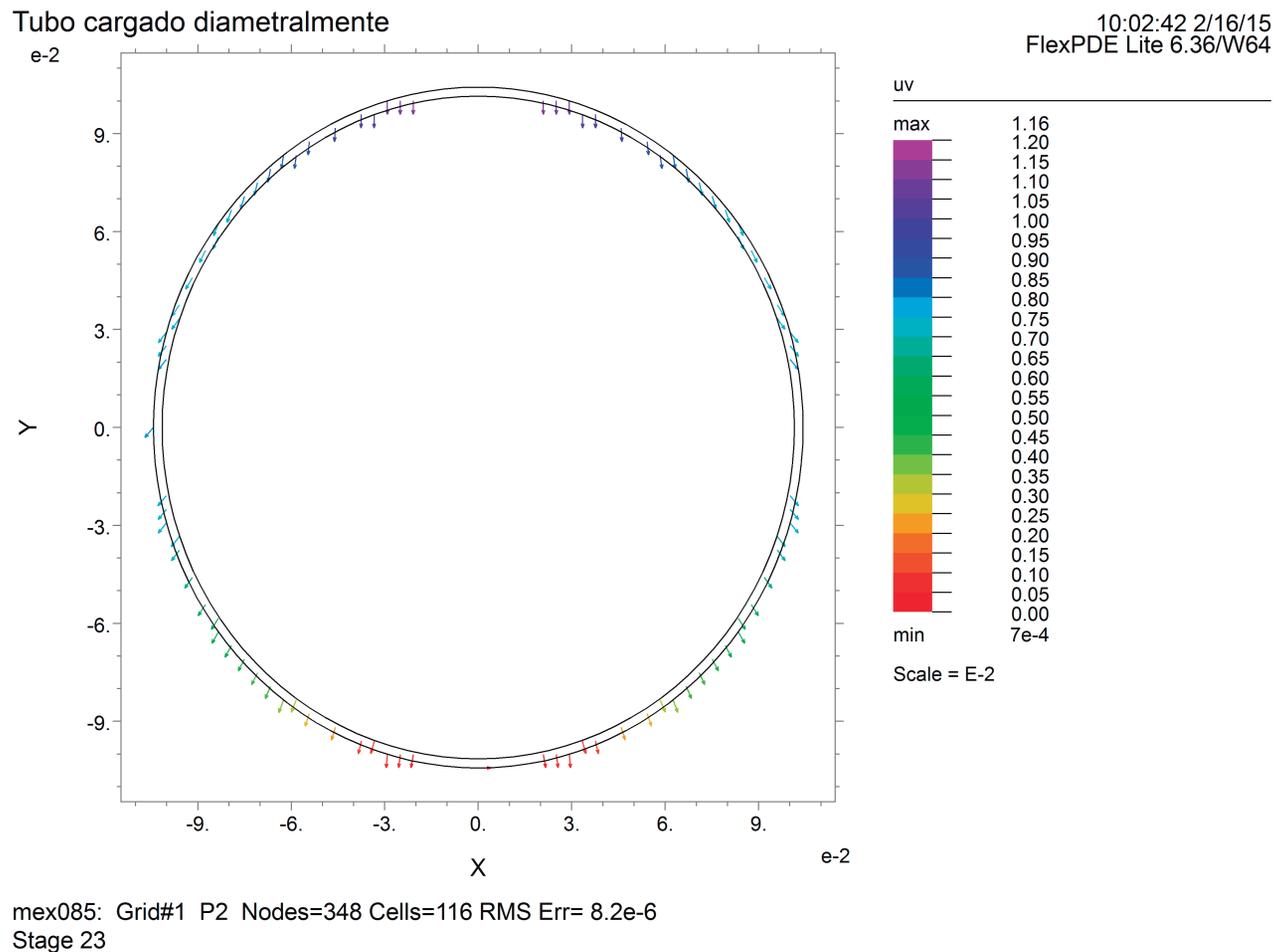
Los parámetros obtenidos después de la calibración fueron:

$$E = 15,5 \text{ GPa}$$
$$\mu = 0,2$$

Cabe mencionar que la carga última fue de 2105,8 N/m.

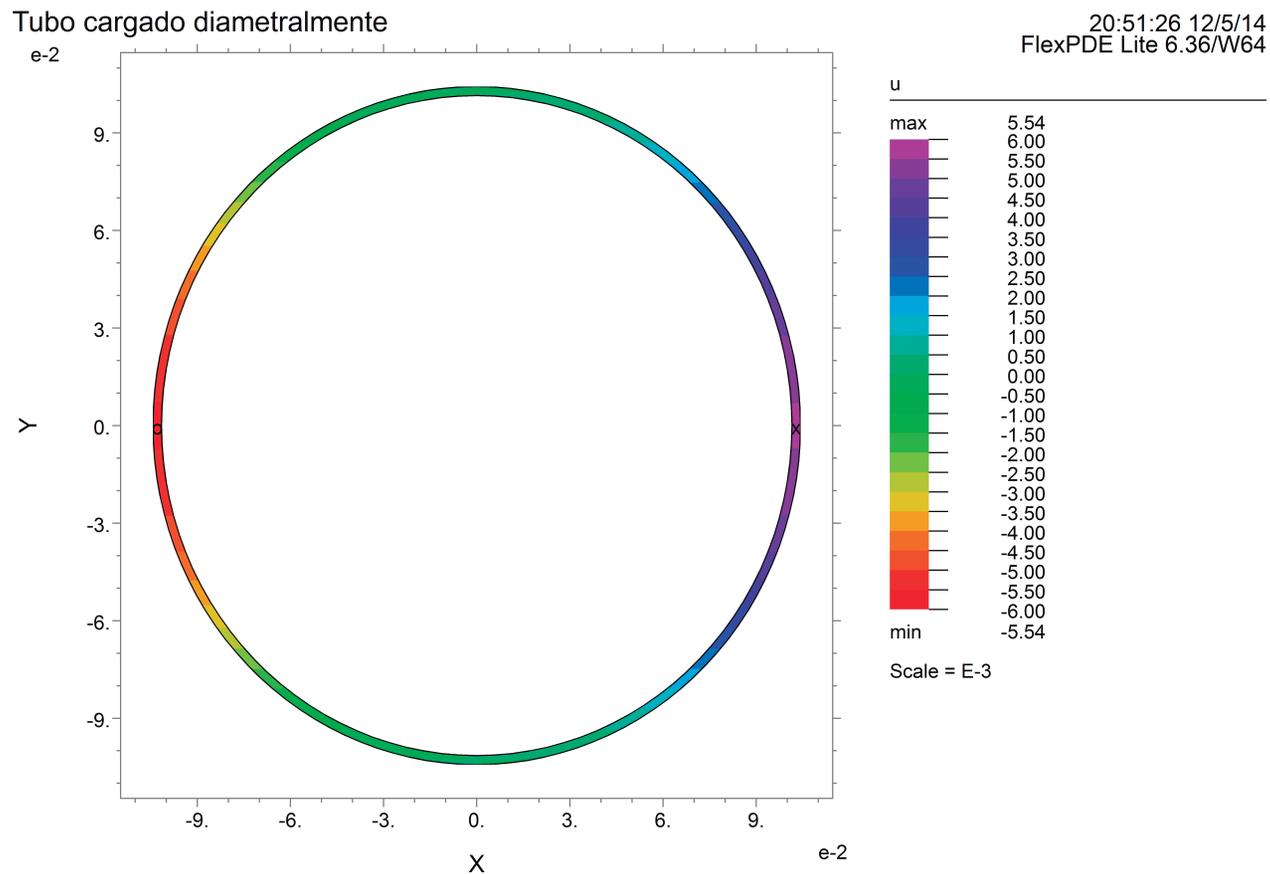
**Figura 3.** Comparación entre las curvas carga-deformación del ensayo de compresión diametral y el respectivo modelo

