



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DEL EFECTO DE TUBERIAS QUE ATRAVIESAN A MIEMBROS DE
CONCRETO ESTRUCTURAL SOLICITADOS A FLEXIÓN.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

**como parte de los requisitos para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

REALIZADO POR

CLAUDIO DEL PINO

PROFESOR GUÍA

ING. GUILLERMO BONILLA

FECHA

03 DE JUNIO DE 2013

DEDICATORIA

**A mi amigo y Tutor
Ing. Guillermo Bonilla
Mil Gracias no son suficientes.**

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas que formaron parte directa o indirectamente en la elaboración esta investigación, especialmente a:

Mis padres por darme la oportunidad de formar parte de esta casa de estudio y darme el apoyo para llegar hasta este punto.

Mi madre, Liset Silva, pilar fundamental en este recorrido tan importante de mi vida, por el apoyo en tantas noches de desvelo y por animarme cuando más lo necesitaba. Ucevista de corazón y conocedora de este proceso definitivo para mi formación

Mi padre, Fernando Del Pino, por apoyarme en el proceso de elaboración de los elementos que sirvieron de base para esta investigación.

Al Sr José Morantes, gran amigo de mi padre y de la familia, por la ayuda técnica prestada para la elaboración de la base de apoyo de los elementos, la cual fue esencial para el desarrollo de los ensayos.

Al Ing. José Manuel Velasquez por el interés mostrado a lo largo de la elaboración de esta investigación.

A Ing. Marlyn Silva, por el apoyo prestado para contribuir con la formación intelectual que permitió orientar este Trabajo Especial de Grado.

A TSU Yelitza Sirit por el apoyo incondicional prestado en las instalaciones del Laboratorio de Materiales de la Universidad Católica Andrés Bello.

A todos...

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I.....	2
EL PROBLEMA	2
1.1.- Planteamiento del Problema	2
1.2.- Objetivo de la Investigación	4
1.3.- Justificación	4
1.4.- Alcance y Limitaciones	4
CAPITULO II	5
MARCO TEORICO.....	5
2.1.- Antecedentes	5
2.2.- Fundamentos Teóricos	6
2.2.1.- Concreto Reforzado	6
2.2.2 Resistencia de Miembros a flexión.....	7
2.2.2.1 Análisis de Secciones simplemente reforzadas	7
2.2.3 Tipos de Falla	9
2.2.3.1 Falla a tracción.....	9
2.2.3.2 Falla a compresión:	10
2.2.3.3 Falla Balanceada:	11
2.2.4 Análisis de Secciones doblemente reforzadas	13
2.2.5 Comportamiento bajo cargas de servicio	15
2.2.5.1 Control de las deflexiones.....	15
2.2.5.1.1 Aceptabilidad por los sentidos.....	15
2.2.5.1.2 Servicio de la estructura.....	15
2.2.5.1.3 Efecto de los elementos no estructurales.	15
2.2.5.1.4 Efecto en los miembros estructurales.	16
2.2.5.1.5 Método de control de las deflexiones	16
a.- Caso 1.- Tubería en contacto con acero a compresión y $\phi_{(tub)} < \phi_{crit}$	17
b.- Caso 2.- Tubería en contacto con acero a compresión y $\phi_{(tub)} \geq \phi_{crit}$	18
2.2.7 Análisis mediante Elementos Finitos.	20

CAPITULO III.....	22
MARCO METODOLÓGICO.....	22
3.1.–Naturaleza de la Investigación	22
3.2.– Población.....	22
3.3.– Muestra.....	22
3.4.–Recolección de Datos	22
3.5.– Equipos de aplicación de carga	23
3.6.–Variables en el ensayo.....	23
3.6.1.- Variables Dependientes.....	23
3.6.2.- Variables Independientes	23
3.6.3.- Constantes	23
3.7.– Materiales utilizados. Propiedades y características. Dosificaciones	23
3.8.– Diseño Experimental.....	24
3.8.1 Ensayo Patrón.....	24
3.8.2 Ensayo de Miembro Afectado por tuberías de diámetro 5 cm (2").	24
3.8.3 Ensayo de Miembro Afectado por tuberías de diámetro 7 cm(3").	24
3.9.- Fases de Ejecución.....	25
3.9.1.- Etapa Inicial: Elaboración de los miembros.....	25
3.9.2 Soporte para ensayos:	27
3.9.3.- Ensayo de los especímenes	28
CAPITULO IV	30
RESULTADOS Y ANALISIS	30
4.1- Resultados	30
4.1.1.- Comportamiento mecánico de vigas atravesadas por tuberías, cuando son sometidas a tensiones de flexión, mediante ensayos de laboratorio.....	31
4.1.1.1- Patrón M-1	31
4.1.1.2.- Espécimen M-2.....	32
4.1.1.3.- Espécimen M-3.....	34
4.1.1.4.- Resumen General de Resultados Obtenidos.....	35

4.1.1.5	Análisis del comportamiento mecánico mediante ensayos de laboratorio.....	36
4.1.1.5.1.-	M-1	36
4.1.1.5.3.-	M-3	38
4.1.1.5.4.-	Análisis comparativo entre probetas.	39
4.1.2.1.-	Simulación: Viga Patrón.....	43
4.1.2.2.-	Simulación: Nivel de Afectación 1.....	45
4.1.2.3.-	Simulación de Nivel de Afectación 2.	47
4.1.2.4	Análisis del comportamiento mecánico mediante elementos finitos..	49
4.1.2.3.1.-	Viga Patrón.	49
4.1.2.3.2	Nivel de Afectación 1 (Tubería de diámetro 5,08 cm)	50
4.1.2.3.3.-	Nivel de Afectación 2 (Tubería de diámetro 7,62 cm)	50
4.1.2.3.4.-	Análisis comparativo entre probetas.	51
4.1.3	Análisis comparativo entre las respuestas obtenidas al evaluar el comportamiento de vigas atravesadas por tuberías, mediante el método de Elementos Finitos y los resultados obtenidos con base a ensayos de laboratorio	53
4.1.4.-	Análisis del comportamiento de deflexiones obtenidas experimentalmente.	56
CAPITULO V		60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		60
5.1.-	Conclusiones.....	60
5.2.-	Recomendaciones.	62
BIBLIOGRAFIA		63

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1.- Valores límites para flechas calculadas, instantáneas o diferidas. Fuente: Norma Venezolana 1753:2006 Proyecto y Construcción de obras en concreto estructural.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 4.1.- Resultados obtenidos. M-1</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 4.2.- Resultados obtenidos. M-2</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 4.3.- Resultados obtenidos del ensayo del espécimen M-3.....</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 4.4.- Resumen General de resultados obtenidos.</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 4.5.- Cargas de Falla en Especimen M1 mediante elementos finitos.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 4.7.- Cargas de Falla en Especímenes M3 mediante elementos finitos.....</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 4.8.- Esquema descriptivo de las probetas analizadas</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 4.9.-Resumen de Cargas de Falla en Especímenes M1/M2/M3. </i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 4.10.-Porcentajes de Diferencia entre los métodos de análisis empleados.</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 4.11.- Módulo de Elasticidad; Inercia Probeta M1 </i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 4.12.- Módulo de Elasticidad; Inercia Agrietada Probeta M1 ...</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 4.13.- Resumen de deflexiones de falla teórica y experimental.....</i>	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1.-Sección de concreto simplemente Reforzada cuando se alcanza la resistencia a Flexión.</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Figura 2.2.-Falla a tensión de tracción del Concreto. Fuente Propia .</i>	¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.3.- Perfiles de deformación en la resistencia a flexión de una sección. . ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.4.- Sección de concreto doblemente Reforzada cuando se alcanza la resistencia a Flexión. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.5.- Sección de concreto doblemente Reforzada afectada por tubería en caso 1. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.6.- Sección de concreto doblemente Reforzada afectada por tubería en caso 2. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.1.-Elaboración de encofrados ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.2.-Preparación y Armado de acero de refuerzo . ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.3.- Disposición de las tuberías en los especímenes ¡Error! Marcador no definido.

Vaciado de los especímenes: ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.4.- Proceso de vaciado de los especímenes ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.5.- Proceso de curado de los especímenes. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.6.- . Elaboración y colocación de base para ensayos ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.7.- Espécimen colocado sobre la base para ensayos/ Apoyo del espécimen ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.8.- Colocación de deformímetros ¡Error! Marcador no definido.

Figura 3.9.- Colocación final de especímenes para ser ensayados . ¡Error! Marcador no definido.

Figura 4.1.- Representación esquemática del comportamiento de las vigas ensayadas, ¡Error! Marcador no definido.

Figura 4.3.- Sección modelada mediante elementos finitos. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 4.4.- Probeta Patrón simulada mediante elementos finitos.. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 4.5.- Sección afectada modelada mediante elementos finitos.

Nivel de Afectación 1. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 4.6.- Probeta afectada simulada mediante elementos finitos.

Nivel de Afectación 1 ¡Error! Marcador no definido.

Figura 4.7.- Sección afectada modelada mediante elementos finitos.

Nivel de Afectación 2. ¡Error! Marcador no definido.

Figura 4.8.- Probeta afectada simulada mediante elementos finitos.

Nivel de Afectación 1 ¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1.- Carga- Deflexión en el Centro. M-1 ¡Error! Marcador no definido.

Gráfica 4.2.- Carga- Deflexión a 50cm de la cara. M-1 ... ¡Error! Marcador no definido.

Gráfica 4.3.- Carga- Deflexión en el Centro. M-2 ¡Error! Marcador no definido.

Gráfica 4.4.- Carga- Deflexión a 50cm de la cara. M-2 ... ¡Error! Marcador no definido.

Gráfica 4.7.- Carga- Deflexión en el Centro. M-3 ¡Error! Marcador no definido.

Gráfica 4.8.- Carga vs. Deformación a 50cm de la cara. M-3 ¡Error! Marcador no definido.

Gráfica 4.9.- Curva Carga – Deflexión Especímenes M1/M2 ¡Error! Marcador no definido.

Gráfica 4.10.- Curva Carga – Deflexión Especímenes M1/M3 ¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 4.11.- Momento- Curvatura de la sección patrón simulada. ¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 4.12.- Carga- Curvatura de la sección patrón simulada. ... ¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 4.13.- Momento - Curvatura de la sección simulada.

Nivel de afectación 1 ¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 4.14.- Carga- Curvatura de la sección simulada.

Nivel de afectación 1..... ¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 4.15.- Momento- Curvatura de la sección simulada.

Nivel de afectación 2..... ¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 4.16.- Carga- Curvatura de la sección simulada.

Nivel de afectación 2..... ¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 4.17.- Curva Carga –Curvatura Especímenes M1/M2 ¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 4.18.- Curva Carga –Curvatura Especímenes M1/M3 ¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 4.19.- Curva Carga–Deflexión M1/M2/M3 Limite de Flecha Normativo .. ¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCION

Es inevitable en cualquier proyecto de carácter arquitectónico la distribución de tuberías de servicio a lo largo y ancho de la estructura. En la mayoría de los casos por condiciones estéticas, estas tuberías son embebidas en el concreto alterando las condiciones de la estructura.

A pesar de que existe una normativa que recomienda las consideraciones que se deben seguir para dicho tendido, en algunos casos, la distribución de estas tuberías no es considerado en el diseño estructural de los miembros que conforman el proyecto.

Gracias a un estudio de campo realizado en los meses de mayo y junio de 2012, se pudo constatar que los elementos estructurales más afectados son las vigas, en primer lugar porque el paso de las tuberías generalmente deben atravesar por lo menos una de ellas para poder comunicar dos puntos de servicio, y en segundo lugar porque su funcionamiento estructural depende de la integridad de su sección transversal.

Para el presente trabajo especial de grado, se cuantifico la influencia generada por la abertura en vigas sometidas a flexión mediante ensayos de laboratorios y análisis por método de elemento finitos. Estableciendo una base mediante un miembro patrón, el cual sirvió para comparar el comportamiento mecánico de vigas atravesadas con tuberías de diámetro 5.08cm y 7,62cm

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1.- Planteamiento del Problema

Desde el año pasado el laboratorio de materiales de Ingeniería Civil de la Universidad Católica Andrés Bello inició un plan que les permitiera pasar de ensayos experimentales a estudios mediante el método de elementos finitos; a tal fin se han venido desarrollando estudios de casos reales que son modelados tanto en forma física como por medio matemáticos para ir observando las potencialidades cuantificables de este cambio.

En este sentido, durante los meses de Mayo y Junio del año 2012, se realizaron una serie de visitas a diferentes desarrollos constructivos en la ciudad de Caracas, donde se observó el paso de tuberías a través de los miembros estructurales que conforman las edificaciones.



Dentro de este contexto, tomando en consideración que a nivel de construcción de edificaciones, resulta normal observar el paso de tuberías horizontales perpendiculares a las vigas, con la finalidad de conducir de un punto a otro servicios como agua, gas, electricidad, telefonía, sistemas de aire acondicionado entre otros; se decidió desarrollar un estudio de carácter experimental, que permitiera comparar la respuestas obtenidas con los resultados obtenidos mediante programas de métodos numéricos.

Según lo establecido en la normativa Fondonorma 1753:2006 - Proyecto y Construcción de obras en Concreto Estructural, el paso de tuberías por vigas, losas y muros, debe hacerse de manera que la resistencia no se encuentre afectada. Sin embargo, no suministra información acerca de limitaciones que deban ser consideradas por afectar el desempeño esperado de la estructura.

Por otra parte, la falta de coordinación durante la etapa de ejecución del proyecto, donde el cálculo de la estructura se lleva a cabo sin el conocimiento de la ubicación de servicios, facilita que la distribución de estos pases no responda a lo establecido las normas de construcción, comprometiendo así la integridad de la estructura, hasta el punto en que se desconoce cómo puede ser afectado el comportamiento ante cualquier eventualidad.

Por tal sentido, en el presente se propone analizar con base a ensayos experimentales en vigas de tamaño real y método de elementos finitos, la respuesta que se obtiene cuando es atravesada una viga horizontalmente de forma perpendicular a su eje, en la zona a compresión y a mitad de la luz, al ser sometida a tensiones de flexión.

Para tal fin fueron desarrolladas tres (03) tres probetas: La primera, correspondiente a viga patrón no afectada por tuberías; la segunda, con un nivel de afectación 1 por tener una (01) viga atravesada con una tubería de diámetro 5,08 cm y la tercera, nivel de afectación 2. con tubería de diámetro de 7,62 cm

1.2.- Objetivo de la Investigación

1.2.1.-Objetivo General

- Analizar el comportamiento mecánico de vigas de concreto estructural solicitadas a flexión cuando son atravesadas por tuberías horizontales en la zona a compresión.

1.2.2.- Objetivos Específicos

- Determinar el comportamiento mecánico de vigas atravesadas por tuberías, cuando son sometidas a tensiones de flexión, mediante ensayos de laboratorio.
- Determinar el comportamiento mecánico de vigas atravesadas por tuberías, cuando son sometidas a tensiones de flexión, mediante el método de Elementos Finitos.
- Desarrollar un análisis comparativo entre las respuestas obtenidas al evaluar el comportamiento de vigas atravesadas por tuberías, mediante el método de Elementos Finitos y los resultados obtenidos con base a ensayos de laboratorio.

1.3.- Justificación

A pesar de que la norma Venezolana 1753:2006 hace recomendaciones generales respecto a la distribución y tamaños de camisas, conductos y tuberías que pasen a través de losas, placas, muros o vigas; se desconoce cuáles son las condiciones críticas de la sección, es decir, aquellas que puedan afectar significativamente la resistencia o el comportamiento del miembro. Además, existen pocas investigaciones que se han dedicado a evaluar el comportamiento de los miembros afectados por tuberías, lo que no permite determinar soluciones o recomendaciones definitivas ante el problema planteado.

1.4.- Alcance y Limitaciones

Ensayos realizados sobre vigas de tamaño real, de sección rectangular de 25 cm x 28 cm x 320 cm. El estudio estuvo limitado a la evaluación mecánica del comportamiento de las vigas de $f'c = 24.5 \text{ Mpa}$ (250 kgf/cm^2).

Dentro de las limitaciones se incluyen los problemas presentados el día 05/03/2013 que obligó a desalojar las instalaciones de la Universidad Católica Andrés Bello, dificultando el proceso de vaciado de las vigas.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.- Antecedentes

Acosta P. William, Vásquez L; Gilberto, Morello G. Gustavo A.
Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. 1995

Título: Análisis comparativo entre métodos de diseño, para vigas de acero con aberturas en el alma.

Se realizaron análisis de metodologías para diseño de vigas con aberturas en el alma de manera de que se pudiera proponer una metodología más sencilla, que permita tanto la verificación como el diseño de vigas con aberturas.

Se desarrollaron tablas y gráficas que simplifican el diseño de estos elementos de acero perforados, estableciendo para cada tipo de elementos los parámetros de diseño específico y limitante según cada una de las metodologías analizadas.

Quintero Sara; Rodríguez Javier
Universidad Católica Andrés Bello

Título: Evaluación del comportamiento de vigas de concreto armado reforzadas con fibras de carbono, ensayadas a flexión a edad temprana de su colocación.

Se analizó el comportamiento de vigas de concreto subreforzadas llevadas a diferentes estados de afectación, las cuales recibieron fibras adheridas mediante polímero y sometidas a esfuerzos de flexión luego de 24 horas de su colocación.

Concluyeron que la fibra de carbono adherida incremento las capacidades y deflexiones de las probetas aumentando las deflexiones máximas, para los elementos que no recibieron tratamiento.

Cabrera Exeni, Fabián
Universidad Nacional de Colombia.

Título: Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto reforzado.

Se realizó una comparación tanto cualitativa como cuantitativa entre las vigas patrón con los demás casos (vigas de concreto reforzado con abertura nominal de 50mm de diámetro interior)

Se concluye que la práctica de embeber algún ducto o realizar algún inserto a la viga de concreto reforzado, no solo trae consecuencias perjudiciales al elemento estructural como tal, sino también, implicaría mayores problemas de funcionamiento, en cuanto al mantenimiento del sistema de tuberías y ductos se refiere.

2.2.- Fundamentos Teóricos

2.2.1.- Concreto Reforzado

El concreto es una mezcla de cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos que sin refuerzo presenta una alta resistencia a la compresión pero a su vez carece de resistencia a la tracción. La adición de acero de refuerzo a los miembros de concreto permite obtener un aumento de la resistencia a la tracción evitando de esta manera fallas frágiles, obteniendo así el llamado concreto reforzado, el cual será definido como el concreto estructural que presenta porcentajes mínimos de acero de refuerzo diseñado bajo la suposición de que los dos materiales actúan conjuntamente para resistir las solicitaciones a las cuales está sometido.

En el desarrollo de la teoría general de la resistencia a flexión de secciones de concreto reforzado se hacen cuatro suposiciones básicas, las cuales son:

- a. Las secciones planas antes de la flexión permanecen planas después de la flexión
- b. Se conoce la curva esfuerzo - deformación para el acero
- c. Se puede desprestigiar la resistencia a tensión del concreto
- d. Se conoce la curva esfuerzo – deformación para el concreto, que define la magnitud y distribución del esfuerzo a compresión.

La primera corresponde al principio de Bernoulli, que permite establecer que la deformación longitudinal en el concreto y en el acero es proporcional a su distancia al eje neutro.

La segunda suposición implica que se encuentran totalmente definidas las propiedades de esfuerzo – deformación del acero de refuerzo.

La tercera suposición parte del principio que cualquier esfuerzo a tensión del concreto generado debajo del eje neutro es pequeño al igual que su brazo de palanca

La cuarta suposición permite evaluar el verdadero comportamiento de la sección. Las deformaciones en el concreto comprimido son proporcionales a la distancia al eje neutro.

2.2.2 Resistencia de Miembros a flexión

Las vigas son elementos estructurales que transmiten cargas externas transversales que provocan momentos flexionantes y fuerzas cortantes en su longitud. ^[1]

2.2.2.1 Análisis de Secciones simplemente reforzadas

En la Figura se muestra una sección de concreto simplemente reforzada y sus correspondientes fuerzas resultantes.

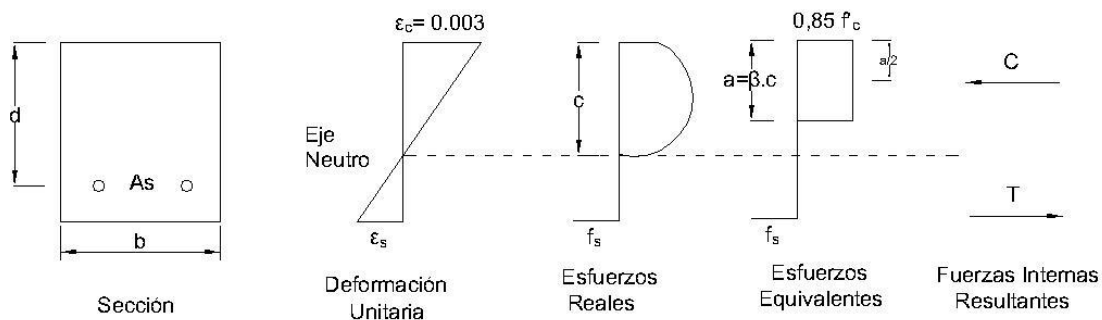


Figura 2.1.-Sección de concreto simplemente Reforzada cuando se alcanza la resistencia a Flexión. Fuente:
Estructuras de Concreto Reforzado. R. Park/T. Paulay
Fuente: Estructuras de Concreto Reforzado. R. Park/T. Paulay

Tracción:

$$T = A_s f_s$$

Donde:

T: Fuerza de Tracción

A_s : Área de acero de refuerzo en la zona a tracción

f_s : Tensión del acero

Compresión:

$$C = 0,85 f'_c a b$$

Donde:

C: Fuerza de Compresión.

f'_c : Resistencia especificada del concreto en compresión.

a: Profundidad o altura del bloque rectangular equivalente de tensiones.

La distancia entre las fuerzas internas resultantes viene dada por la siguiente expresión:

$$jd = d - \frac{a}{2}$$

Donde:

jd: Brazo de palanca interno

d: Distancia desde la fibra extrema de compresión al centroide del área de acero y se conoce como peralte efectivo

En consecuencia, se obtiene el momento de resistencia M_u , del producto de las fuerzas internas por el brazo de palanca interno

$$M_u = Tjd = Cjd$$

2.2.3 Tipos de Falla

2.2.3.1 Falla a tracción

Si el contenido de acero de la sección es bajo el acero alcanzará la resistencia de cedencia F_y antes que el concreto alcance su capacidad máxima. La fuerza del acero $A_s F_y$ permanece entonces constante a mayores cargas. La aplicación de una carga adicional a esta ocasionará una elongación plástica grande del acero a través de las grietas de flexión, lo que producirá un agrietamiento ancho y un aumento grande en la deformación en la fibra extrema a compresión del concreto. Debido a este aumento en la deformación, la distribución del esfuerzo en el concreto deja de ser lineal, lo que determina un aumento en el esfuerzo medio del bloque de esfuerzos de compresión, y una reducción en la profundidad del eje neutro puesto que se debe mantener el equilibrio de las fuerzas internas

La reducción de profundidad del eje neutro provoca un ligero aumento en el brazo de palanca y por tanto en el momento de resistencia. La resistencia a flexión de la sección se alcanza cuando la deformación en la fibra extrema a compresión del concreto es aproximadamente 0.003

Con un mayor aumento en la deformación, gradualmente se reduce el momento de resistencia y comienza el aplastamiento en la región comprimida del concreto.

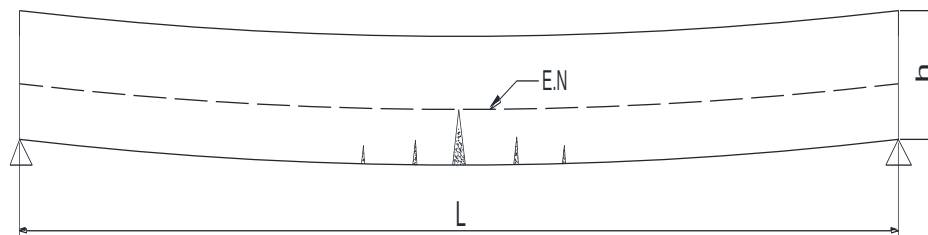


Figura 2.2.-Falla a tensión de tracción del Concreto. Fuente Propia

La falla a tracción se produce cuando $F_s = F_y$, siendo F_y la resistencia de cedencia del acero. Por equilibrio de Fuerzas:

$$C = T = 0,85 f'_c a b = A_s f_s a = \frac{A_s f_s}{0,85 f'_c b}$$

$$M_u = A_s F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_u = A_s F_y \left(d - 0,59 \frac{A_s F_y}{F'_c b} \right)$$

$$M_u = \rho b d^2 F_y \left(1 - 0,59 \frac{\rho F_y}{F'_c} \right)$$

$$M_u = b d^2 F'_c \omega \left(1 - 0,59 \omega \right)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b d} \omega = \rho \frac{F_y}{F'_c}$$

2.2.3.2 Falla a compresión:

Si el contenido de acero de la sección es grande, el concreto puede alcanzar su capacidad máxima antes de que ceda el acero. En tal caso aumenta considerablemente la profundidad del eje neutro, lo que provoca un aumento en la fuerza de compresión. Esto se compensa ligeramente por una reducción en el brazo de palanca. Nuevamente se alcanza la resistencia a flexión de la sección cuando la deformación en la fibra a compresión extrema del concreto es aproximadamente 0.003

Para una falla a compresión $F_s < F_y$ debido a que el acero permanece en rango elástico. Se puede determinar el esfuerzo del acero en términos de la profundidad del eje neutro mediante triángulos semejantes:

$$\frac{0,003}{\epsilon_s} = \frac{c}{d - c}$$

Despejando se obtiene la expresión:

$$\varepsilon_s = \frac{0,003 (d - c)}{c}$$

Si $F_s = \varepsilon_s E_s$; entonces:

$$F_s = 0,003 \frac{(d - c)}{c} E_s$$

Siendo $c = \frac{a}{\beta_1}$

$$F_s = 0,003 \frac{(\beta_1 d - a)}{a} E_s$$

Por equilibrio de fuerzas; $C = T$ y de las ecuaciones se obtiene:

$$0,85 f'_c a b = A_s f_s = 0,003 \frac{(\beta_1 d - a)}{a} E_s A_s$$

$$\left(\frac{0,85 F'_c}{0,003 E_s \rho} \right) a^2 + ad - \beta d^2 = 0$$

Se obtiene una ecuación de segundo grado de donde se puede obtener el valor de a, y de las ecuaciones se obtiene:

$$Mu = 0,85 F'_c a b \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

2.2.3.3 Falla Balanceada:

Para una cuantía específica de acero, se alcanza la resistencia de cedencia del acero F_y al mismo tiempo que se alcanza una deformación de la fibra extrema de 0,003. Si la deformación del acero es la de cedencia $\varepsilon_s = F_y / E_s$ se obtiene de los triángulos semejantes:

$$\frac{F_y / E_s}{0,003} = \frac{d - c_{bal}}{c_{bal}}$$

Donde:

C_{bal} : Profundidad del eje neutro para la condición balanceada

$$c_{bal} = \frac{0,003E_s}{0,003E_s + F_y} d$$

Siendo $c_{bal} = \frac{a_{bal}}{\beta_1}$

Donde:

a_{bal} : Altura del bloque equivalente de esfuerzos para la condición balanceada.

Por equilibrio de fuerzas; $C = T$ y de las ecuaciones se obtiene:

$$0,85f'_c a b = A_s f_s = \rho_{bal} b d F_y$$

Siendo $\rho_{bal} = \frac{A_s}{b d}$; la cuantía de acero para la condición balanceada.

De forma general, el tipo de falla que se produce depende de si la cuantía ρ es mayor o menor al ρ_{bal} . La figura muestra el perfil de deformación que se produce en una sección para diferentes cuantías de acero.

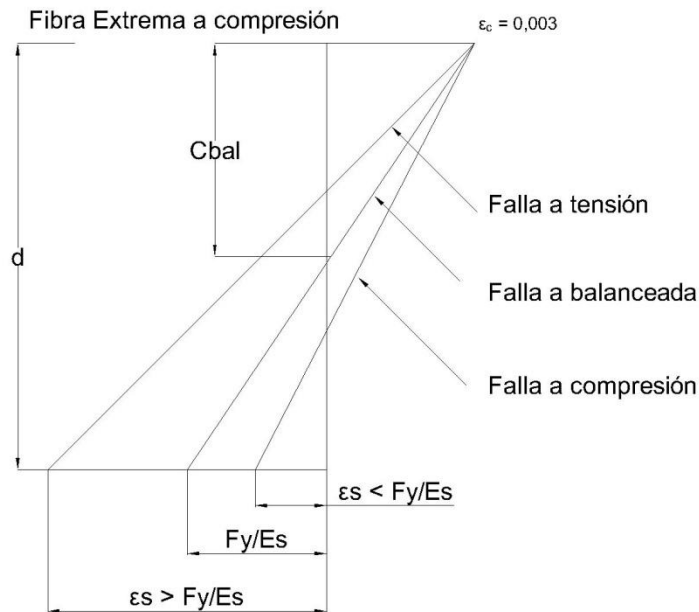


Figura2.3.- Perfiles de deformación en la resistencia a flexión de una sección. Fuente: Estructuras de Concreto Reforzado. R. Park/T. Paulay

De la figura se obtiene que:

- Cuando $\rho < \rho_{bal}$ la falla que se produce es a tracción
- Cuando $\rho > \rho_{bal}$ la falla que se produce es a compresión

2.2.4 Análisis de Secciones doblemente reforzadas

En la Figura se muestra una sección de concreto doblemente reforzada y sus correspondientes fuerzas resultantes.

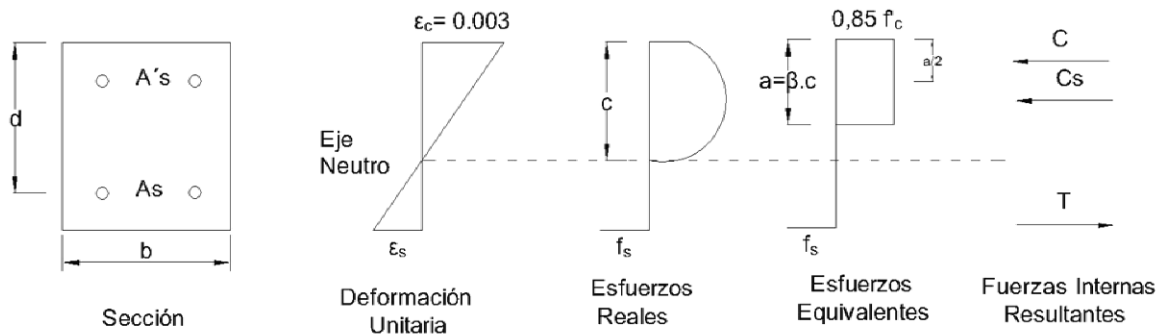


Figura 2.4.- Sección de concreto doblemente reforzada cuando se alcanza la resistencia a Flexión. Fuente: Estructuras de Concreto Reforzado. R. Park/T. Paulay

Por equilibrio de fuerzas se tiene que: $C_s + C_{cu} = T$

$$0.85 f'_c a b + A's F_y = A_s F_y = \frac{(A_s - A's) F_y}{0.85 f'_c b}$$

Del diagrama de deformaciones se obtiene mediante relación de triángulos la expresión que permite evaluar si el acero se encuentra en cedencia:

$$\epsilon'_s = \frac{0,003 (c - d')}{c}$$

Entonces:

- $F'_s = F_y$

$$Si \frac{0,003 (c - d')}{c} \geq \frac{F_y}{E_s}$$

- $F_s = F_y$

$$Si \frac{0,003 (d' - c)}{c} \geq \frac{F_y}{E_s}$$

En caso de que todo el acero se encuentre en cedencia, la expresión que permite determinar el momento último de resistencia vendrá dado por la siguiente expresión:

$$Mu = A'_s F_y (d - d') + 0,85 f'_c a b (d - \frac{a}{2})$$

En caso de que las ecuaciones anteriores demuestren que el acero no está en cedencia, el valor de la altura del bloque equivalente a , resulta ser erróneo, por lo que se calculará nuevamente a partir de los esfuerzos reales a los cuales estén sometidos los aceros.

$$a = \frac{(A_s F_s - A'_s F'_s)}{0,85 F'_c b}$$

Entonces:

$$Mu = A'_s F_s (d - d') + 0,85 F'_c a b (d - \frac{a}{2})$$

2.2.5 Comportamiento bajo cargas de servicio

2.2.5.1 Control de las deflexiones

El uso de concreto y acero de más altas resistencias ha permitido diseñar elementos estructurales más esbeltos. Además las estructuras de edificios modernos a menudo no tienen muros y particiones sustanciales, de manera que los elementos no estructurales pueden estar propensos al daño debido a las deformaciones de los miembros estructurales. En consecuencia, está adquiriendo mayor importancia el control de las deflexiones de los miembros a flexión bajo la carga de servicio.

La normativa venezolana establece que además que cumplir con el Estado Limite de Agotamiento Resistente, la estructura y sus componentes se proyectaran para que tengan la rigidez adecuada para limitar las flechas, deformaciones, vibraciones y fisuración que puedan afectar desfavorablemente la resistencia, el comportamiento en condiciones de servicio y la durabilidad para el uso previsto de la construcción.

Los efectos de las deflexiones son clasificadas bajo cuatro encabezados generales:

2.2.5.1.1 Aceptabilidad por los sentidos.

La aceptabilidad por los sentidos tiene a ser cuestión de juicio personal y depende en gran medida de la cultura social de los usuarios y del tipo de la estructura. Se incluyen entonces los efectos visuales, tales como vigas colgadas o voladizos inclinados, efectos táctiles tales como las vibraciones debidas a los efectos dinámicos de la carga viva o viento y efectos de audición, tales como los ruidos generados por las vibraciones.