## 2.2. Vectores de deformación en metros de la sección



**Figura 4.** Vectores de deformación en metros ,  
con una carga de 2105,8 N/m.

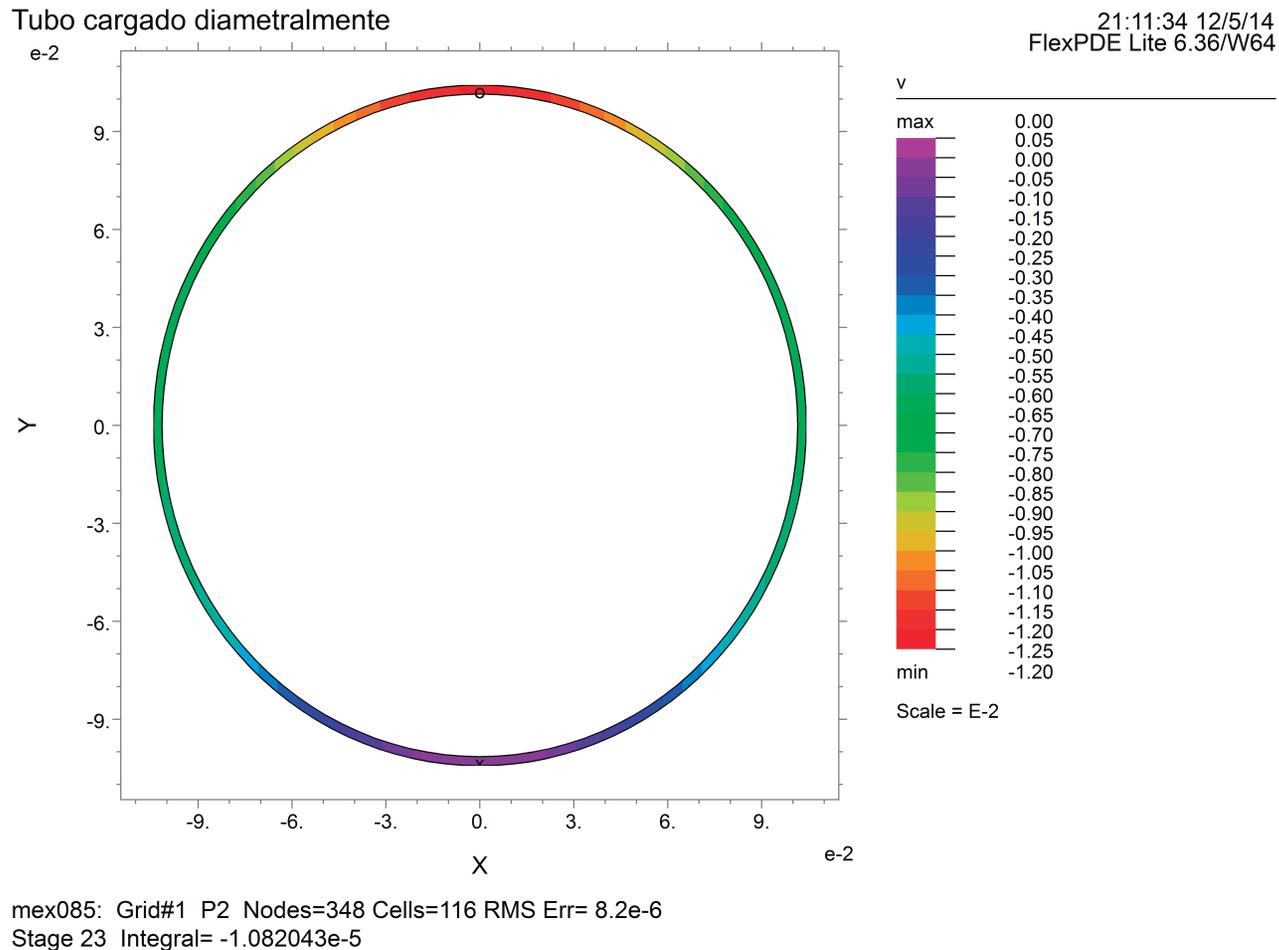
## 2.3. Contorno de deformaciones en metros en el eje x



mex085: Grid#1 P2 Nodes=348 Cells=116 RMS Err= 8.2e-6  
Stage 23 Integral= -3.897968e-9

**Figura 5.** Contorno de deformaciones en metros en el eje x, con una carga de 2105,8 N/m.

## 2.4. Contorno de deformaciones en metros en el eje y



**Figura 6.** Contorno de deformaciones en metros en el eje y, con una carga de 2105,8 N/m.

### 3. CALIBRACIÓN DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL

Posteriormente se calibro el ensayo de compresión axial, para lo cual fue necesario modelar en el programa uno de los ensayos realizados en el laboratorio. La muestra modelada tiene las siguientes dimensiones:

Altura=300 mm

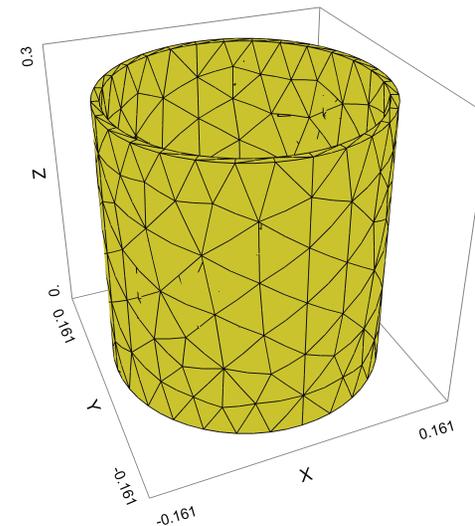
Diámetro externo=160 mm

Diámetro interno=150 mm

Espesor= 100 mm

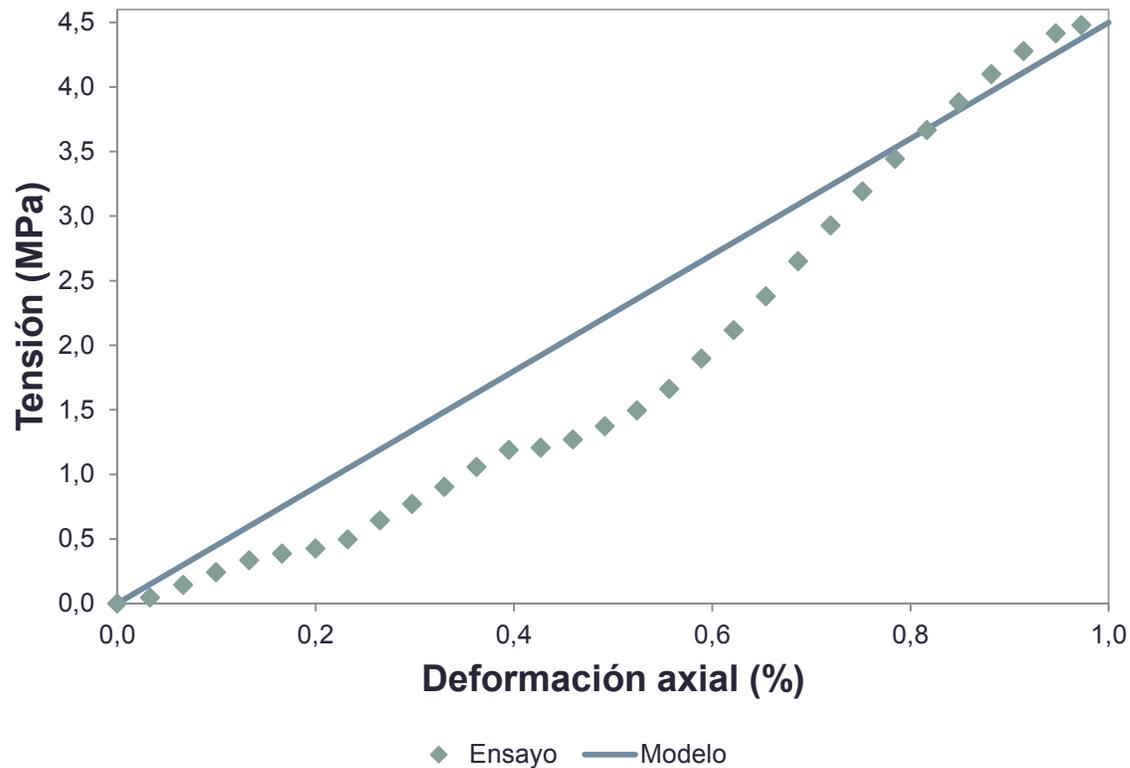


**Figura 7.** Ensayo de compresión axial



**Figura 8.** Definición de la malla sometida a compresión axial

### 3.1. Curva tensión- deformación



Los parámetros obtenidos después de la calibración fueron:

$$E = 450 \text{ MPa}$$

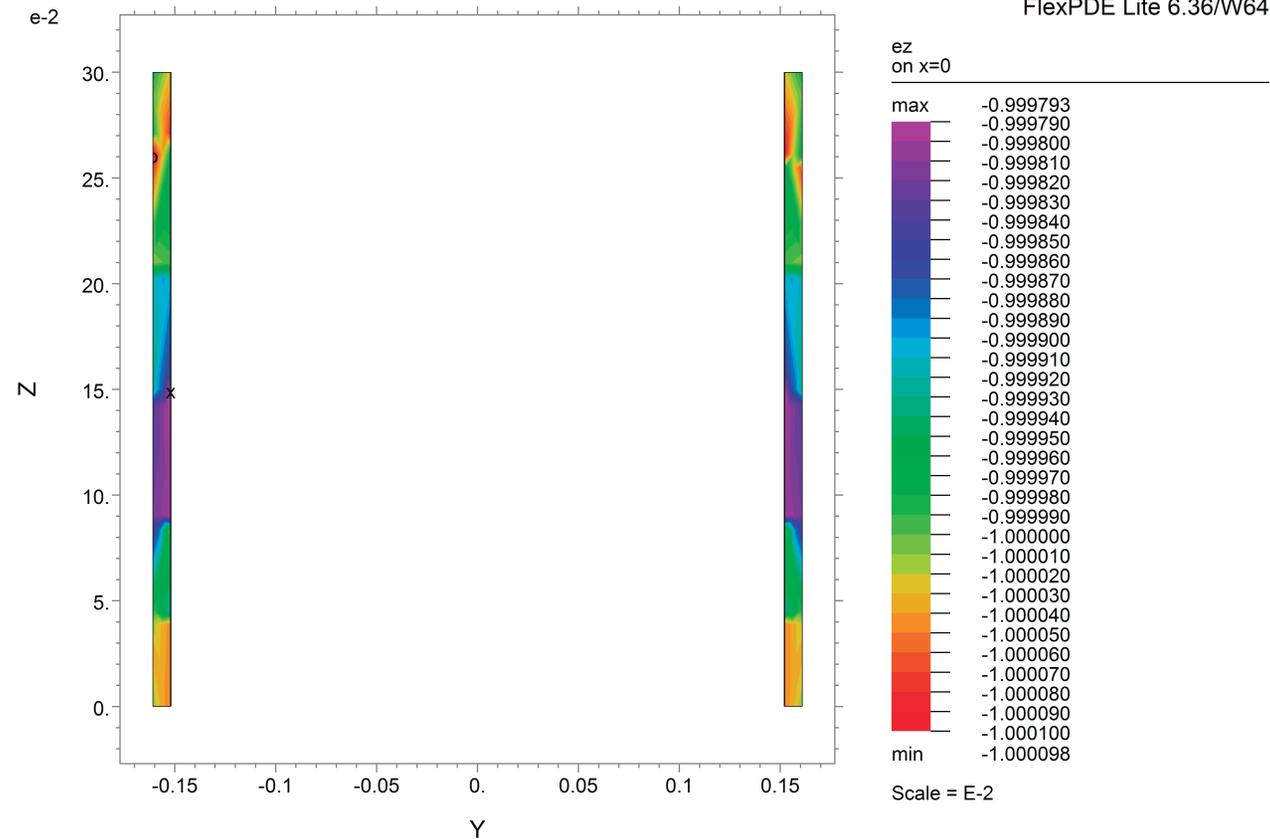
$$\mu = 0,2$$

Cabe mencionar que la tensión última fue de 4,5 MPa.

**Figura 9.** Comparación entre la curva tensión – deformación del ensayo de compresión axial y el respectivo modelo

## 3.2. Contorno de deformaciones unitarias en el eje z

Tubo bajo carga axial



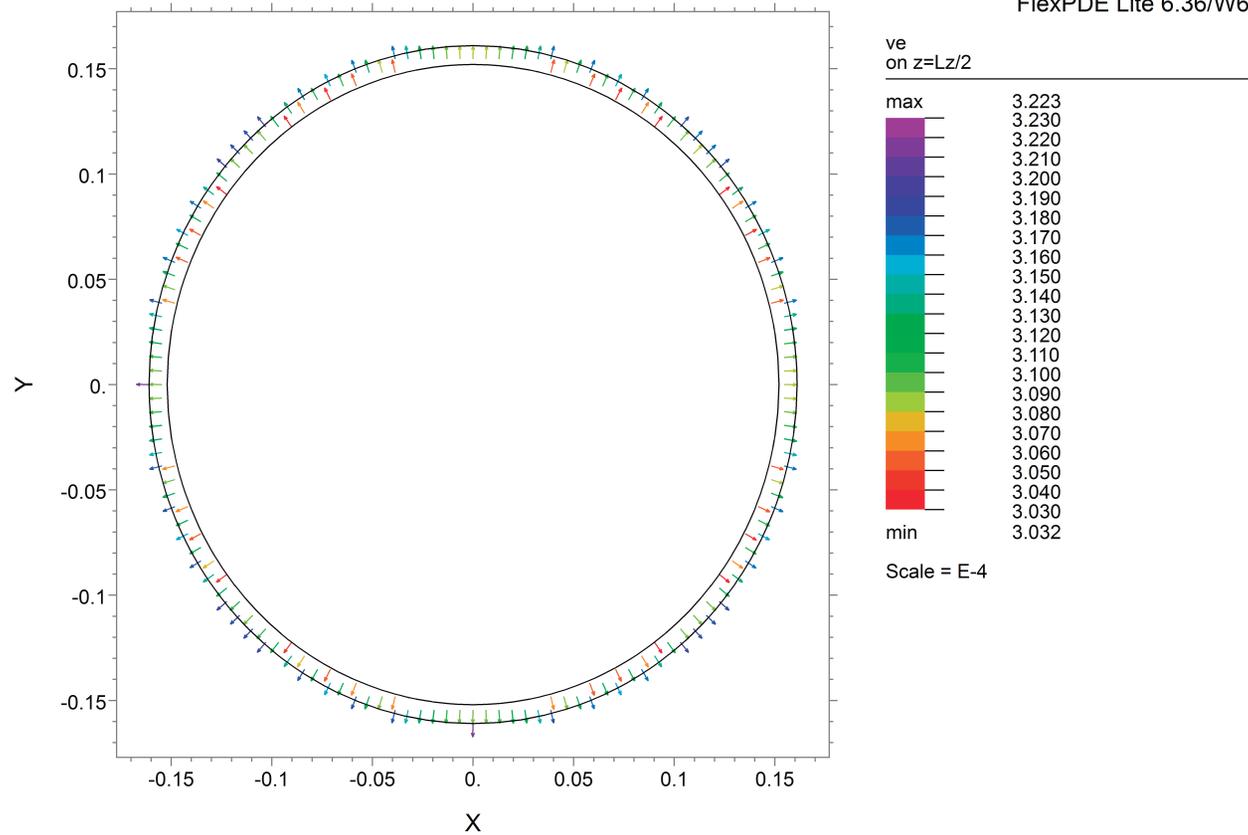
mex127: Grid#1 P2 Nodes=1814 Cells=818 RMS Err= 1.7e-6  
Stage 45 Integral= -5.399680e-5