2.2.5.1.2 Servicio de la estructura.

Los límites de servicio se relacionan con el uso a que se destina la estructura. Por ejemplo, la importancia de mantener pisos planos en superficies de techos que deben drenar agua, así como miembros que soporten equipos visibles.

2.2.5.1.3 Efecto de los elementos no estructurales.

Deben ser limitadas las deflexiones para impedir el agrietamiento, aplastamiento, formación de bostas u otros daños a elementos no estructurales, tales como muros, particiones y cielos rasos. Las deflexiones no deben impedir que los elementos móviles, tales como puertas y ventanas, dejen de operar adecuadamente.

2.2.5.1.4 Efecto en los miembros estructurales.

Puede necesitarse limitar las deflexiones para impedir que el comportamiento estructura sea distinto al supuesto en el diseño.

2.2.5.1.5 Método de control de las deflexiones

Es posible controlar las deflexiones asegurando que los miembros tengan suficiente rigidez para limitar las deformaciones bajo las cargas de servicio. Normalmente se consideran las deflexiones estructurales como desplazamientos verticales u horizontales de los miembros.

La norma Venezolana en su Capítulo 9, específicamente subsección 9.6.2 establece que las flechas calculadas, instantáneas o diferidas, no excederán los valores límites estipulados en la tabla mostrada a continuación.

Tipo de Miembro	Flecha a Considerar	Flechas Límites
Techos planos con pendiente mínima que no soportan ni están unidos a componentes no estructurales susceptibles de ser dañados por grandes flechas	Flecha instantánea debida a la carga variable	L/180
Pisos que no soportan ni están unidos a miembros no estructurales susceptibles de ser dañados por grandes flechas.		L/360
Techos planos con pendiente mínima o pisos que soportan o están unidos a componentes no estructurales susceptibles de ser dañados por grandes flechas.	Aquella parte de la flecha total que se produce después de colocar los componentes no estructurales (suma de la flecha a largo plazo debida a todas las cargas permanentes) y la flecha instantánea debida a cualquier carga variable adicional aplicada después de colocar los miembros no estructurales.	L/480
Techos planos con pendiente mínima o pisos que soportan o están unidos a componentes no estructurales no susceptibles de ser dañados por grandes flechas		L/240

Tabla 2.1.- Valores límites para flechas calculadas, instantáneas o diferidas. Fuente: Norma Venezolana 1753:2006 Proyecto y Construcción de obras en concreto estructural.

2.2.6.- Análisis de sección afectada por tuberías

a.- Caso 1.- Tubería en contacto con acero a compresión y $\phi_{tub} < \phi_{crit}$

En la figura se muestra una sección de concreto doblemente reforzada atravesada por una tubería de diámetro ϕ_{tub} . En este caso el diámetro de la tubería es tal que, no se ocupa la totalidad del bloque de esfuerzos equivalentes.

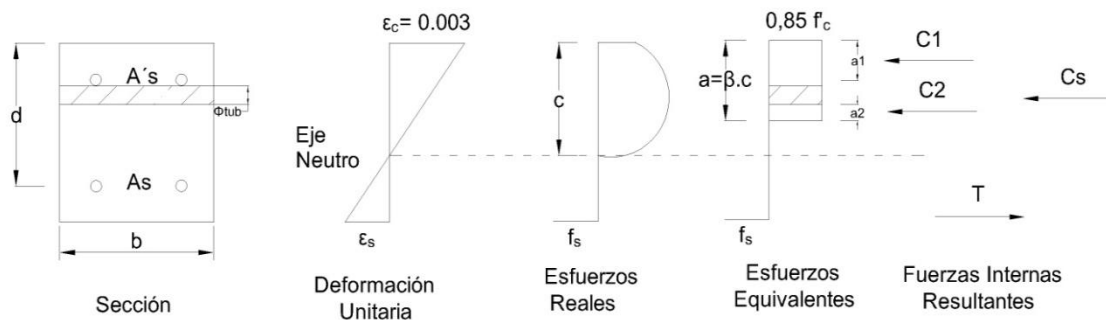


Figura 2.5.- Sección de concreto doblemente Reforzada afectada por tubería en caso 1.
Fuente Propia

$$\phi_{tub} < \phi_{crit}$$

$$\phi_{crit} = a_d - d' - \phi_{A's}$$

$$a_{crit} = a_d - \phi_{crit} = d' + \phi_{A's}$$

Donde:

ϕ_{tub} : Diámetro correspondiente a la tubería que atraviesa la sección

ϕ_{crit} : Diámetro mínimo de tubería que produce la reducción máxima de sección del bloque de esfuerzos.

a_{crit} : Altura del bloque de esfuerzos equivalente, que produce la reducción máxima de resistencia

a_d : Altura de diseño del bloque equivalente

d' : Recubrimiento superior

$\phi_{A's}$: Diámetro del acero de refuerzo a compresión

$$C_1 = 0,85F'_c a_1 b$$

$$C_2 = 0,85F'_c a_2 b$$

$$C_3 = A'_s F'_s$$

$$T = A_s F_s$$

Donde:

a_1 : altura del bloque de esfuerzo superior a_1

a_2 : altura del bloque de esfuerzo superior a_2

C_1 : Fuerza de Compresión resultante del bloque de esfuerzo superior a_1

C_2 : Fuerza de Compresión resultante del bloque de esfuerzo inferior a_2

Entonces:

$$M_u = 0,85F'_c b \left[\left(a_1 \left(d - \frac{a_1}{2} \right) \right) + a_2 \left(d - a_1 - \phi_{tub} - \frac{a_2}{2} \right) \right] + A'_s F'_s (d - d')$$

b.- Caso 2.- Tubería en contacto con acero a compresión y $\phi_{(tub)} \geq \phi_{crit}$

En la figura se muestra una sección de concreto doblemente reforzada atravesada por una tubería de diámetro ϕ_{tub} . En este caso el diámetro de la tubería es tal que, se ocupa la totalidad de la sección del bloque de esfuerzos equivalentes que se encuentra por debajo del acero de refuerzo a compresión.

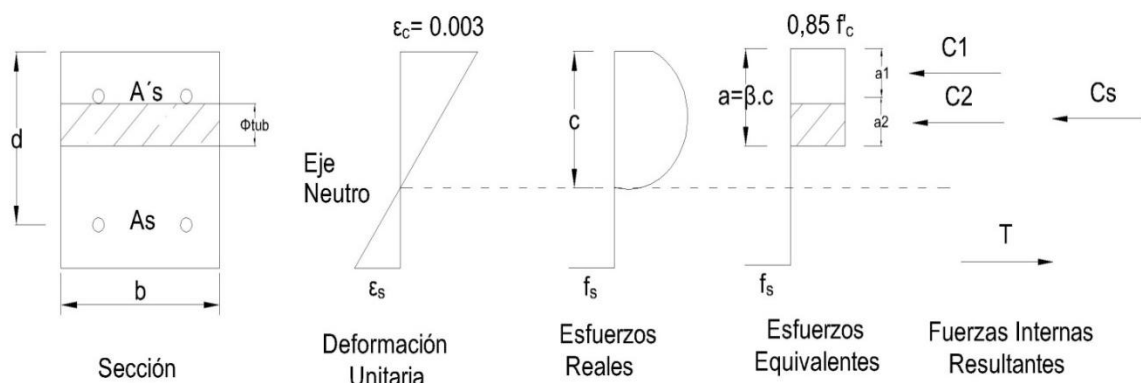


Figura 2.6.- Sección de concreto doblemente Reforzada afectada por tubería en caso 2.

Fuente Propia

$$\phi_{tub} \geq \phi_{crit}$$

$$\phi_{crit} = a_d - d' - \phi_{A's}$$

$$a_{crit} = a_d - \phi_{crit} = d' + \phi_{A's}$$

En este caso, el valor a_{crit} es conocido. Debido a que para este caso suponemos que la tubería se encuentra en contacto con el acero a compresión, la altura del bloque equivalente supera a la altura a_2 . Por lo tanto:

$$a_2 = 0$$

La profundidad del eje neutro cambia, generando nuevas tensiones en el acero de refuerzo de la sección.

$$C_{crit} = \frac{a_{crit}}{\beta_1}$$

Estados de los aceros de refuerzo:

$$F_s = \frac{\varepsilon_{cu}(d - C_{crit})E_s}{C_{crit}}$$

$$F'_s = \frac{\varepsilon_{cu}(C_{crit} - d')E_s}{C_{crit}}$$

Entonces:

$$M_u = 0,85 F'_c a_{crit} b \left(d - \frac{a_{crit}}{2} \right) + A'_s F'_s$$

2.2.7 Análisis mediante Elementos Finitos.

Actualmente los procedimientos de análisis mediante elementos finitos son utilizados con más frecuencia en análisis de carácter ingenieril y se espera que esta tendencia aumente con los años. Los procedimientos son empleados en el análisis de sólidos y estructuras y se espera que incursione en el análisis de otros campos de la ingeniería.

El desarrollo de métodos de elementos finitos para la solución de prácticas de la ingeniería comienza con el avance de la informática digital. La base de una solución mediante elementos finitos de un problema de ingeniería, es una serie de ecuaciones algebraicas de carácter complejo que solo pueden ser resueltas a través del uso de computadores

El análisis mediante elementos finitos fue desarrollado inicialmente en base a problemas de mecánica estructural. Sin embargo, se reconoció que la técnica podría ser aplicada igualmente para la solución de muchas otras clases de problemas.

El método de los elementos finitos puede llegar a ser un método matemático complejo, ya que uno de sus fundamentos está basado en la discretización de los cuerpos de estudio, y debido a la existencia de muchas divisiones se debe realizar una o más ecuaciones para representar el comportamiento de cada división del cuerpo.

Para poder emplear el método de análisis mediante elementos finitos se hacen las siguientes suposiciones.

- a. Una función continua bajo un dominio global, puede aproximarse por una serie de funciones operando bajo un numero finitos de pequeños subdominios. Estas funciones son continuas y pueden aproximarse a la solución exacta, así como el número de subdominios se aproxima infinitamente a la pieza de estudio.
- b. El dominio global del cuerpo está dividido en subdominios llamados Elementos.
- c. Los puntos que definen las uniones y conexiones entre los elementos son llamados nodos.

- d. Los elementos son especificados como uniones en sus nodos comunes y son asumidos de esta manera para ser agrupaciones continuas a lo largo de sus fronteras, y cualquier función que represente el comportamiento de este nodo, es asumida para ser igualmente continua en las fronteras.
- e. La función que existe bajo el dominio, es resuelta explícitamente para los nodos. Se asume que el valor de la función en cualquier punto interno puede ser definido en términos de variables nodales del elemento de estudio.
- f. Las variables nodales se refieren a los grados de libertad, los cuales son tres de desplazamiento y 3 rotaciones para el sistema de coordenadas cartesianas y este término, es aplicado específicamente para el análisis de esfuerzo, en el cual las variables en los nodos son deflexiones sufridas por la estructura.
- g. La colección completa de elementos representa una aproximación a los dominios de la geometría, y con ellos tener una gran exactitud de la pieza de estudio
- h. Los nodos se refieren a puntos para una evaluación de la función

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1.–Naturaleza de la Investigación

La presente fue de carácter experimental, exploratoria y descriptiva, en la cual se planteó evaluar el efecto de las tuberías que atraviesan a miembros de concreto estructural, evaluando el comportamiento mecánico de los miembros sometidos a ensayos de flexión.

3.2.– Población

La población estuvo conformada por un total de cinco (05) vigas de sección 25cm x 28cm y de longitud de 320cm reforzadas con la misma cuantía de acero y una resistencia del concreto a la compresión de 24.5 Mpa (250kgf/cm²)

3.3.– Muestra

La muestra estuvo conformada por tres (03) miembros elaborados, de los cuales, todos fueron sometidos al mismo tipo de ensayo.

3.4.–Recolección de Datos

Los datos experimentales reportados en la presente investigación fueron determinados mediante el uso de deformímetros analógicos y digitales, captados de forma audiovisual y electrónica

Los datos reportados mediante el análisis de elementos finitos fueron determinados mediante el uso del programa SAP 2000-15. Corresponde a la última actualización del programa de análisis

3.5.– Equipos de aplicación de carga

Máquina de Ensayo Universal Capacidad 100 Ton del Laboratorio de Materiales UCAB

3.6.–Variables en el ensayo

3.6.1.- Variables Dependientes

- Capacidad Máxima de vigas
- Deflexión al momento de la Cedencia del acero reportada en mm
- Deflexión al momento de la Carga Máxima reportada en mm

3.6.2.- Variables Independientes

- Carga aplicada al miembro reportada en kgf.
- Esfuerzo de Cedencia del Acero de Refuerzo reportada en kgf/cm^2 .
- Diámetro de las tuberías en los miembros

3.6.3.- Constantes

- Resistencia a la compresión del concreto reportada en MPa
- Cuantía de acero
- Velocidad de aplicación de la carga reportada en kgf/s

3.7.– Materiales utilizados. Propiedades y características. Dosificaciones

- **Concreto:**
Resistencia 24.8 Mpa

Cemento: Tipo I

- **Acero:** Acero de refuerzo estructural Grado S60 F' y 420MPa
 - **Acero Positivo:** 2 Φ 5/8"
 - **Acero Negativo:** 2 Φ 3/8"
 - **Estribos:** 3/8" separados cada 15cm

3.8.– Diseño Experimental

Se estableció un diseño experimental que permitiera evaluar, mediante la comparación de cargas máximas obtenidas, deflexiones registradas y observación del tipo de falla, el efecto de las tuberías en los miembros al aplicarse una carga puntual en el centro hasta que alcanzar la falla del elemento.

- **3.8.1 Ensayo Patrón.**

Tuvo como objetivo el estudio de las variables dependiente en probetas no afectadas por tuberías. Para esto fue ensayada una probeta patrón que permitió conocer el comportamiento mecánico de la misma. Para tal fin fue e aplicada una carga puntual en el centro de la luz libre del miembro y fue registrada la deflexión del miembro mediante la utilización de potenciómetro lineal en el centro de la luz libre y a 50cm de una de las caras del miembro.

- **3.8.2 Ensayo de Miembro Afectado por tuberías de diámetro 5 cm (2").**

Este ensayo se realizó con la finalidad de conocer el comportamiento mecánico del miembro atravesado por una (1) tubería de 5,08cm (2 pulgadas) mediante la determinación de la capacidad máxima de las vigas y las deflexiones en la probeta al momento de carga máxima.

- **3.8.3 Ensayo de Miembro Afectado por tuberías de diámetro 7 cm (3").**

Este ensayo se realizó con la finalidad de conocer el comportamiento mecánico del miembro atravesado por una (1) tubería de 7,62cm (3 pulgadas) mediante la determinación de la capacidad máxima de las vigas y las deflexiones en la probeta al momento de carga máxima.

3.9.- Fases de Ejecución

Definidas las propiedades de las probetas, el estudio fue llevado a cabo con base a siete (7) fases detalladas a continuación.

3.9.1.- Etapa Inicial: Elaboración de los miembros.

Encofrados:

Una vez definida las dimensiones de los miembros a utilizar, se procedió a la preparación y elaboración de los encofrados en madera. El proceso estuvo conformado por cinco (5) encofrados en madera de Pino.



Figura 3.1.-Elaboración de encofrados

Acero de Refuerzo:

Los aceros de refuerzo, tanto longitudinal como estribos, fueron preparados en el laboratorio de materiales, mediante la utilización de herramientas destinadas a este fin.

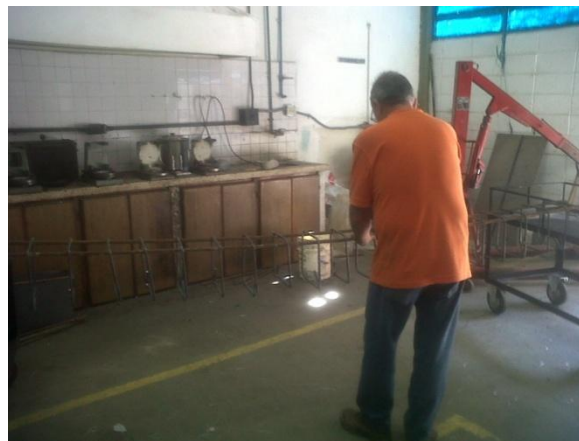


Figura 3.2.-Preparación y Armado de acero de refuerzo

Preparación de las tuberías:

Ya colocados los aceros de refuerzo en los encofrados, se realizó la colocación de las tuberías en el centro del miembro. Las tuberías fueron sujetadas para evitar su desplazamiento al momento del vaciado y vibrado



Figura 3.3.- Disposición de las tuberías en los especímenes

Vaciado de los especímenes:

El vaciado de los especímenes fue realizado en un solo día, con la finalidad de que la mezcla utilizada fuese la misma. El concreto fue obtenido de una empresa de premezclados, quien puso a la disposición los elementos necesarios para permitir el vaciado.

Los especímenes fueron desencofrados al cuarto día del vaciado, manteniéndolos en su ubicación de vaciado.



Figura 3.4.- Proceso de vaciado de los especímenes

Curado de los especímenes:

Los especímenes fueron curados durante 23 días continuos mediante riego en las instalaciones del laboratorio de materiales.



Figura 3.5.- Proceso de curado de los especímenes.

3.9.2 Soporte para ensayos:

Debido a que las dimensiones de las vigas no permitían hacer uso de los apoyos de la máquina, se procedió a elaborar un soporte que permitiese que esto fuese posible.

El elemento está conformado por dos perfiles de acero estructural ensamblados de manera tal que los apoyos descansaran en dicho elemento.



Figura 3.6- . Elaboración y colocación de base para ensayos

3.9.3.- Ensayo de los especímenes

La carga puntual fue aplicada mediante la utilización de elementos que forman parte del grupo de accesorios de la maquina universal del laboratorio de materiales. El primer ensayo realizado correspondió espécimen denominado miembro patrón.

El método de ensayo se hizo con base a lo establecido en la Norma Venezolana 343: Concreto, Determinación de la resistencia a la Flexión en vigas simplemente apoyadas cargadas en el centro del tramo, la cual contempla el método para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga aplicada en el centro del tramo, y que a su vez hace referencia a la norma 324:2004 sobre elaboración y curado de probetas en el laboratorio para ensayos a flexión.

El proceso de ensayo comenzó con la colocación del espécimen sobre la base para ensayos previamente colocada, el cual reposa sobre dos rodillos destinados para este tipo de ensayo. La viga fue colocada con ayuda de señoritas.



Figura 3.7.- *Especimen colocado sobre la base para ensayos/ Apoyo del espécimen*

Una vez ubicado el espécimen, se realizó la colocación de los instrumentos de medición, en el centro del tramo libre y a 50cm de la cara del miembro, para medir la deflexión del miembro.



Figura 3.8.- Colocación de deformímetros



Figura 3.9.- Colocación final de especímenes para ser ensayados

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANALISIS

4.1- Resultados

Para cada una de las probetas ensayadas fue observado un comportamiento similar caracterizado por un cambio de pendiente de la curva carga- deflexión partir del punto en que ocurre el agrietamiento de la sección.

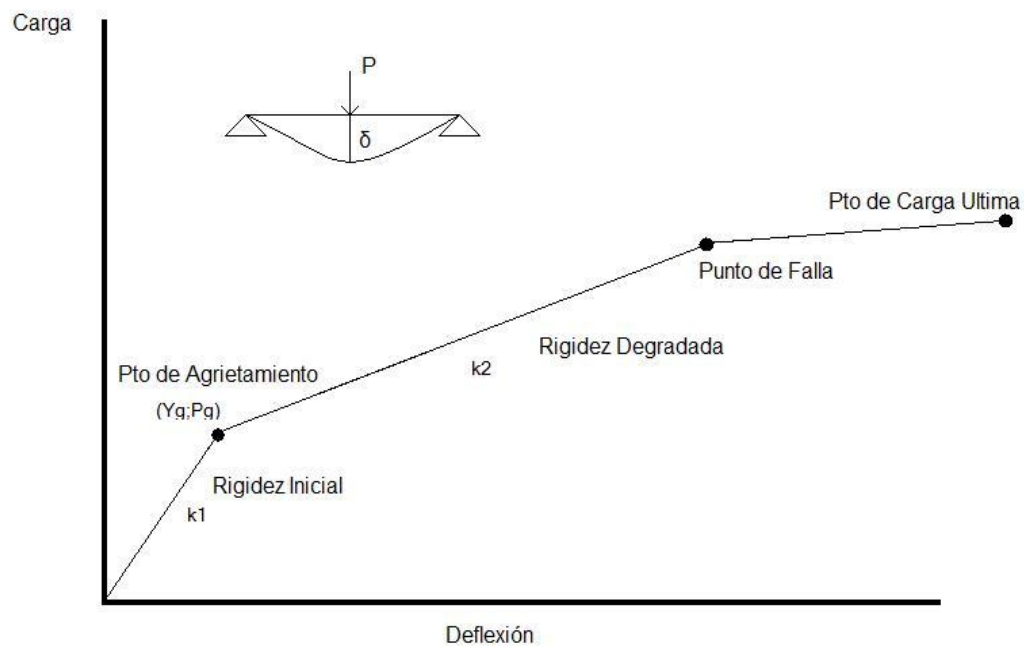


Figura 4.1.- Representación esquemática del comportamiento de las vigas ensayadas,
Fuente Propia

4.1.1.- Comportamiento mecánico de vigas atravesadas por tuberías, cuando son sometidas a tensiones de flexión, mediante ensayos de laboratorio.

4.1.1.1- Patrón M-1

La tabla 4.1, muestra de manera resumida los resultados obtenidos experimentalmente para la probeta patrón, correspondientes al punto de agrietamiento del espécimen y la carga de falla del mismo.

Variables	M-1
Carga de falla (Kgf)	7062
Deflexión de falla en el centro (mm)	12,502
Carga de agrietamiento (kgf)	2167
Deflexión de agrietamiento en el centro (mm)	1.664
Rigidez Inicial (kgf/mm)	1300
Rigidez Degradada (kgf/mm)	450

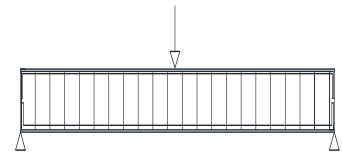
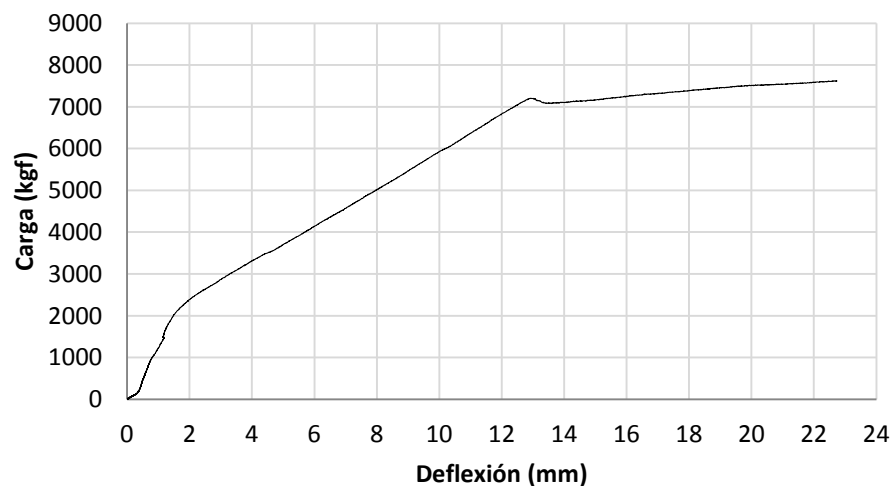


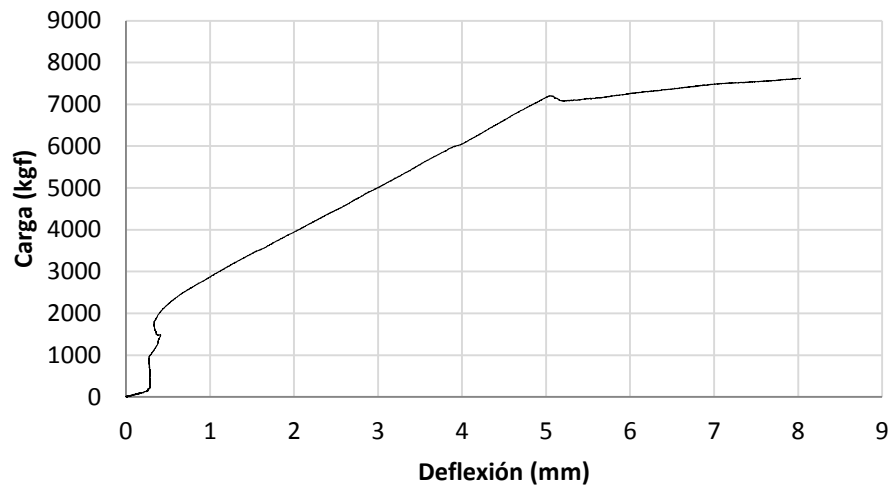
Tabla 4.1.- Resultados obtenidos. M-1

La probeta identificada como M-1 tuvo la finalidad de evaluar el comportamiento del espécimen no afectado por tuberías. Fue sometida a una carga puntual en el centro de la luz libre.



Gráfica 4.1.- Carga- Deflexión en el Centro. M-1

La Figura muestra el gráfico de Carga-Deflexión a 50cm de la cara del miembro, obtenidas para el espécimen ensayado.



Gráfica 4.2.- Carga- Deflexión a 50cm de la cara. M-1

4.1.1.2.- Especimen M-2

La tabla 4.2, muestra de manera resumida los resultados obtenidos experimentalmente para la probeta M-2, correspondiente al punto de agrietamiento del espécimen y la carga de falla del mismo.

Variables	M-2
Carga de falla (Kgf)	6324
Deflexión de falla en el centro (mm)	12,756
Carga de agrietamiento (kgf)	1823
Deflexión de agrietamiento en el centro (mm)	0.935
Rigidez Inicial (kgf/mm)	1949
Rigidez Degradada (kgf/mm)	382

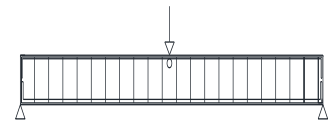
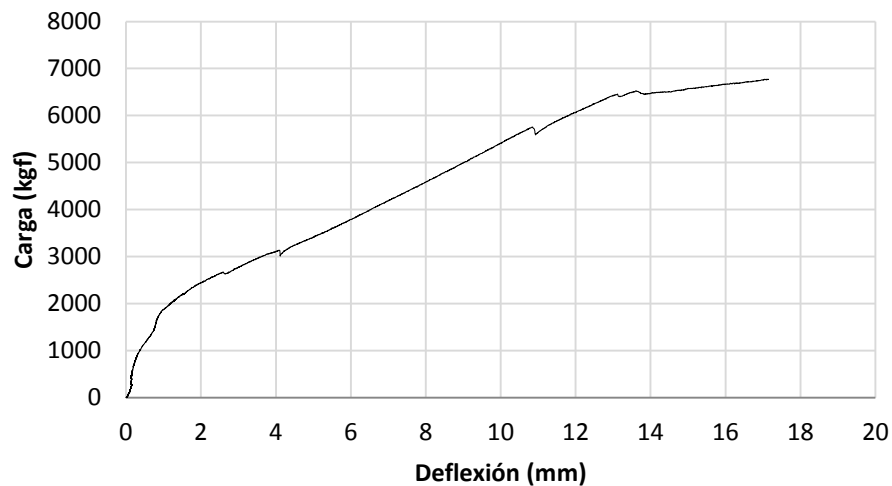


Tabla 4.2.- Resultados obtenidos. M-2

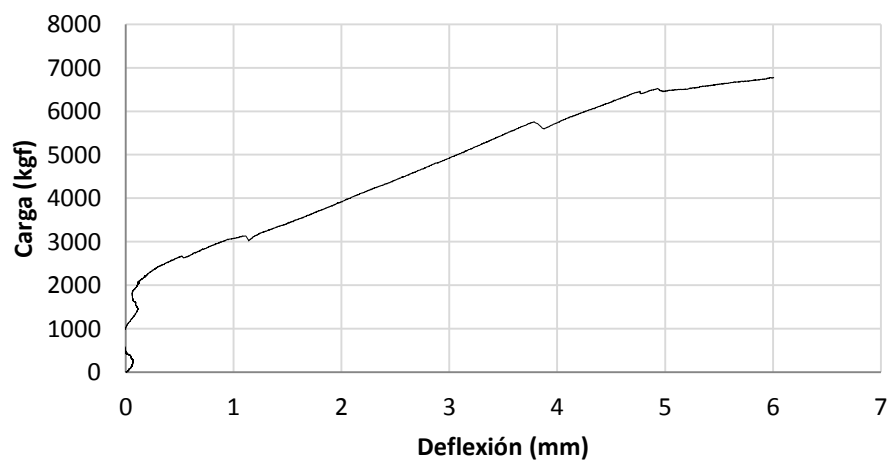
El espécimen, identificado como M-2, correspondiente al Nivel de Afectación 1, fue ensayado para determinar los resultados de las variables dependientes, al encontrarse afectado por una tubería de diámetro 2 pulgadas. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla a continuación:

La figura muestra el gráfico de Carga-Deflexión obtenido para el miembro M-2



Gráfica 4.3.- Carga-Deflexión en el Centro. M-2

La Figura muestra el gráfico de Carga-Deflexión a 50cm de la cara del miembro, obtenidas para el espécimen ensayado.



Gráfica 4.4.- Carga-Deflexión a 50cm de la cara. M-2

4.1.1.3.- Espécimen M-3

La tabla 4.3, muestra de manera resumida los resultados obtenidos experimentalmente para la probeta M-3, correspondiente al punto de agrietamiento del espécimen y la carga de falla del mismo.

Variables	M-3
Carga de falla (Kgf)	6846
Deflexión de falla en el centro (mm)	16,441
Carga de agrietamiento (kgf)	1843
Deflexión de agrietamiento en el centro (mm)	1,964
Rigidez Inicial (kgf/mm)	2547
Rigidez Degradada (kgf/mm)	971

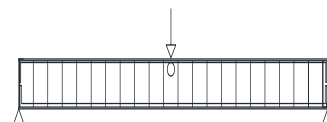
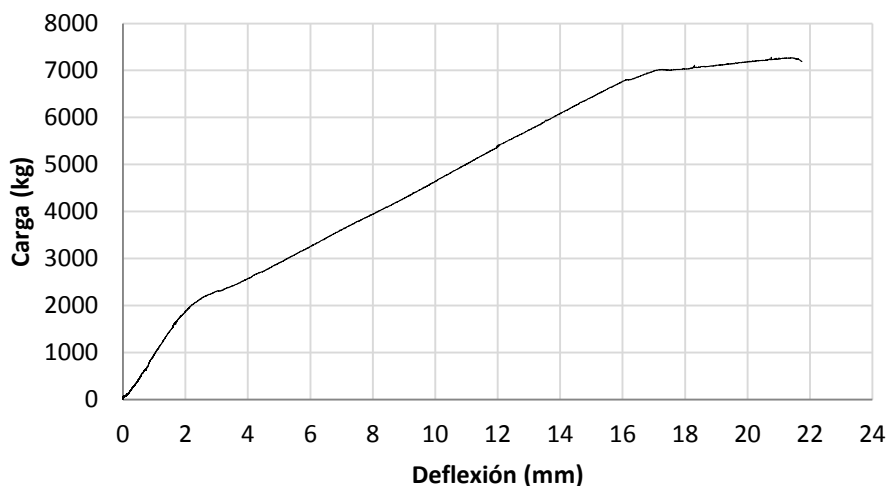


Tabla 4.3.- Resultados obtenidos del ensayo del espécimen M-3

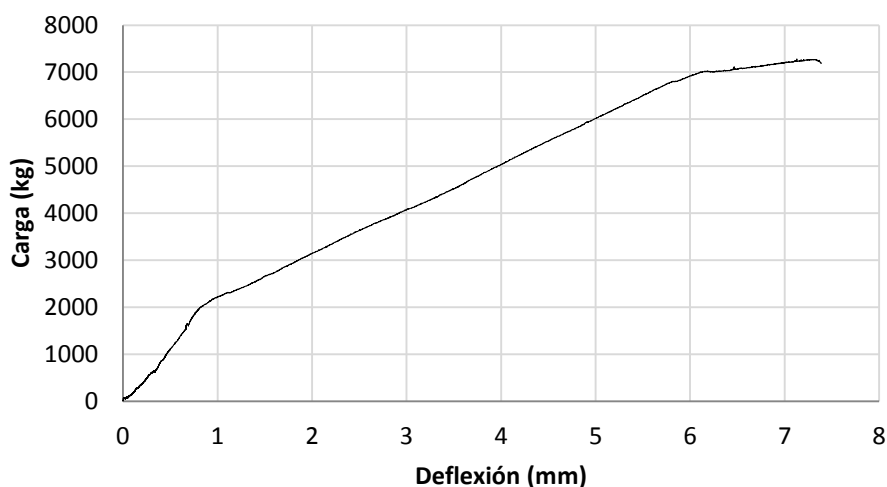
El espécimen, identificado como M-3, correspondiente al Nivel de Afectación 2 fue ensayado para determinar los resultados de las variables dependientes, al encontrarse afectado por una tubería de diámetro 3 pulgadas.

La Figura muestra el gráfico de Carga-Deflexión en el centro del miembro, obtenidas para el espécimen ensayado.