**Figura 10.** Deformación unitaria en la sección longitudinal de la muestra con una carga de 4,5 MPa

### 3.3. Vectores de deformación en metros de la sección transversal

Tubo bajo carga axial

11:24:31 12/10/14  
FlexPDE Lite 6.36/W64



mex127: Grid#1 P2 Nodes=1814 Cells=818 RMS Err= 1.7e-6  
Stage 45

**Figura 11.** Deformación en metros de la sección transversal de la muestra con una carga de 4,5 MPa

## 4. MODELACIÓN DE LA FUNDICIÓN DE UNA COLUMNA DE UNA COLUMNA

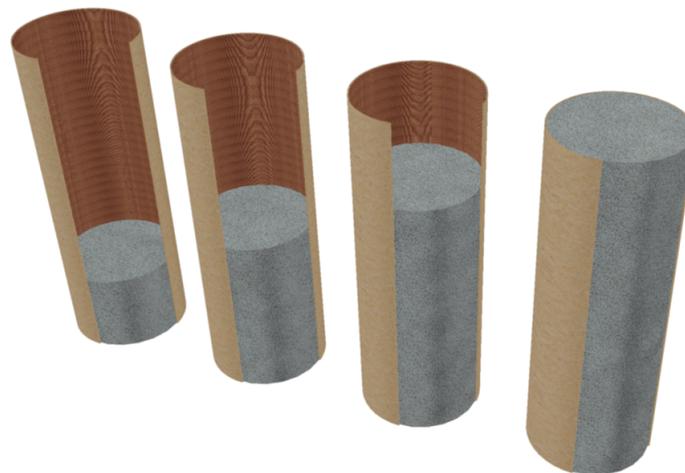
Obtenidos los parámetros de la calibración, se procede a realizar un modelo que incrementalmente simule las deformaciones en el tubo cuando se funde una columna, como se muestra en la Figura 12. El tubo modelado tiene las siguientes dimensiones:

Altura= 2,9 m

Diámetro externo=0,516 m

Diámetro interno= 0,504 m

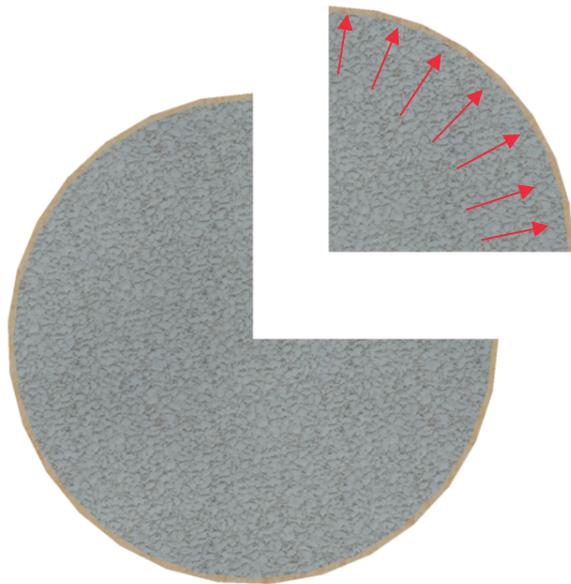
Espesor= 0,012



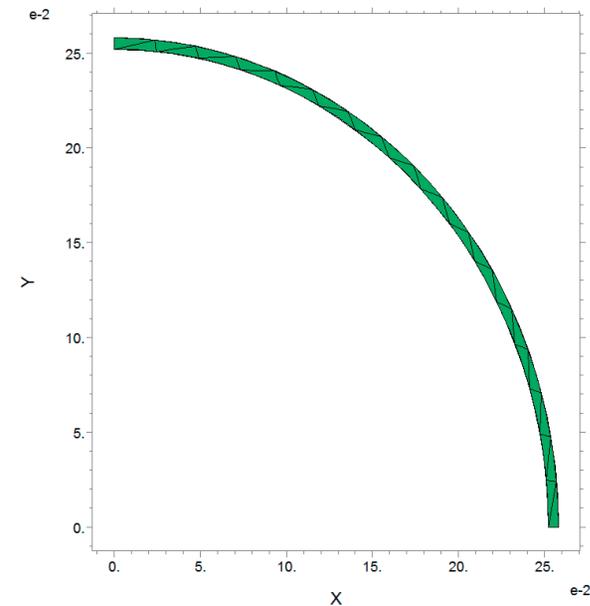
**Figura 12.** Aumento incremental de la carga producida por la columna de concreto

## 4.1. Concepción del problema de vaciado de columna

Para la evaluación de las deformaciones, se simplifica el problema analizando solo un cuarto de la sección del tubo, como se observa en la Figura 13.