Gráfica 4.7.- Carga- Deflexión en el Centro. M-3

La Figura muestra el gráfico de Carga-Deflexión a 50cm de la cara del miembro, obtenidas para el espécimen ensayado.



Gráfica 4.8.- Carga vs. Deformación a 50cm de la cara. M-3

4.1.1.4.- Resumen General de Resultados Obtenidos.

La tabla a continuación muestra un cuadro resumen, en el cual se observan todos los resultados obtenidos luego de realizados los ensayos a las probetas.

Variables	M-1	M-2	M-3
Carga de Falla (Kgf)	7062	6324	6846
Deflexión de falla en el centro (mm)	12,502	12,756	16,44
Carga Ultima (Kgf)	7596	6738	7252
Deflexión ultima en el centro (mm)	22,331	16,906	20,762
Carga de agrietamiento (kgf)	2167	1823	1843
Deflexión de agrietamiento en el centro (mm)	1,664	0,935	1,964
Rigidez Inicial (kgf/mm)	1300	1949	2547
Rigidez Degradada (kgf/mm)	450	382	971

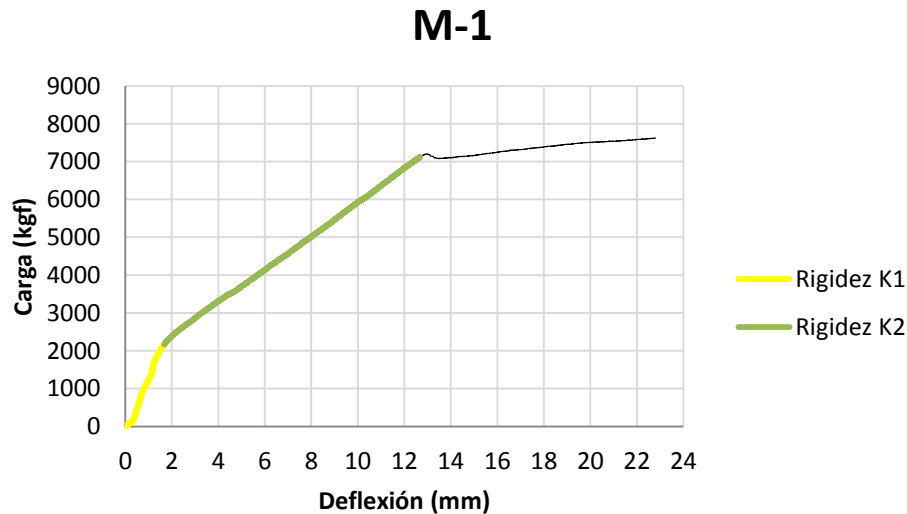
Tabla 4.4.- Resumen General de resultados obtenidos.

4.1.1.5 Análisis del comportamiento mecánico mediante ensayos de laboratorio.

4.1.1.5.1.- M-1

La probeta M-1 tuvo la finalidad de servir como elemento de referencia al no estar afectada por tuberías.

Para la probeta M-1, el gráfico de carga-deflexión mostró un comportamiento típico al de los miembros de concreto estructural sometidos a flexión. Consta de una zona elástica y un cambio en su comportamiento luego de aparecidas las primeras grietas. Dicho cambio de comportamiento está asociado a un cambio en la rigidez del espécimen.



Se observa en la gráfica tres comportamientos significativos. El primero, desde el inicio del ensayo hasta alcanzar la carga de agrietamiento de 2167kgf para una deflexión en el centro de 1.664mm. Este comportamiento inicial presentó una pendiente constante, que representa la rigidez inicial del espécimen.

Una vez alcanzado el punto de agrietamiento, ocurre un cambio en la pendiente de la curva, la cual define el segundo comportamiento, desde el punto de agrietamiento hasta la carga de falla del espécimen, la cual es de 7062kgf para una deflexión en el centro de 12,502mm.

La pendiente de la curva luego del agrietamiento corresponde a la rigidez degradada del espécimen.

La rigidez K1 representa la rigidez del espécimen antes del agrietamiento, la cual es de 1300 kgf/mm, mientras que la rigidez K2 representa la rigidez degradada del espécimen de 450 kgf/mm; lo que representa un decrecimiento de 65%

El tercero corresponde entonces a la zona de fluencia del espécimen, donde se alcanza la carga última. Dicha carga última de 7623kgf para una deflexión máxima en el centro de 22.809mm.

4.1.1.5.2.- M-2

El espécimen M-2 tuvo la finalidad de mostrar el comportamiento de la viga al estar atravesada por una tuberías de diámetro 5.08cm (2") en el centro de la luz a un altura de 23.5cm medios hasta el eje de la tubería.

Para la probeta M-2, el gráfico de carga-deflexión mostró un comportamiento típico al de los miembros de concreto estructural sometidos a flexión. Consta de una zona elástica y un cambio en su comportamiento luego de aparecidas las primeras grietas. Dicho cambio representa una variación en la rigidez del espécimen, la cual viene dada por la relación entre la carga aplicada y la deflexión obtenida.



Se observa en la gráfica tres comportamientos significativos durante el ensayo. El primero, desde el inicio del ensayo hasta alcanzar la carga de agrietamiento de 1823 kgf con una deflexión en el centro de la luz de 0,935 mm, que representa la carga en la cual ocurre un cambio en la inercia del espécimen debido a la aparición de grietas.

El segundo corresponde a la carga de falla del espécimen, la cual es de 6324 kgf para una deflexión en el centro de 12,756 mm.

A partir de este punto, el espécimen sigue presentando deflexiones sin que ocurra un aumento sustancial en la carga aplicada.

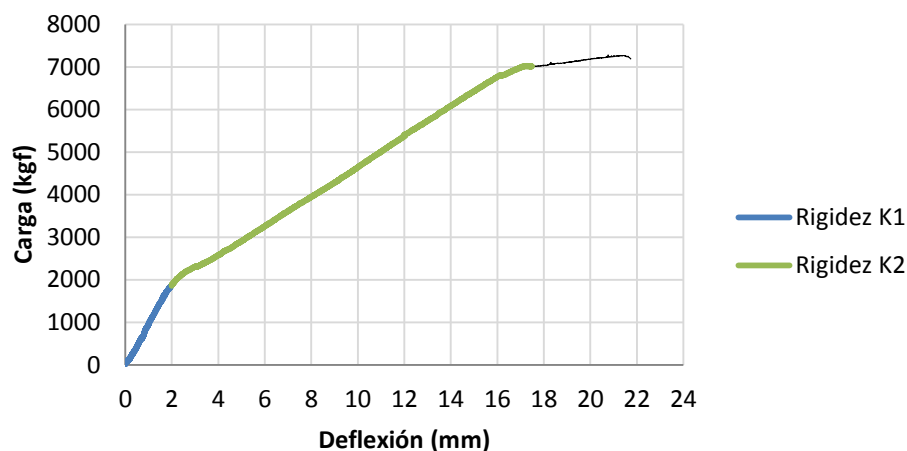
La rigidez K1 representa la rigidez del espécimen antes del agrietamiento, la cual es de 1949kgf/mm, mientras que la rigidez K2 representa la rigidez degradada del espécimen la cual es de 382 kgf/mm; para una degradación de 80.4%

4.1.1.5.3.- M-3

Este espécimen tuvo la finalidad de mostrar el comportamiento de una viga al estar afectados por tuberías de diámetro 7.62cm (3”).

Para la probeta M-3, el gráfico de carga-deflexión mostró un comportamiento similar a los ensayos anteriores, constando de una zona elástica y un cambio en su comportamiento luego de aparecidas las primeras grietas. que representa un cambio en la rigidez del espécimen, la cual viene dada por la relación entre la carga aplicada y la deflexión obtenida.

M-3



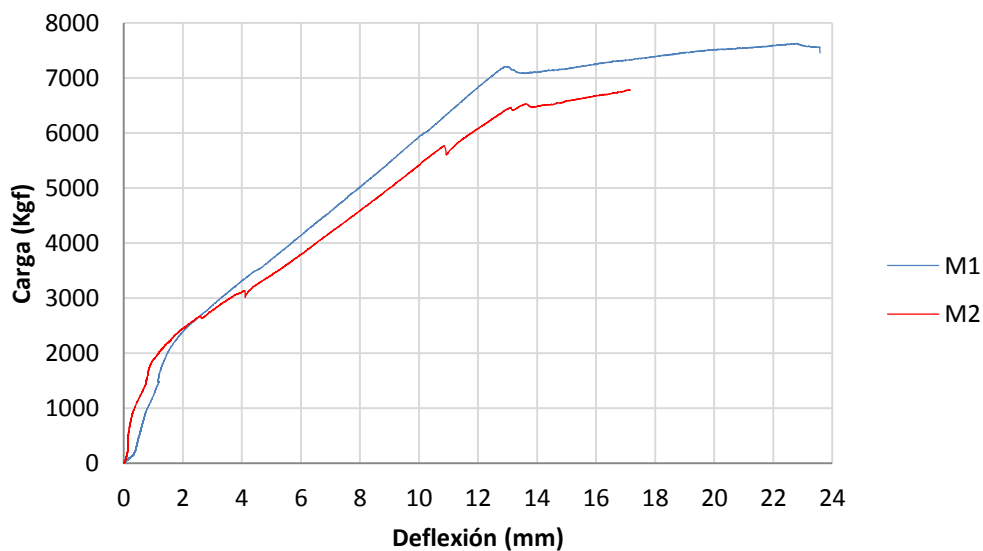
Se observa en la gráfica los tres comportamientos significativos durante el ensayo. El primero, desde el inicio del ensayo hasta alcanzar la carga de agrietamiento de 1843 kgf con una deflexión en el centro de la luz 1,964 mm, que representa la carga en la cual ocurre un cambio en la inercia del espécimen debido a la aparición de grietas.

El segundo comportamiento corresponde a la carga de falla del espécimen, la cual es de 6846 kgf para una deflexión en el centro de 16,440 mm. A partir de este punto, el espécimen sigue presentando deflexiones sin que ocurra un aumento sustancial en la carga aplicada.

La rigidez K1 representa la rigidez del espécimen antes del agrietamiento de 2547 kgf/mm, mientras que la rigidez K2 representa la rigidez degradada con una magnitud de 971 kgf/mm, para establecer una disminución de 62%

4.1.1.5.4.- Análisis comparativo entre probetas.

La gráfica presentada a continuación muestra la curva de carga- deflexión para los especímenes M1 y M2. Ambas presentan un comportamiento similar donde se observa un cambio de pendiente a partir del punto de inicio de agrietamiento de las probetas.



Gráfica 4.9.- Curva Carga – Deflexión Especímenes M1/M2

Un análisis comparativo permite determinar los cambios obtenidos en cuanto a carga de agrietamiento, carga de falla, rigidez inicial, rigidez degradada y deflexiones en los especímenes estudiados.

La carga de agrietamiento obtenida experimentalmente para el miembro patrón es de 2167kgf mientras que la obtenida para el miembro M2 es de 1823 kgf, lo que representa una disminución de la capacidad de carga de 15,87% para alcanzar el inicio del agrietamiento en el espécimen.

Para las cargas de agrietamiento obtenidas, las correspondientes deflexiones son de 1,664mm para la probeta patrón y 0,935mm para la probeta afectada. La deflexión de agrietamiento de la probeta afectada resulta ser 54% menor que la de la probeta patrón.

La rigidez antes del agrietamiento de la probeta patrón es de 1302 kgf/mm, mientras que la del espécimen M2 es de 1949 kgf/mm. El espécimen M2 mostro un incremento de 49.6% de con respecto a la probeta patrón. Este incremento se atribuye a los problemas presentados en cuanto a la diferencia que existía entre los especímenes.

Una vez alcanzado el punto de agrietamiento, se observa un cambio en la pendiente para ambas probetas. La rigidez degradada como consecuencia de la aparición de grietas los especímenes es de 450, kgf/mm para la probeta patrón y de 382kgf/mm para la probeta con nivel de afectación 1.

La disminución de la rigidez es de 15%. La rigidez a flexión EI de una viga corresponde al producto del módulo de elasticidad del concreto y la inercia de la sección. Al considerar que existe una disminución de la inercia de la sección debido al agrietamiento del espécimen, se puede afirmar que la presencia de la tubería con diámetro 5,08 cm (Nivel de Afectación 1) produce una disminución adicional en la inercia de la sección en el centro de la luz libre del vano.

Se observa en la Gráfica 4.15 que una vez que ambos especímenes se encuentran fisuradas, la carga necesaria para obtener una misma deflexión es menor.

Con relación a la carga de falla, para el espécimen patrón se obtuvo una carga de 7062 kgf mientras que para la probeta afectada la carga de falla es de 6324 kgf. La disminución en la resistencia a flexión del espécimen afectado resultó del de 10,5%.

Con base al análisis teórico puede ser observado que existe una pérdida en la capacidad de resistencia a flexión del espécimen afectado debido a la disminución de altura del bloque de esfuerzos equivalentes que se traduce en pérdida de la capacidad de resistencia a la compresión de la sección.

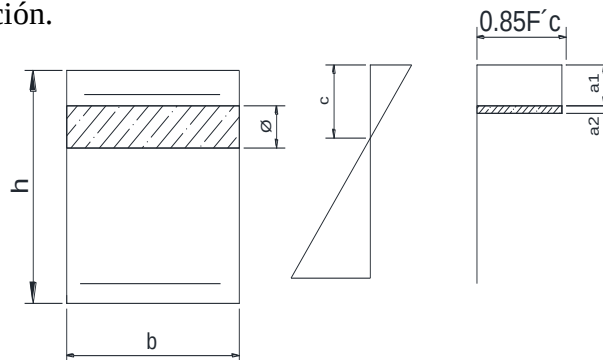
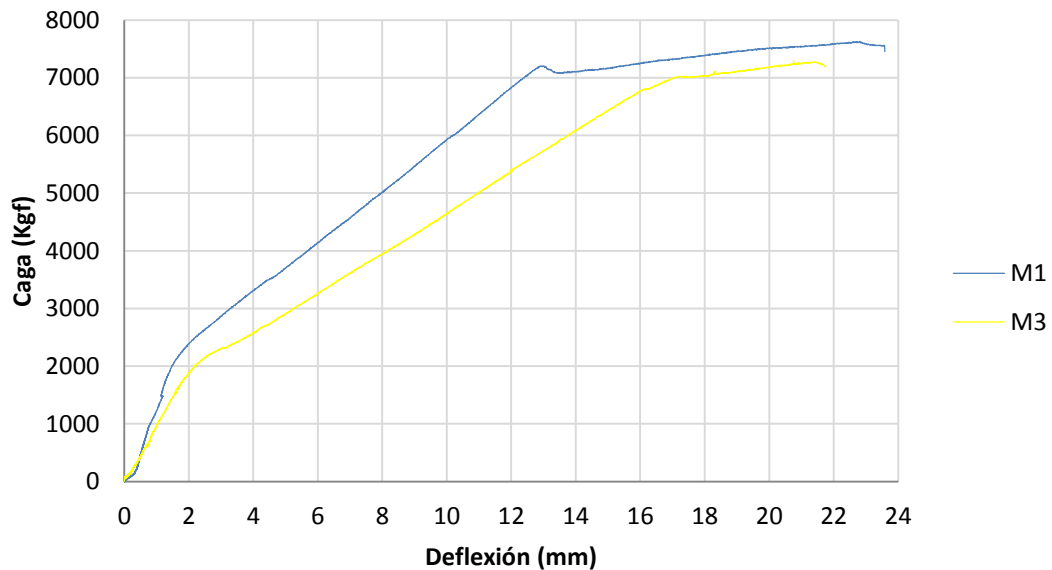


Figura 4.2.- Bloque equivalente de esfuerzos afectado por tuberías. Fuente Propia

De igual manera, se observa en el gráfico comparativo entre la probeta patrón M1 y la probeta M3 con Nivel de Afectación 2, que existe una pérdida en la capacidad de resistencia a flexión del miembro.



Gráfica 4.10.- Curva Carga – Deflexión Especímenes M1/M3

La carga de agrietamiento obtenida experimentalmente para el patrón fue de 2167 kgf mientras que la obtenida para el miembro M3 resultó 1843 kgf, lo que representa una disminución de 15%. Mientras para las cargas de agrietamiento, las deflexiones fueron 1,664 mm para la probeta patrón y 1,964 mm para la probeta afectada.

La rigidez antes del agrietamiento de la probeta patrón tuvo como magnitud 1302 kgf/mm, mientras que la del espécimen M3 fue de 938 kgf/mm. El espécimen M3 presentó menor rigidez que el miembro patrón.

Una vez alcanzado el punto de agrietamiento, fue observado un cambio en la pendiente para ambas probetas. La rigidez degradada como consecuencia de la aparición de grietas los especímenes fue 450, kgf/mm para la probeta patrón y de 346 kgf/mm para la probeta atravesada por una tubería con diámetro 7.68 cm . La disminución de la rigidez estuvo en el orden de 23%.