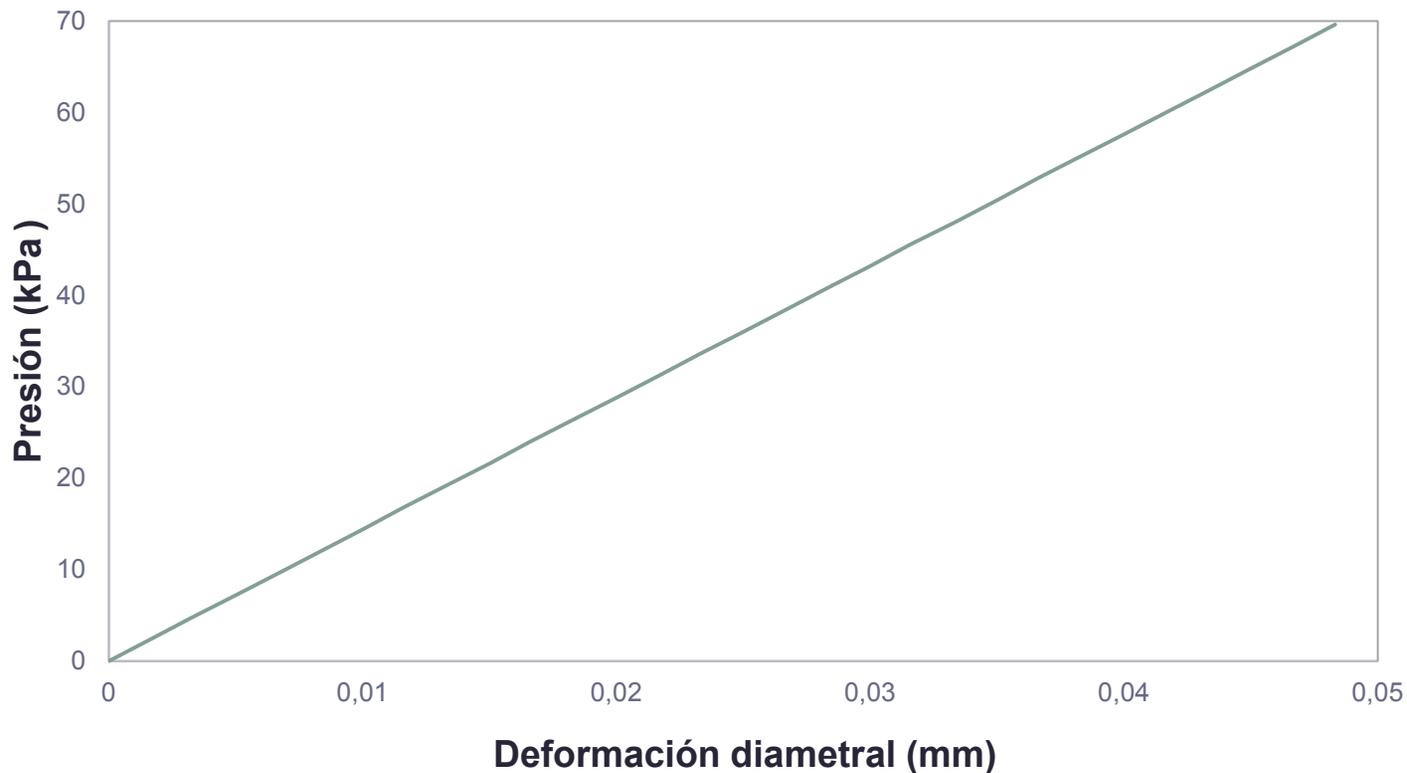
**Figura 13.** Simplificación del problema de vaciado columna



**Figura 14.** Definición de la malla sometida a presiones internas

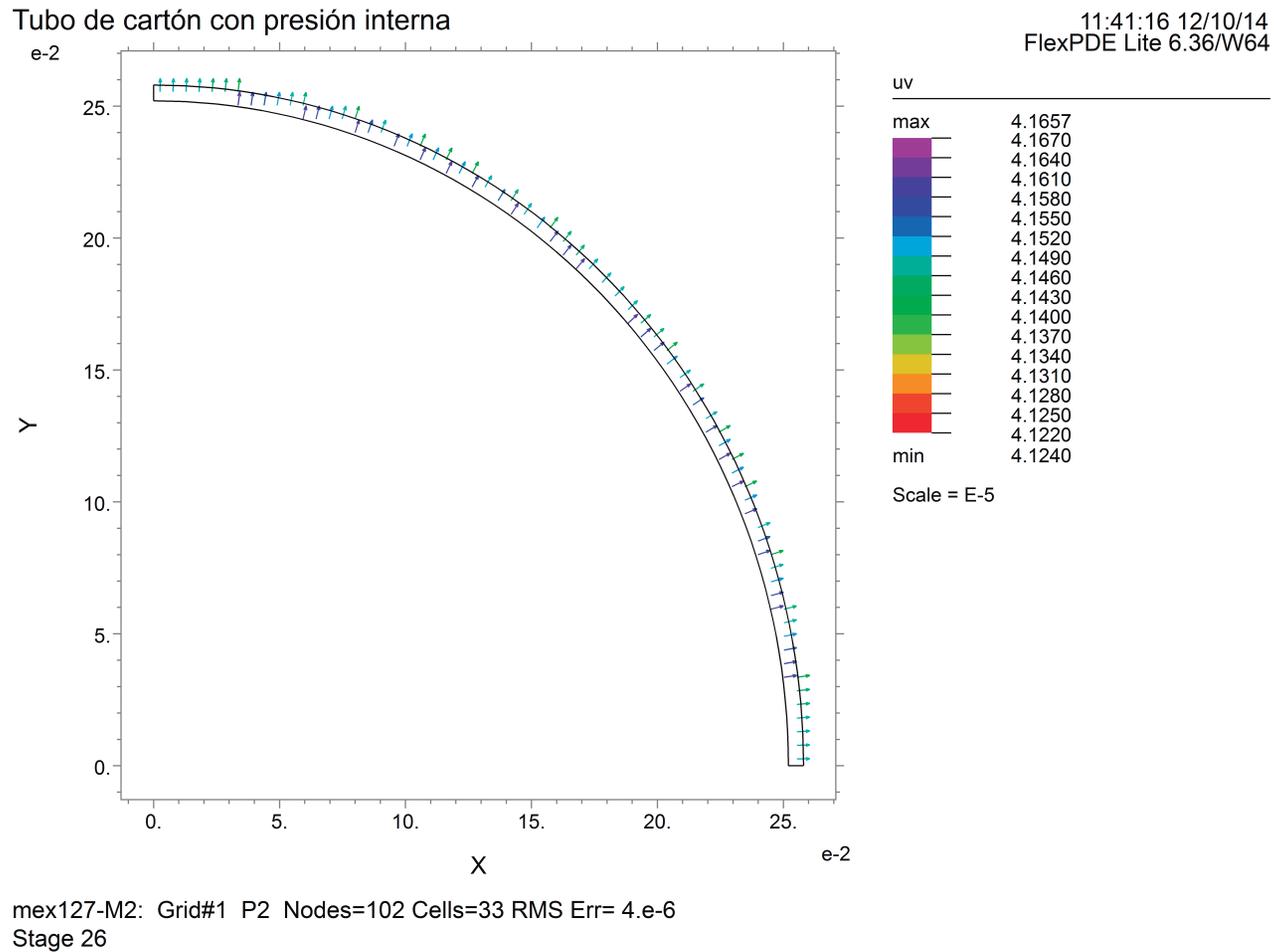
## 4.2. Curva presión-deformación

En la Figura 15 se muestra la deformación diametral producida por las presiones causadas por el vaciado de concreto. La presión máxima producida por el concreto es de 69,6 kPa.