Al igual que en la probeta M2 con Nivel de Afectación 1, la probeta M3 presenta una disminución de la inercia de su sección en el centro de la luz libre, pero esta vez, por presentar un mayor diámetro de tubería, la inercia resulta ser evidentemente menor que la probeta M2 y por consiguiente que la del miembro patrón.

El análisis teórico aplicado con base a la figura 4.8 es aplicable para la probeta con Nivel de Afectación 2.

Se observa en el gráfico que una vez que ambas probetas se encuentran fisuradas, la carga necesaria para obtener una misma deflexión es menor. Con relación a la carga de falla, para el espécimen patrón se alcanzó una carga de 7062 kgf, mientras que para la probeta afectada fue 6846 kgf; lo que representa una disminución de 4%.

La variación de resultados entre las probetas M2 y M3 se debe a variaciones en la ejecución de ensayo en el laboratorio

4.1.2.- Comportamiento mecánico de vigas atravesadas por tuberías, cuando son sometidas a tensiones de flexión, mediante el método de Elementos Finitos.

El estudio fue realizado con base a dos modalidades, la primera, mediante el uso de elementos finitos, donde se simula un sólido de dimensiones iguales a las de las vigas elaboradas en el laboratorio, y la segunda, mediante la modalidad *Section Designer*.

Para el análisis mediante elementos finitos, se trabajó sobre un sólido con las siguientes características:

- Dimensiones: 25cm x 28cm x 320cm
- Dimensiones de los sólidos: 25cm x 4cm x 5cm
- Volumen de Sólidos (cm³): 500
- Área de Sección (cm²): 700 cm²
- Área de cara de Sólidos (cm²): 20
- Material: Concreto de $f'c = 24,5$ Mpa (250 kgf/cm²)

4.1.2.1.- Simulación: Viga Patrón.

La probeta patrón simulada tuvo la finalidad de evaluar el comportamiento del espécimen no afectado por tuberías. La figura 4.2 muestra la sección modelada mediante elementos finitos.

Especímen	Carga de Falla SAP (kgf)
M1	6568

Tabla 4.5.- Cargas de Falla en Especímenes M1 mediante elementos finitos.

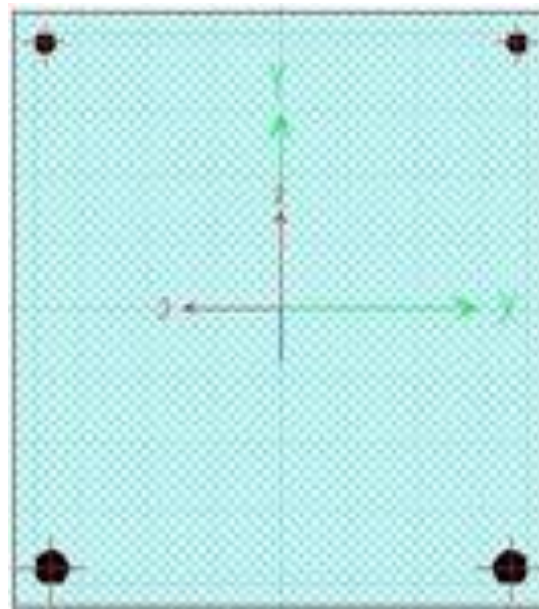
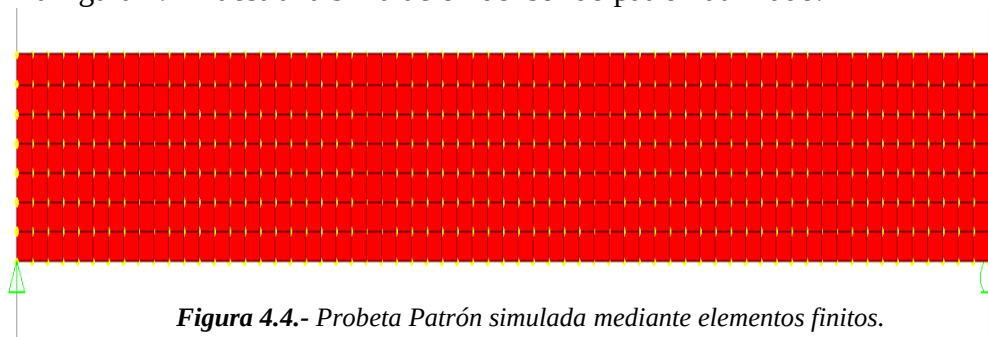


Figura 4.3.- Sección modelada mediante elementos finitos Fuente: Programa SAP 2000.

La figura 4.4 muestra la simulación del sólido patrón utilizado.



**Figura 4.4.- Probeta Patrón simulada mediante elementos finitos.
Fuente: Programa SAP 2000**

El análisis mediante elementos finitos permite obtener los datos necesarios para graficar la curva Momento- Curvatura, la cual puede ser representada como una curva Carga- Curvatura de la sección analizada.

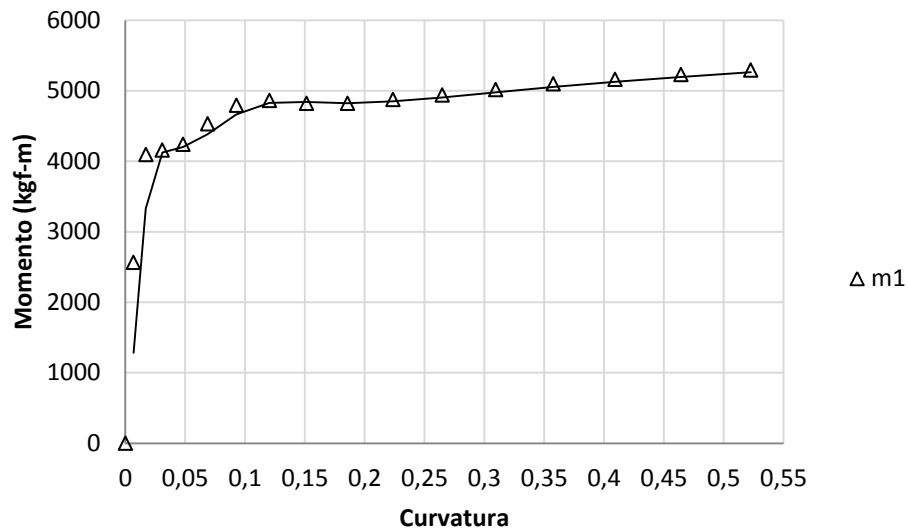


Gráfico 4.11.- Momento- Curvatura de la sección patrón simulada.

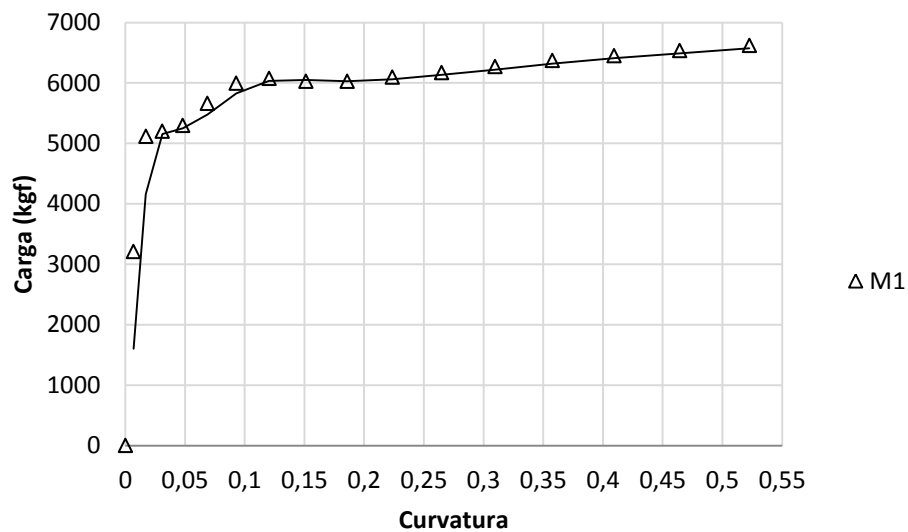


Gráfico 4.12.- Carga- Curvatura de la sección patrón simulada.

4.1.2.2.- Simulación: Nivel de Afectación 1.

La probeta simulada tuvo la finalidad de evaluar el comportamiento del espécimen con Nivel de Afectación 1. La figura 4.4 muestra la sección modelada mediante elementos finitos.

Especímen	Carga de Falla SAP (kgf)
M2	5243

Tabla 4.6.- Cargas de Falla en Especímenes M2 mediante elementos finitos.

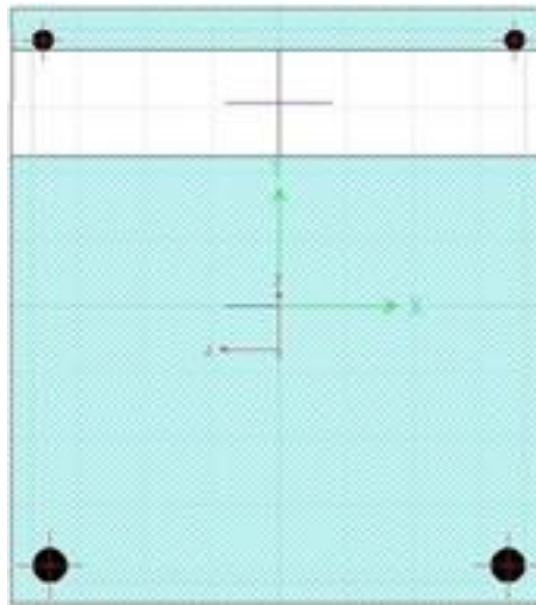


Figura 4.5.- Sección afectada modelada mediante elementos finitos. Nivel de Afectación 1.

La figura 4.6 muestra la simulación del sólido con Nivel de Afectación 1 utilizado

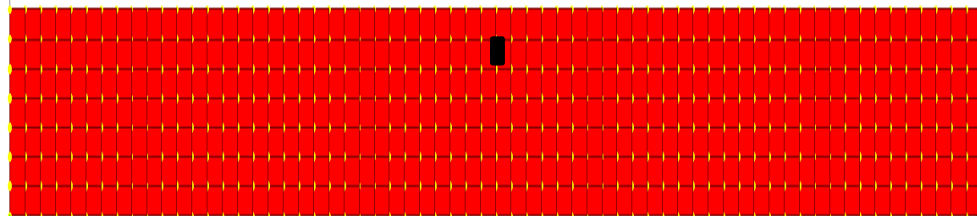


Figura 4.6.- Probeta afectada simulada mediante elementos finitos. Nivel de Afectación 1
Fuente: Programa SAP 2000

La probeta con nivel de afectación 1 simulada tuvo la finalidad de evaluar el comportamiento del espécimen afectado por una tubería de diámetro 5.08cm (2”).

El análisis mediante elementos finitos permite obtener los datos necesarios para graficar la curva Momento- Curvatura, la cual puede ser representada como una curva Carga- Curvatura de la sección analizada.

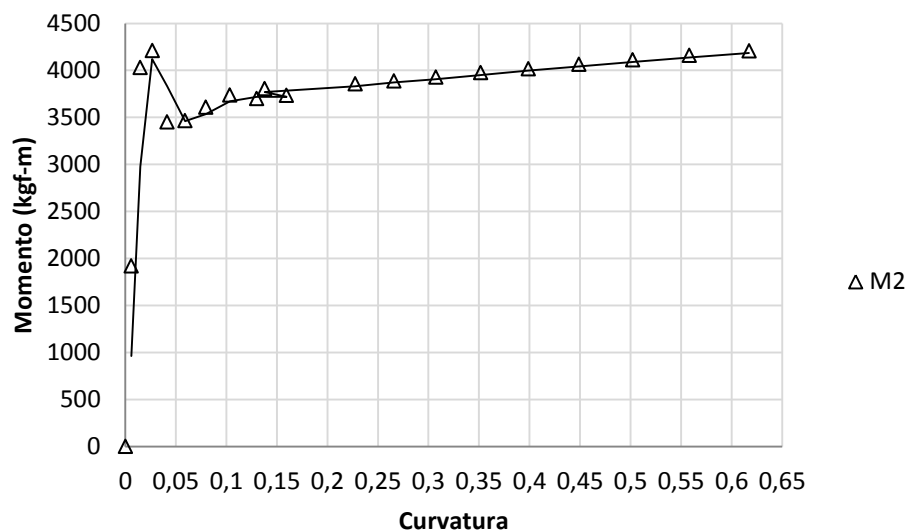


Gráfico 4.13.- Momento- Curvatura de la sección simulada. Nivel de afectación 1

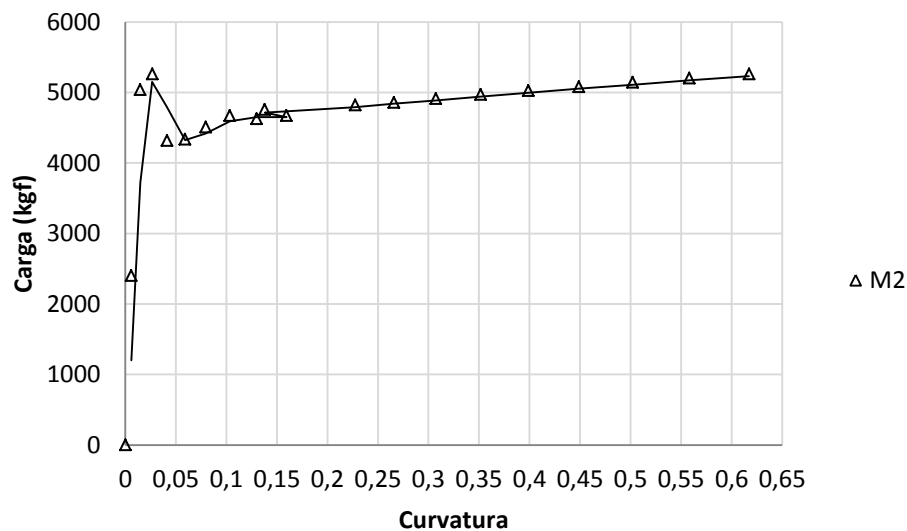


Gráfico 4.14.- Carga- Curvatura de la sección simulada. Nivel de afectación 1

4.1.2.3.- Simulación de Nivel de Afectación 2.

La probeta simulada tuvo la finalidad de evaluar el comportamiento del espécimen con Nivel de Afectación 2. La figura 4.6 muestra la sección modelada mediante elementos finitos.

Especímen	Carga de Falla SAP (kgf)
M3	5225

Tabla 4.7.- Cargas de Falla en Especímenes M3 mediante elementos finitos.

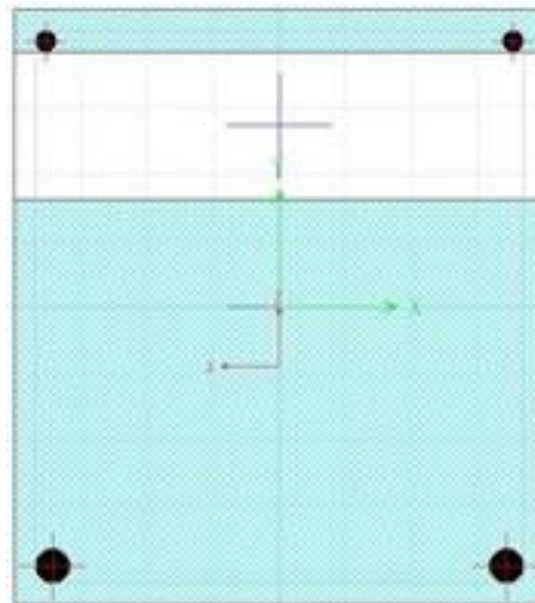


Figura 4.7.- Sección afectada modelada mediante elementos finitos. Nivel de Afectación 2.

La figura 4.8 muestra la simulación del sólido patrón utilizado para el análisis mediante elementos finitos

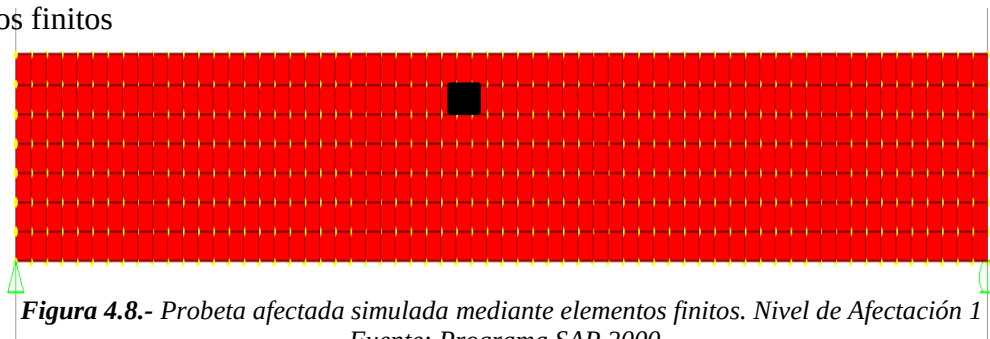


Figura 4.8.- Probeta afectada simulada mediante elementos finitos. Nivel de Afectación 1
Fuente: Programa SAP 2000

La probeta con nivel de afectación 2 simulada tuvo la finalidad de evaluar el comportamiento del espécimen afectado por una tubería de diámetro 7.68cm (3”).