**Figura 15.** Curva presión deformación para el modelo sometido a presiones internas

### 4.3. Vectores de deformación en metros en la sección en análisis

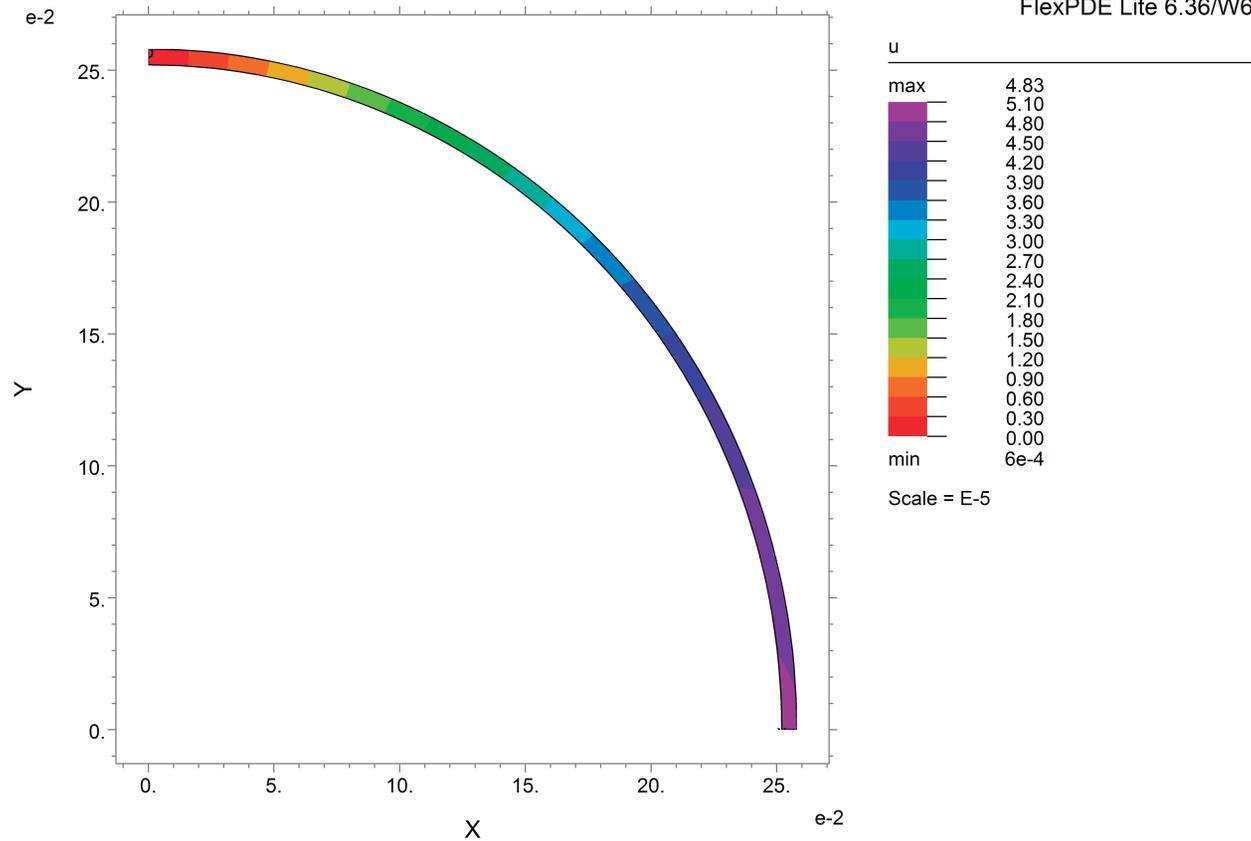


**Figura 16.** Deformación diametral en metros para una presión interna de 69,6 kPa

## 4.4. Contorno de deformaciones en metros en el eje x

Tubo de cartón con presión interna

12:22:30 12/10/14  
FlexPDE Lite 6.36/W64



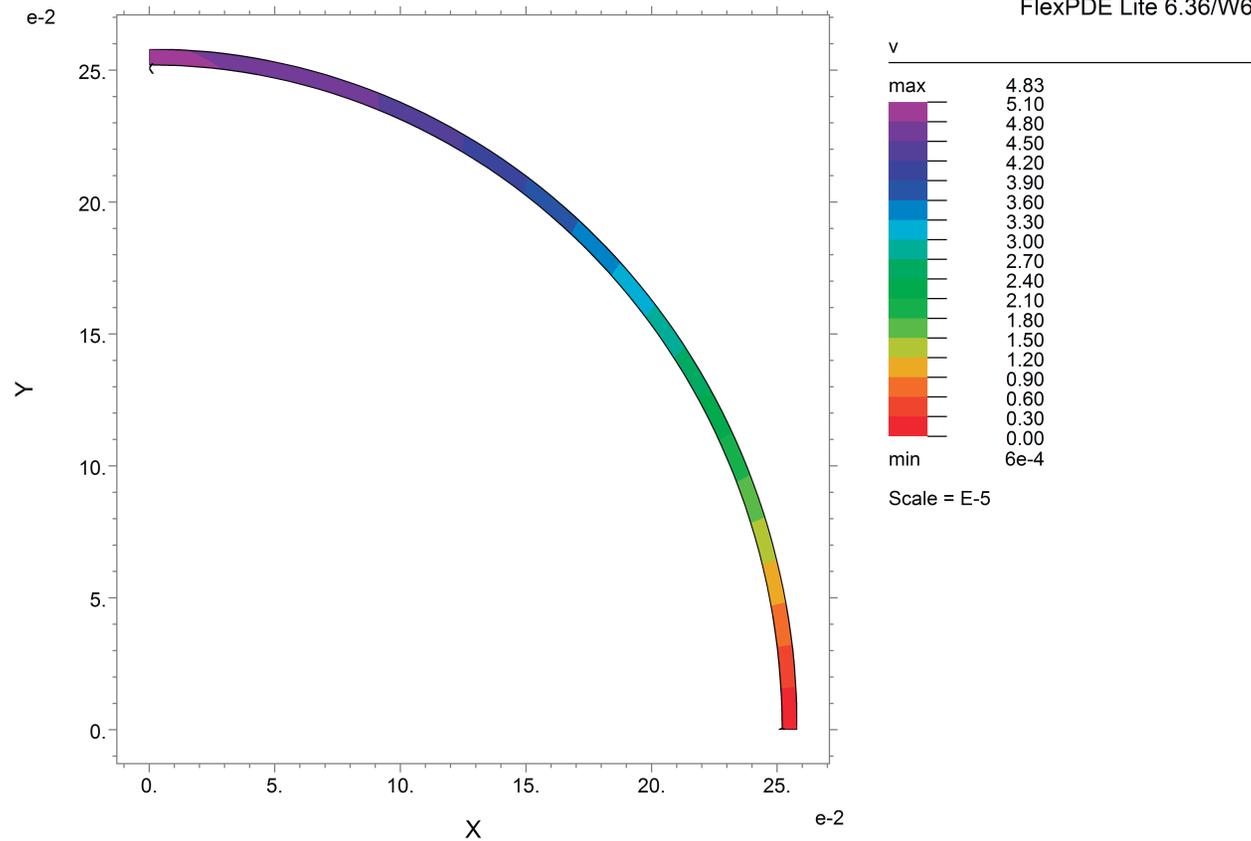
mex127-M2: Grid#1 P2 Nodes=102 Cells=33 RMS Err= 4.e-6  
Stage 29 Integral= 7.371405e-8

**Figura 17.** Distribución de deformaciones en metros en el eje x, para una presión de 69,6 KPa

## 4.5. Contorno de deformaciones en metros en el eje y

Tubo de cartón con presión interna

12:22:30 12/10/14  
FlexPDE Lite 6.36/W64



mex127-M2: Grid#1 P2 Nodes=102 Cells=33 RMS Err= 4.e-6  
Stage 29 Integral= 7.375841e-8

**Figura 18.** Distribución de deformaciones en metros en el eje y, para una presión de 69,6 KPa

## 5. MODELACIÓN DE LA FUNDICIÓN DE UNA LOSA ALIGERADA

Al igual que en la fundición de una columna, se sigue el mismo procedimiento para la fundición de una losa aligerada. La muestra modelada tiene las siguientes dimensiones:

Espesor loseta= 0,1 m

Diámetro externo=0,516 m

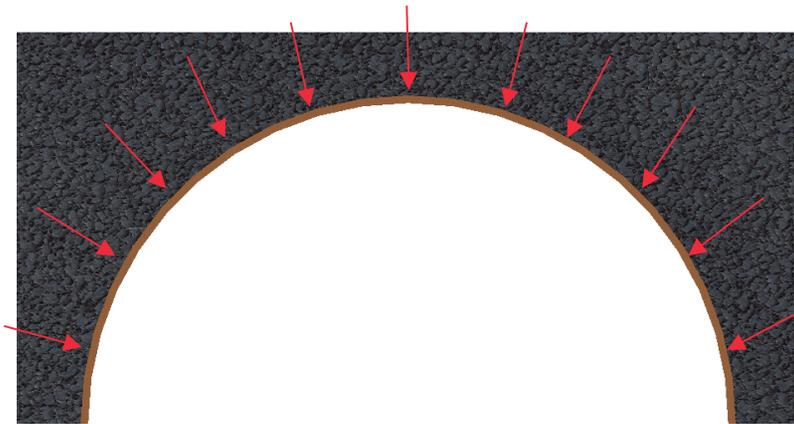
Diámetro interno=0,504 m



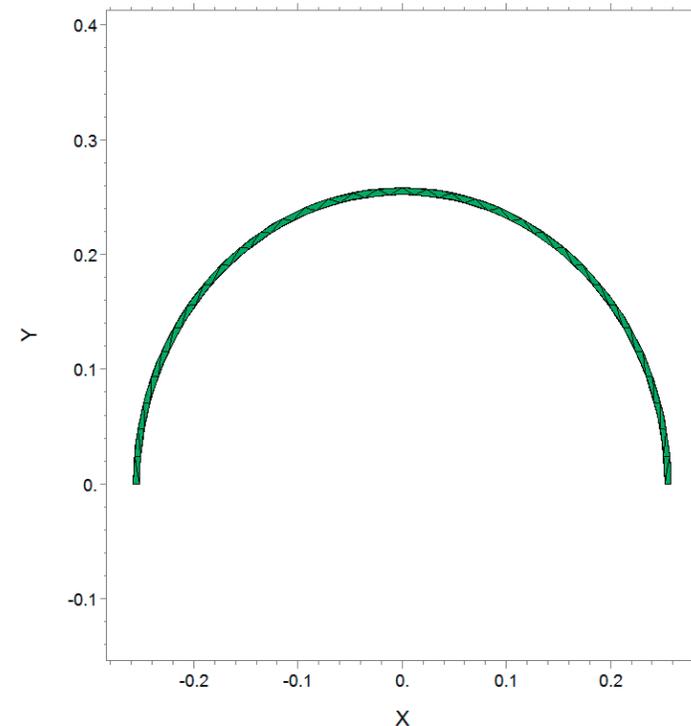
**Figura 19.** Aumento incremental de la carga producida por la columna de concreto

## 5.1. Concepción del problema de vaciado de losa aligerada

Se evalúan las deformaciones sometiendo el tubo a presiones externas producidas por el concreto, teniendo en cuenta una loseta de 10 cm por encima del tubo. Se simplifica el problema analizando la mitad de la sección del tubo, como se observa en la Figura 20.



**Figura 20.** Simplificación del problema de vaciado de losa aligerada

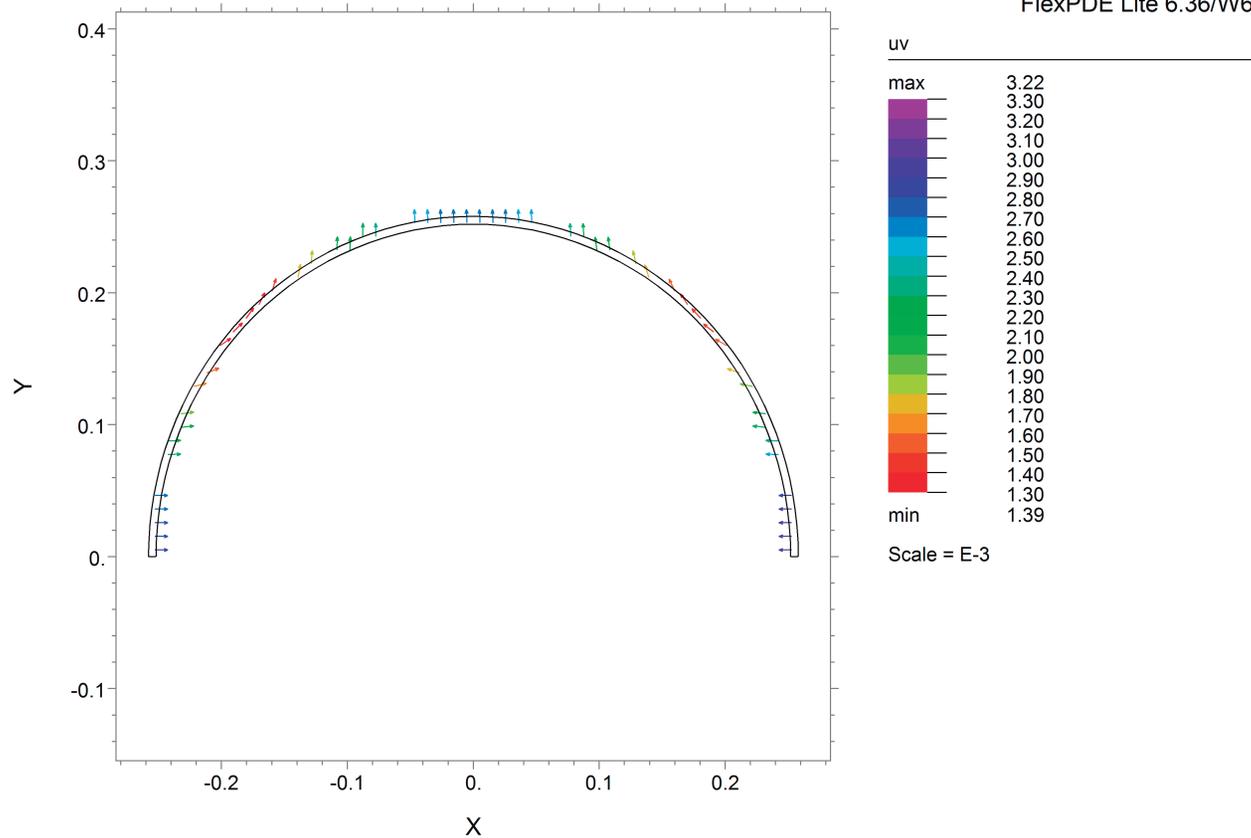


**Figura 21.** Definición de la malla sometida a presiones externas

## 5.2. Vectores de deformación en metros en la sección en análisis

Llenado de concreto para losa

09:34:20 2/16/15  
FlexPDE Lite 6.36/W64



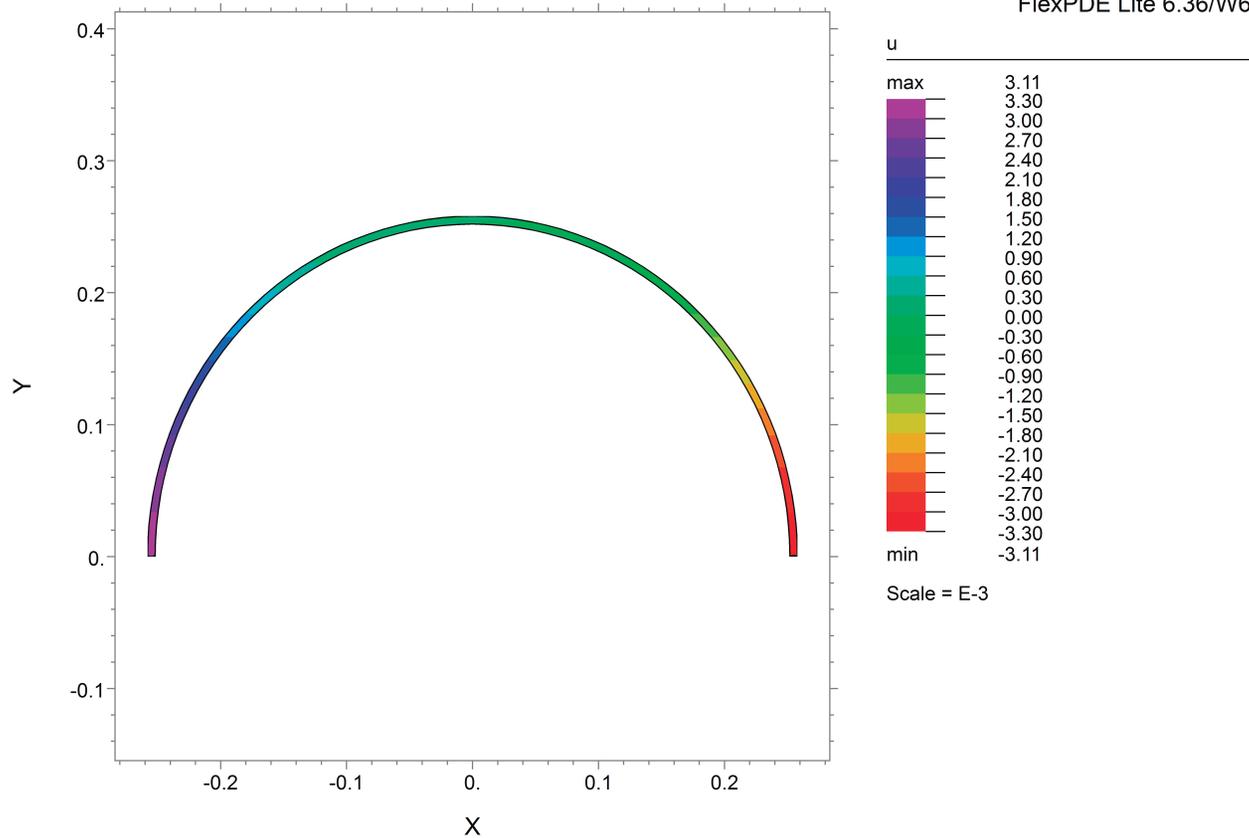
mex127-M3: Grid#1 P2 Nodes=204 Cells=67 RMS Err= 8.e-6  
Stage 26

**Figura 22.** Vectores de deformación en metros para una carga lineal de 357,5 N/m

## 5.3. Contorno de deformaciones en metros en el eje x

Llenado de concreto para losa

13:11:28 12/10/14  
FlexPDE Lite 6.36/W64



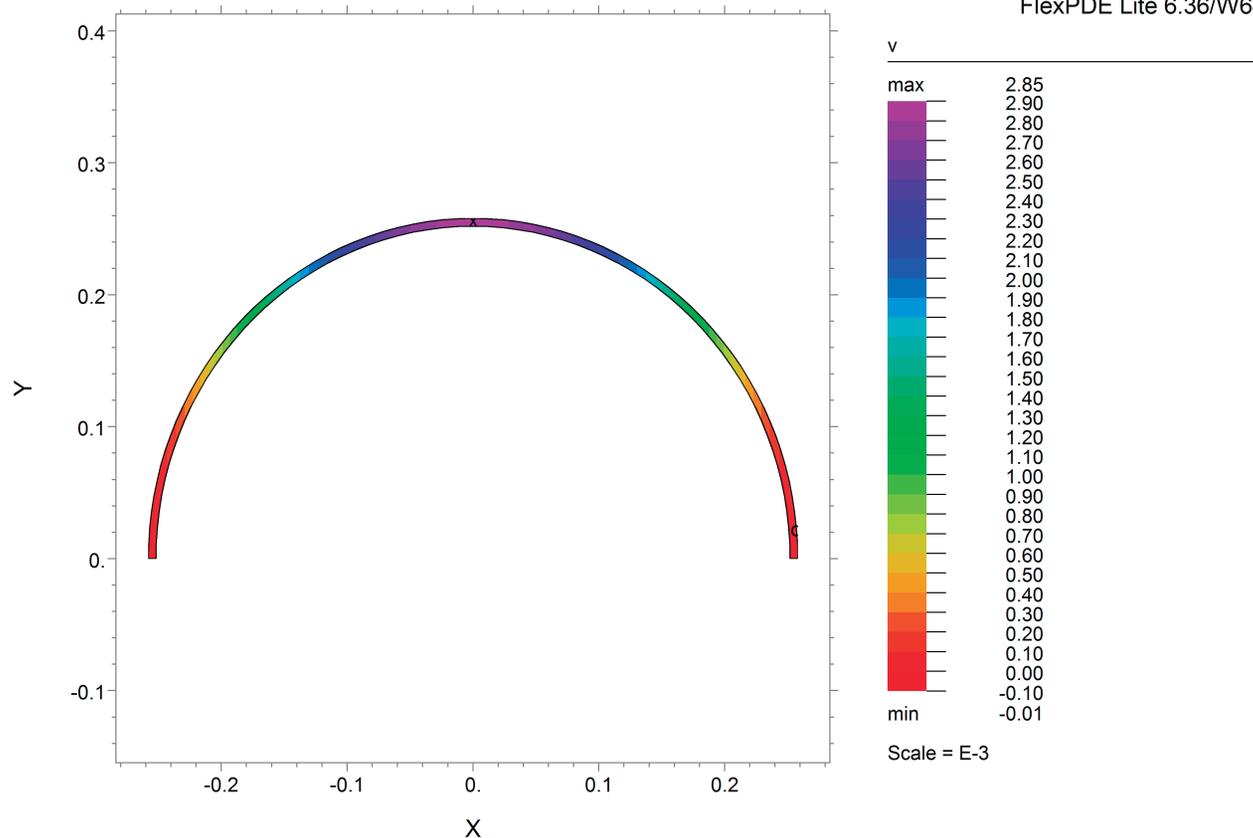
mex127-M3: Grid#1 P2 Nodes=204 Cells=67 RMS Err= 8.e-6  
Integral= 5.341919e-9

**Figura 23.** Distribución de deformaciones en metros en el eje x, para una carga lineal de 357,5 N/m

## 5.4. Contorno de deformaciones en metros en el eje y

Llenado de concreto para losa

09:34:20 2/16/15  
FlexPDE Lite 6.36/W64



mex127-M3: Grid#1 P2 Nodes=204 Cells=67 RMS Err= 8.e-6  
Stage 26 Integral= 6.076036e-6

**Figura 24.** Distribución de deformaciones en metros en el eje y, para una carga lineal de 357,5 N/m

## 6. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Los dos ensayos realizados fueron calibrados con éxito. Para el ensayo de compresión diametral se obtuvo un módulo de elasticidad de 15,5 GPa y un coeficiente de poisson de 0,2. Por otra parte, para el ensayo de compresión axial se obtuvo un módulo de elasticidad 450MPa, y al igual que en el anterior, un coeficiente de poisson de 0,2.

En la Figura 16 se observa que las deformaciones diametrales máximas que se esperan en la formaleta de cartón al fundir una columna de 2,9 m de altura son aproximadamente de 0,0417 mm. En la Figura 22 se muestran las deformaciones producidas por la fundición de una losa aligerada, son del orden de 3mm en la zona más crítica.

En conclusión, para los dos escenarios modelados, las deformaciones son bastantes pequeñas, lo que significa una baja probabilidad en la ocurrencia de eventualidades.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Backstrom, G. (2006). Deformation and Vibration. In Flex PDE 6 (p. 226).

PDE Solutions Inc. (n.d.). Flex PDE 6. Retrieved from  
<http://www.pdesolutions.com/>



Pontificia Universidad Javeriana  
Facultad de ingeniería  
Calle 18 No. 118-250 Cali, Colombia ● [www.javerianacali.edu.co](http://www.javerianacali.edu.co) ● PBX.  
(572) 321 8200