A continuación se muestran los gráficos momento- curvatura y carga- curvatura obtenidos a través del análisis de elementos finitos.

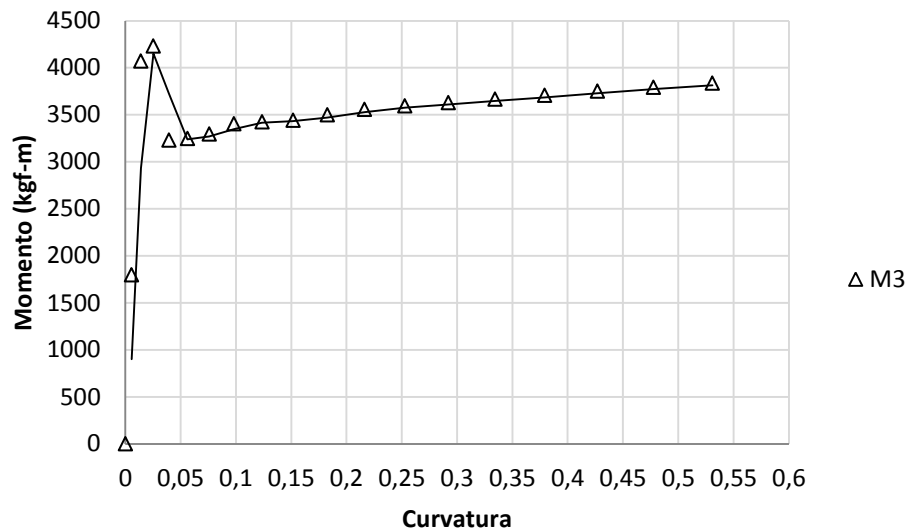


Gráfico 4.15.- Momento- Curvatura de la sección simulada. Nivel de afectación 2

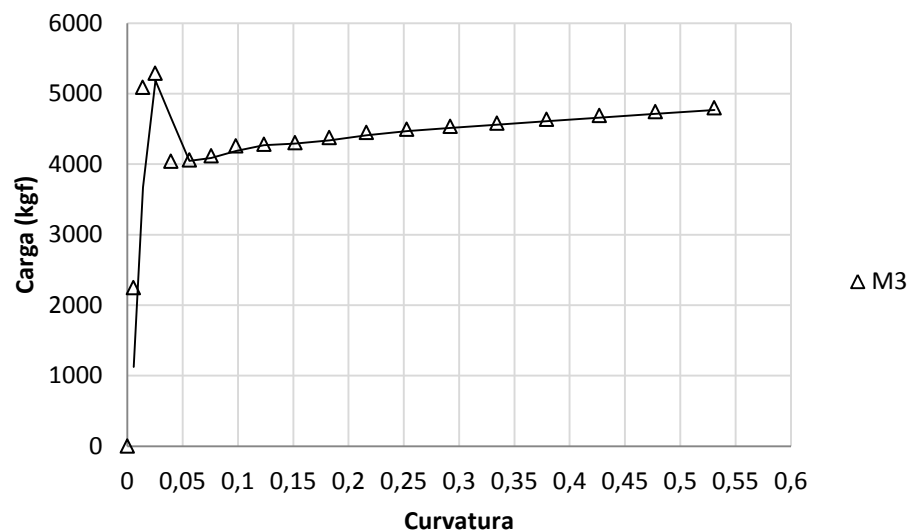


Gráfico 4.16.- Carga- Curvatura de la sección simulada. Nivel de afectación 2

4.1.2.4 Análisis del comportamiento mecánico mediante elementos finitos.

4.1.2.3.1.- Viga Patrón.

La simulación de la viga patrón tuvo como finalidad obtener los resultados correspondientes al comportamiento mecánico de una viga de condiciones iguales al miembro patrón M1, al ser analizado mediante elementos finitos.

Dichos resultados se expresan en un gráfico momento- curvatura, de donde se puede obtener la carga correspondiente a cada uno de los momentos obtenidos mediante análisis estático.

En La viga patrón simulada, se observa que el gráfico carga- curvatura obtenido presenta dos comportamientos; el primero desde el punto donde no hay carga aplicada hasta una carga de 5100 kgf. A partir de este punto se evidencia un cambio brusco en la pendiente de la curva hasta que es alcanzado el punto de falla del espécimen.

Debido a que existe una relación directa entre la curvatura de un miembro sometido a flexión y la rigidez a flexión EI , se observa que el cambio de pendiente observado en el gráfico momento- curvatura es el resultado del cambio de rigidez que presenta el espécimen señalado.

. Una vez alcanzado el punto de agrietamiento, el cambio de pendiente correspondiente a la rigidez degradada se mantiene constante hasta que se alcanza la carga de falla. Se obtiene que el espécimen presentó una carga de falla de 6568 kgf.

.

4.1.2.3.2 Nivel de Afectación 1 (Tubería de diámetro 5,08 cm)

Se observa un primer comportamiento, caracterizado por ser lineal hasta la carga de 5200 kgf. Una vez alcanzada, se observa una caída, hasta alcanzar 4200 kgf. A partir de este punto el comportamiento comienza a ser proporcional, donde un aumento en la carga evidencia aumento en la curvatura.

La caída de en la capacidad de carga se entiende como una pérdida de resistencia en la transición, entre el cambio de inercia original de la sección y la agrietada, debido al reacomodo de las fibras internas.

La carga de falla es 5243 kgf, mientras la del espécimen patrón es 6568 kgf, lo que representa una disminución de 20%. Dicha pérdida de resistencia se entiende como el resultado de la disminución de inercia de la sección en el centro de la luz libre del espécimen. De igual manera se interpreta como una reducción de la altura del bloque de esfuerzos equivalentes de la sección.

4.1.2.3.3.- Nivel de Afectación 2 (Tubería de diámetro 7,62 cm)

Se observa un comportamiento, caracterizado por ser lineal hasta alcanzar la carga de 5200 kgf, a partir de la cual se observa una disminución hasta alcanzar 4000 kgf. A partir de este punto el comportamiento comienza a mantener la proporcionalidad directa entre carga y curvatura.

La caída de en la capacidad de carga se entiende como una pérdida de resistencia en la transición entre el cambio de inercia inicial y la inercia agrietada.

La carga de falla del espécimen es de 5225 kgf, mientras que la patrón es de 6568 kgf, lo que representa una disminución de 20%. Dicha pérdida de resistencia se entiende como el resultado de la disminución de inercia de la sección en el centro de la luz libre del espécimen. De igual manera se interpreta como una reducción de la altura del bloque de esfuerzos equivalentes de la sección.

4.1.2.3.4.- Análisis comparativo entre probetas.

La gráfica muestra la curva de carga- curvatura para los especímenes M1 y M2 analizados mediante elementos finitos. Ambas muestran un comportamiento similar, presentando un cambio de pendiente a partir del punto de inicio de agrietamiento.

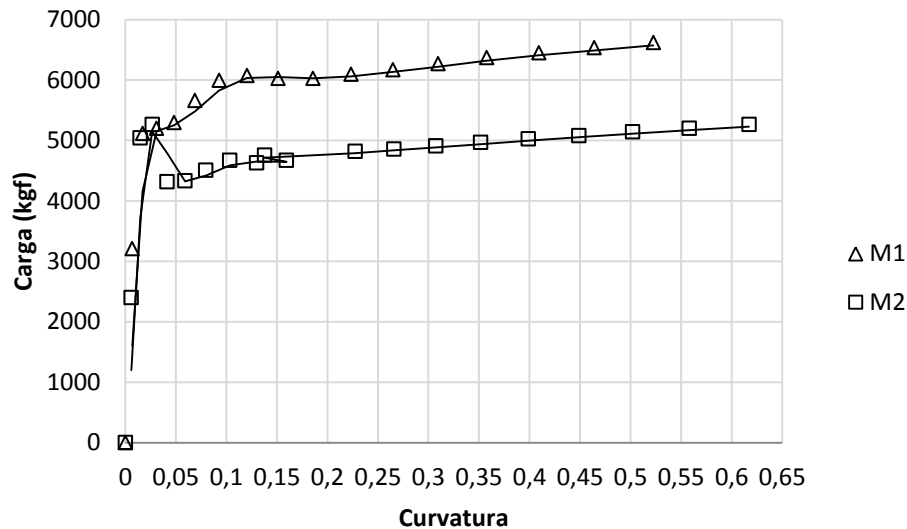


Gráfico 4.17.- Curva Carga –Curvatura Especímenes M1/M2

Se observa que para el comportamiento hasta la aparición de grieta, las rigideces del miembro son despreciables. Esto demuestra que el análisis mediante elementos finitos considera que la presencia de tubería con diámetro 5,08 cm no afecta al espécimen. Una vez alcanzada la carga de agrietamiento se aprecia una separación entre las curvas producto de la variación de inercia debido a la formación de grietas.

La carga de falla del espécimen patrón es de 6568 kgf mientras que la obtenida para el espécimen con Nivel de Afectación 1 es de 5243 kgf lo que representa una disminución de 20%.

De igual manera, se observa en el gráfico entre la probeta patrón M1 y la probeta M3 con Nivel de Afectación 2, que existe una pérdida en la capacidad de resistencia a flexión del miembro.

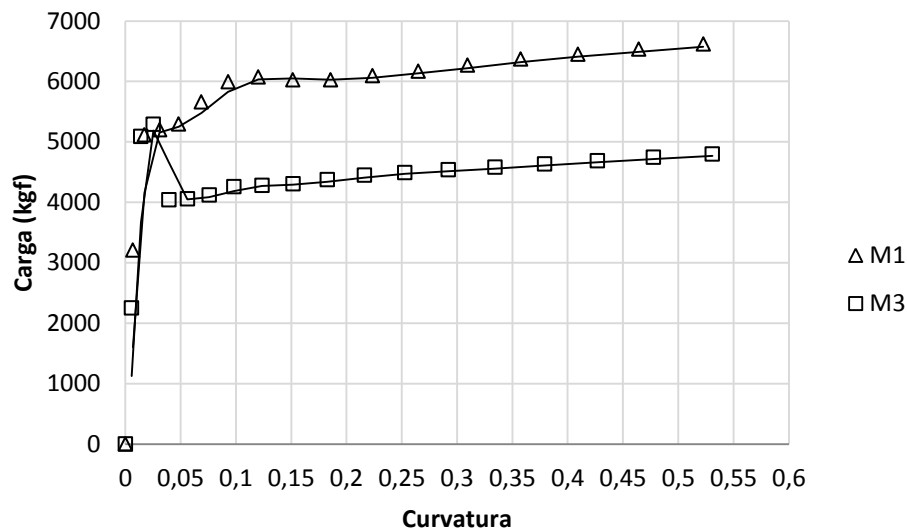


Gráfico 4.18.- Curva Carga –Curvatura Especímenes M1/M3

Al igual que en el gráfico comparativo entre las probetas M1 y M2 se observó que para el comportamiento inicial el cambio en las rigideces del miembro es muy pequeño. Esto demuestra que el análisis mediante elementos finitos considera que al no presentarse agrietamiento en el espécimen, la tubería no afecta considerablemente al espécimen. Una vez alcanzada la carga de agrietamiento se aprecia una separación considerable entre las curvas producto de la disminución de inercia adicional que produce la presencia de la tubería.

La carga de falla del espécimen patrón es de 6568 kgf mientras que la obtenida para el espécimen con Nivel de Afectación 2 es de 5225 kgf lo que representa una disminución de 20% como se mencionó.

4.1.3 Análisis comparativo entre las respuestas obtenidas al evaluar el comportamiento de vigas atravesadas por tuberías, mediante el método de Elementos Finitos y los resultados obtenidos con base a ensayos de laboratorio

La tabla que se muestra a continuación muestra los diferentes casos de estudio, que se utilizaron para valorar y puntualizar los resultados.

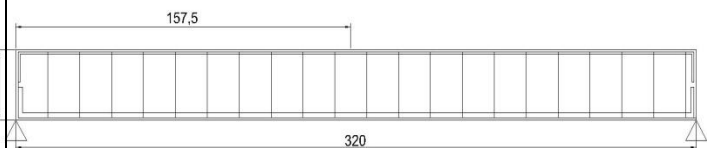
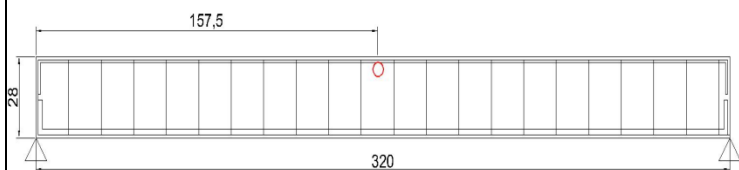
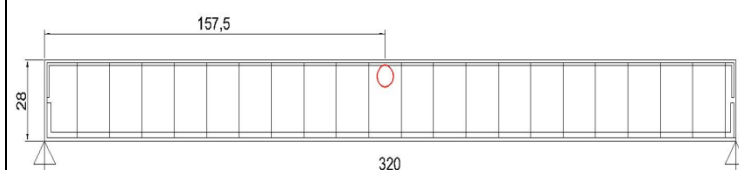
Probeta	Esquema	Descripción
M-1		Espécimen no afectado por Tuberías
M-2		Nivel de Afectación 1. Especímenes afectados por Tuberías de dos (2) pulgadas
M-3		Nivel de Afectación 2. Especímenes afectados por Tuberías de tres (3) pulgadas

Tabla 4.8.- Esquema descriptivo de las probetas analizadas. Fuente: Propia

Se obtuvieron las cargas de falla de los especímenes de forma experimental, teórica y mediante el análisis de elementos finitos. La tabla 4.9 muestra un resumen general de las cargas de falla obtenidas para cada espécimen.

Especímen	Carga de Falla Experimental (kgf)	Carga de Falla Teórica (kgf)	Carga de Falla SAP (kgf)
M1	7062	5753	6568
M2	6324	5381	5243
M3	6846	5381	5225

Tabla 4.9.-Resumen de Cargas de Falla en Especímenes M1/M2/M3.

El análisis experimental, permitió determinar el comportamiento de la curva carga-deflexión de la viga patrón y de los especímenes afectados. La carga de falla determinada para la viga patrón experimentalmente es 7062 kgf mientras que para los miembros con nivel de Afectación 1 y Nivel de Afectación 2 fue de 6324 kg y 6846 kgf respectivamente. Las disminuciones en la resistencia a flexión de los especímenes fueron de 10.5% para la viga con Nivel de Afectación 1 y de 4% para la viga con Nivel de Afectación 2.

El análisis mediante elementos finitos, permitió determinar el comportamiento de la curva carga- curvatura de la viga patrón simulada y de los especímenes afectados. La carga de falla determinada para la viga patrón mediante el análisis de elementos finitos es de 6568 kgf mientras que la obtenida para el sólido con nivel de afectación 1 fue de 5243 y para Nivel de Afectación 2 fue de 5225 kgf lo que representa una disminución de la capacidad de carga de aproximadamente de 20%.

El análisis comparativo permitió observar que existe una clara diferencia entre los resultados obtenidos experimentalmente y mediante el análisis mediante elementos finitos debido a la incorporación de factores de minoración que se aplican en las ecuaciones utilizadas en el análisis mediante elementos finitos.

Las cargas de falla obtenidas mediante elementos finitos muestran ser menores que las obtenidas experimentalmente, aunque los porcentajes de disminución de capacidad de carga mediante elementos finitos es mayor.

La tabla 4.10 muestra los porcentajes de diferencia de los resultados obtenidos mediante los dos métodos.

Especímen	Carga de Falla Experimental (kgf)	Carga de Falla SAP (kgf)	Porcentaje de Diferencia
M1	7062	6568	7%
M2	6324	5243	17%
M3	6846	5225	24%

Tabla 4.10.-Porcentajes de Diferencia entre los métodos de análisis empleados.

Los porcentajes de diferencia demuestran que los valores mediante análisis experimental son mayores que los obtenidos mediante el análisis de elementos finitos. Esto se debe a el análisis mediante elemento finitos afecta los resultados del análisis mediante una serie de factores de reducción que permiten considerar valores menores a los que se obtienen en la realidad como una manera de garantizar seguridad al momento del diseño estructural.

La figura 4.9 permite observar el comportamiento de la sección tanto como resultado experimental como sustentado de forma teórica. Se observa que existe un comportamiento común, caracterizado por la disminución en la capacidad de resistencia de los especímenes afectados.

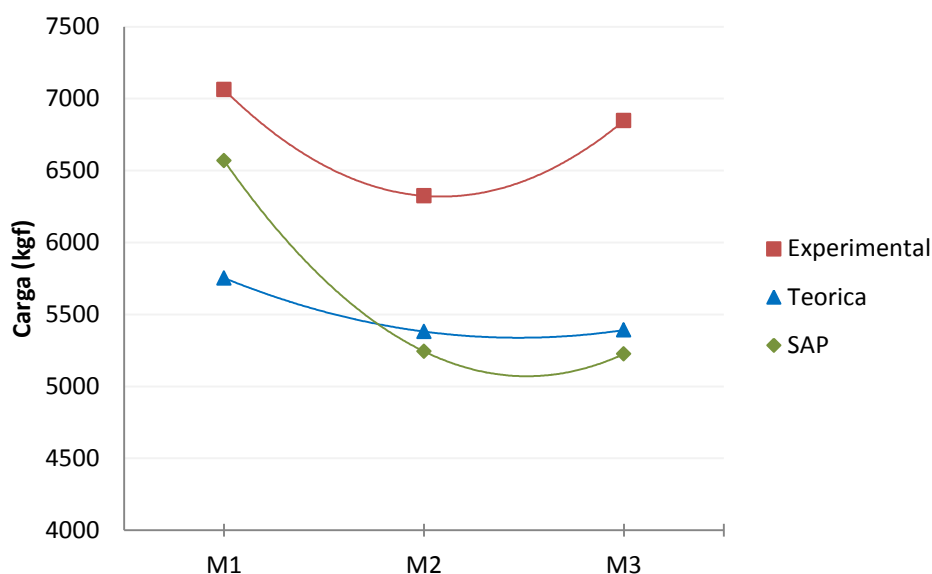


Figura 4.9.- Comparación de carga teórica vs. Carga experimental de falla.

4.1.4.- Análisis del comportamiento de deflexiones obtenidas experimentalmente.

Con relación al comportamiento de las deflexiones en las probetas, se observa que existe un aumento en la flecha de falla de las probetas a medida que aumenta el nivel de afectación.

Teóricamente, las deflexiones provocadas por las cargas de servicio pueden ser calculadas utilizando las ecuaciones acostumbradas para la teoría elástica de las deflexiones.

La deflexión central de una viga simplemente apoyada, de longitud L y rigidez EI a flexión, transmitida por una carga puntual aplicada en el centro de la luz libre viene dada por la siguiente expresión.

$$y = \frac{PL^3}{48EI}$$

Donde:

y : Flecha en el centro del vano

P : Carga Aplicada

L : Longitud de la viga

EI : Rigidez a flexión

La rigidez a flexión EI de la sección viene dada por el producto del módulo de elasticidad del concreto y la inercia de la sección. La tabla mostrada a continuación muestra los valores teóricos de Módulo de Elasticidad e Inercia sin agrietar de la probeta patrón M1.

Muestra	E (kgf/cm ²)	I (cm ⁴)	EI
M1	238751.963	45733.3333	10918923124

Tabla 4.11.- Módulo de Elasticidad; Inercia Probeta M1

El momento de inercia luego de alcanzada la carga de agrietamiento, depende de la cantidad de grietas que hayan aparecido en el miembro. El procedimiento de cálculo del momento de inercia efectivo, permite obtener una transición entre los límites superior e inferior de la inercia bruta y la inercia agrietada I_{cr} .

La tabla mostrada a continuación muestra los valores teóricos Inercia Agrietada de la probeta patrón M1.

Muestra	E (kgf/cm ²)	I _{cr} (cm ⁴)	EI _{cr}
M1	238751.963	17433.987	4162398667

Tabla 4.12.- Módulo de Elasticidad; Inercia Agrietada Probeta M1

De los resultados teóricos obtenidos, se observa que la inercia agrietada representa el 38% de la inercia original de la sección.

La tabla mostrada contiene los valores de deflexión obtenidos tanto teórica como experimentalmente.

Especímen	Deflexión de Falla Experimental (mm)	Deflexión de Falla Teórica (mm)
M1	12.5	11.5

Tabla 4.13.- Resumen de deflexiones de falla teórica y experimental

El momento de inercia de la sección se reduce por el agrietamiento, especialmente para secciones ligeramente reforzadas. Si a la reducción de la inercia debido al agrietamiento se le adiciona la pérdida de sección que produce la tubería, entonces el valor de la inercia resultante se hace cada vez más pequeño.

La disminución de la inercia debido a la pérdida de sección que genera la tubería, tiene como consecuencia la disminución de la rigidez EI. Esta afirmación conlleva a que la evaluación de la expresión e.1 de cómo resultado flechas mayores a las que se obtienen de una sección no afectada.

De ser así, se observara como para una misma carga a evaluar, el valor de la deflexión en el centro de la luz libre será mayor a medida que el diámetro de la tubería aumenta.

Esto se evidencia experimentalmente, donde luego de ocurrido el agrietamiento se observa que para una misma carga aplicada la deflexión es mayor en los miembros afectados.

La gráfica 4.17 muestra la curva carga- deflexión obtenida experimentalmente para cada una de las probetas ensayadas. Adicionalmente muestra una recta vertical que representa el límite normativo establecido para flechas instantáneas por cargas variables. El límite corresponde a la relación entre la longitud del espécimen y un valor de 360.

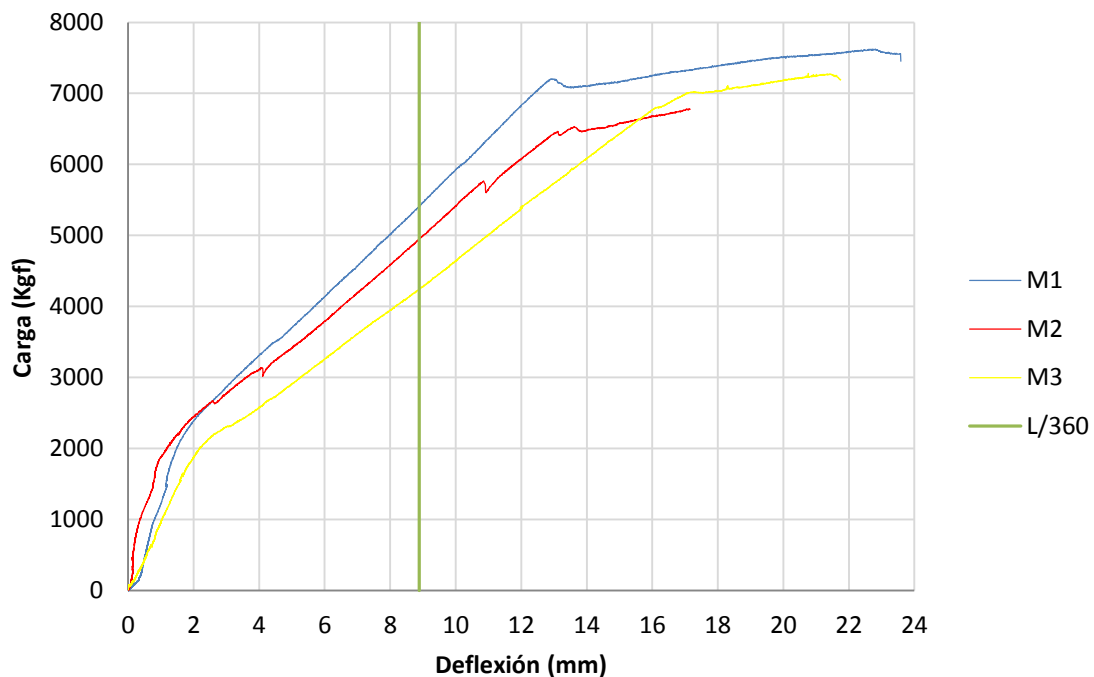


Gráfico 4.19.- Curva Carga –Deflexión M1/M2/M3. Límite de Flecha Normativo

El valor de la flecha límite obtenido es de 8,891 mm. Se observó que para los especímenes afectados la carga que se obtiene es menor que la obtenida por el patrón.

La capacidad de carga en el patrón, para una deflexión de 8,891 mm es de 5413 kgf, mientras que para los especímenes afectados es de 4957 kgf y 4594 kgf para M2 y M3 respectivamente. Esto representa una disminución en la capacidad de carga de 8,4% para el espécimen M2 y de 15% para el espécimen M3, con respecto al patrón.

De manera análoga, al determinar la deflexión que genera una carga de 5413 kgf, obtenemos que para el espécimen con Nivel de Afectación 1 la deflexión es de 10,024 mm y para el espécimen con Nivel de Afectación 2, la deflexión es de 12,036mm lo que representa un aumento en la flecha de 11% para el espécimen M2 y de 26% para el espécimen M3.

Se observó entonces una disminución en la capacidad de carga para una misma deflexión, y un aumento en la flecha para una misma carga solicitada. Esta variación es el resultado de la presencia de la tubería en la sección debido al cambio de inercia que esta produce sobre el espécimen.

La gráfica mostrada a continuación permite observar el comportamiento experimental de la deflexión de falla de las probetas. Se observa que el comportamiento indica un aumento en la deflexión a medida que el nivel de afectación es mayor.

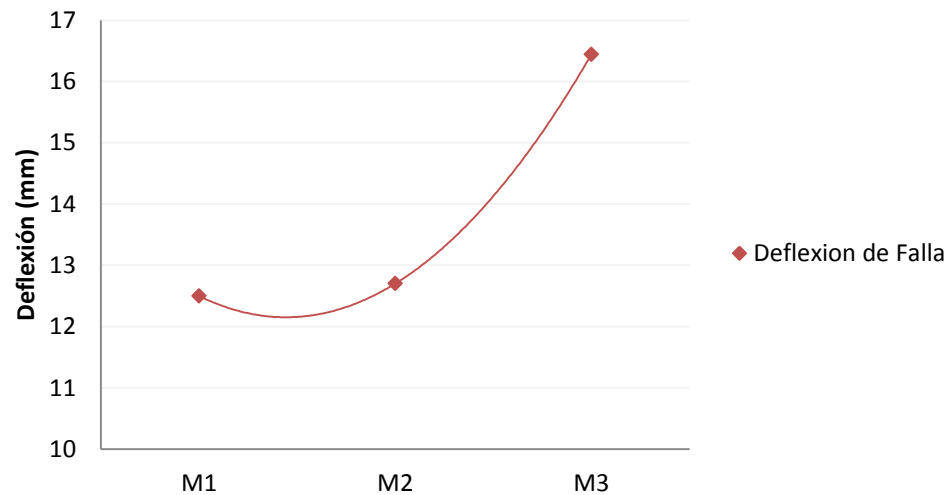


Figura 4.10.- Comportamiento de Deflexiones Experimentales.

En consecuencia, los especímenes afectados presentaron menor resistencia a flexión que el miembro patrón. De igual manera, se aprecia un aumento en la deflexión en el centro de la luz libre de las probetas al momento de la falla.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- Conclusiones

El argumento teórico desarrollado, con respecto al efecto que genera en cuanto a pérdida de resistencia a flexión, demuestra que efectivamente existe una pérdida de resistencia en los miembros afectados.

Se observa que si la tubería se encuentra ubicada en el lecho superior del miembro, tendrá como consecuencia una disminución de la altura de bloque de esfuerzo equivalente, ocasionando una pérdida de capacidad a compresión aportada por el concreto y que esta pérdida no suele ser considerada en el diseño estructural, sin embargo, el efecto de la disminución de altura del bloque dependerá del porcentaje ocupado por la tubería que atraviesa el elemento

Del análisis experimental se obtienen un conjunto de resultados que son de gran importancia para entender el comportamiento mecánico de vigas de concreto estructural afectadas por tuberías.

Las rigideces degradadas en los especímenes disminuyen a medida que el diámetro de la tubería se hace mayor, como consecuencia del aumento del agrietamiento de la sección ocasionado por la reducción de inercia que produce la presencia de la tubería.

Se presentaron reducciones en la rigidez degradada del miembro con respecto al patrón hasta un 23%, como resultado de la presencia de una tubería de diámetro 7,62 cm en el centro de la luz libre, en la zona del lecho superior se la sección.

Se observa que la disminución de capacidad de carga para el miembro con nivel de afectación 1 es de 10% con respecto a la patrón, mientras que para el espécimen con nivel de afectación 2 es de 4%. La razón de este comportamiento atípico, es atribuible a las condiciones del espécimen, los cuales presentaban diferencias debido a problemas al momento del vaciado, como quedó expuesto en el punto 1.4 Alcances y Limitaciones.

Desde el punto de vista experimental, un aumento de diámetro de la tubería en 33% significa una disminución de 4% en la carga resistida y una aumento de 22% en la deflexión de falla

Se concluye mediante el análisis experimental que existe una disminución en la resistencia a flexión para miembros afectados y que dichos miembros presentan flechas mayores a la del patrón.

Por otra parte, mediante el análisis de elementos finitos se observó que los especímenes muestran un comportamiento similar al determinado mediante los ensayos.

Las comparaciones entre probetas demuestran que existe una disminución en la rigidez degradada debido a la presencia de tuberías en la sección de hasta 20% para tuberías de diámetro 7,02 cm.

La carga de falla del espécimen determinada mediante método de elementos finitos, presenta una reducción en la resistencia a flexión de hasta 20% como consecuencia de la presencia de una tubería de diámetro 7,62 cm.

Ahora bien, al ser utilizados métodos de análisis mediante elementos finitos, ocurre que al aumentar el diámetro de la tubería en un mismo porcentaje, la carga resistida presenta una disminución de 1%.

En conclusión, el análisis mediante elementos finitos muestra, al igual que los especímenes evaluados experimentalmente, que existe una reducción en la resistencia a flexión para miembros afectados.

Se observan diferencias entre los resultados obtenidos experimentalmente y los resultados obtenidos mediante el análisis de elementos finitos. Los porcentajes de diferencia obtenidos entre ambos métodos son de hasta 24%.

Los resultados obtenidos para la capacidad de carga de las vigas mediante análisis de elementos finitos son menores a los obtenidos experimentalmente. Estos resultados son menores debido a factores de reducción aplicados por el programa al momento del análisis.

Se concluye entonces que el análisis mediante elementos finitos permite conocer el comportamiento mecánico de las vigas afectadas arrojando resultados válidos y demostrando que existe reducción tanto en la rigidez degradada como en la resistencia a flexión debido a la presencia de tuberías en el espécimen, pero que los resultados obtenidos se encuentran minorados por factores de reducción que tienen como finalidad generar un margen de seguridad al momento de la concepción del diseño estructural.

En cuanto a las flechas obtenidas, el análisis de los parámetros utilizados en la teoría elástica y de los resultados obtenidos experimentalmente, indica que la presencia de tuberías que atraviesan a miembros de concreto estructural sometidos a flexión, genera un aumento en las deflexiones, lo que repercute directamente en la resistencia del miembro para una flecha esperada.

Los especímenes que se encuentran afectados por tubería presentaron para una misma flecha una pérdida de resistencia de 11,8% para los especímenes afectados por tuberías de dos pulgas y de 20,2% para tuberías de tres pulgadas.

En consecuencia, el no considerar la presencia de tuberías en la sección al momento del diseño, puede generar que se produzcan flechas mayores a la esperada, entrando en un incumplimiento de los valores límites recomendados por la normativa venezolana.

5.2.- Recomendaciones.

Una vez conocida la variación en el comportamiento mecánico que genera la presencia de tuberías que atraviesan a vigas de concreto estructural, es recomendable darle continuidad a la presente investigación, con la finalidad de obtener mayor información sobre el efecto que genera la afectación de la sección.

La información presentada en este trabajo especial de grado demuestra que es necesario un análisis más detallado al momento de la concepción estructural debido a que efectivamente, el paso de tuberías de servicios por miembro de concreto estructural genera un desconocimiento en el comportamiento futuro de la estructura.

Siendo el caso de que el análisis del efecto de tuberías que atraviesan a miembros de concreto estructural presente dificultad, es recomendable el desarrollo de investigaciones que permitan proponer soluciones puntuales para evitar el efecto no deseado de la presencia de tuberías con la aplicación de refuerzo adicional en las zonas afectadas.

El presente trabajo especial de grado ha permitido demostrar que es posible realizar ensayos de muestras a escala real que permiten tener una mayor percepción del comportamiento de los especímenes en la realidad y que las instalaciones que posee el laboratorio de materiales de la Universidad Católica Andrés Bello cuenta con la tecnología necesaria para desarrollar investigaciones de este tipo.

BIBLIOGRAFIA

R. Park; T. Paulay. Estructuras de concreto reforzado. Departamento de Ingenieria Civil, Universidad de Canterbury, pp 51 - 122

Leet, Kenneh. Reinforced Concrete Design. Library of Congress Cataloging in Publication Data. USA. 1982

Jimenez, P.; Garcia Meseguer, A.; Moran Cabré, F. Hormigon Armado Tomo I. 13^o Edicion. España. 1981.

Mansur, M.; Tan, Kiang- Hwee. Concrete Beams with Openings, Analysis and Design. National University of Singapore. 1999

Nielsen, M.P. Limit Analysis and Concrete Plasticity. Prentinces- Hall. New Jersey. 1984

Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Boletín Informativo Vol 4. Año 1963