

**MODELAMIENTO EN ANSYS DEL EFECTO DE LAS PRESIONES  
PRODUCIDAS POR EXPLOSIONES INTERNAS DE GAS NATURAL EN  
ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO**

**JOSE ERNESTO JAIME RUDA  
NICOLAS TUIRAN RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2008**

**MODELAMIENTO EN ANSYS DEL EFECTO DE LAS PRESIONES  
PRODUCIDAS POR EXPLOSIONES INTERNAS DE GAS NATURAL EN  
ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO**

**JOSÉ ERNESTO JAIME RUDA  
NICOLAS TUIRAN RODRÍGUEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de  
INGENIERO CIVIL**

**Director  
RICARDO A. CRUZ HERNÁNDEZ  
INGENIERO CIVIL Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2008**

## AGRADECIMIENTOS

Al Director del Proyecto, Ingeniero Ricardo Cruz Hernández, que con su invaluable conocimiento y acertadas orientaciones motivó constantemente el desarrollo de esta investigación, y además, con su gran sabiduría y humildad nos transmitió lo mejor de su experiencia.

Al Ingeniero Helí Fernando Padilla quien nos abrió esta nueva línea de investigación, compartiendo con nosotros algunas de sus expectativas profesionales y quien nos dió muchas de las herramientas necesarias para que esta investigación lograra su objetivo.

A nuestras familias por su apoyo incondicional en los momentos difíciles, por su paciencia y confianza, que al final de cuentas son los elementos fundamentales en la consecución de esta gran ilusión de ser verdaderos ingenieros.

A nuestros amigos, porque con su valiosa amistad sirvieron de soporte día a día para no claudicar en los momentos difíciles y en la consecución de este gran sueño y objetivo compartido.

A la Universidad Industrial de Santander, por habernos permitido crecer de manera integral a nivel personal y profesional.

## DEDICATORIA

A mi madre Irene Rodríguez que con su ejemplo de tenacidad y esmero me enseñó el verdadero valor de la vida, me mostró que los grandes sacrificios en los seres humanos son sinónimo de paz y satisfacción y con su cariño, empuje y comprensión hizo de mí un padre que lucha día a día para darle también el mejor ejemplo a sus hijos.

A Patricia por su apoyo, paciencia y motivación para seguir siempre adelante y no detenerme ante ningún obstáculo.

A mis hijos Evany y Eduardo que son la razón de mi vida.

A mi hermana Otilia que es mi otra mitad.

A mi abuela Leticia que siempre me acogió como a un hijo y me apoyó en todo siempre hasta llegar a la meta.

A mi abuelito Pascualito (Q.E.P.D) que es el responsable de que yo sea el hombre que soy, la persona que por siempre llevaré dentro de mí como la imagen del profesional, del ciudadano, del papá, del abuelo y en fin del ser humano que siempre he querido ser. GRACIAS ABUELITO

A mis amigos por sus consejos y voz de aliento y a todas las personas que con su apoyo y compañía hicieron posible la terminación de este proceso en mi vida.

Nicolás Tuirán Rodríguez.

## DEDICATORIA

A mi Madre por su apoyo  
y paciencia, por brindarme ese amor y  
comprensión incondicional.

A mi Padre por infundir en mi  
el sentido de responsabilidad y amor  
a la ingeniería.

A mis hermanos por su  
apoyo y motivación para seguir  
siempre adelante.

A mi beba hermosa quien pronto nacerá,  
su alegría y amor harán de mi una  
persona mejor cada día.

A mi familia en general por su  
compañía todos estos años.

A mis amigos por su voz  
de aliento y consejos.

A todos aquellos que de una u otra  
forma hicieron y hacen parte de  
este proceso en mi vida.

José Ernesto Jaime Rude.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. CONCEPTOS GENERALES	3
1.1.1. Características del gas natural	3
1.2. COMBUSTIÓN	5
1.3. DEFINICIÓN Y CLASES DE IGNICIÓN	6
1.3.1. Deflagración	7
1.3.2. Explosión	8
1.3.3. Detonación	8
1.4. CLASIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE LAS EXPLOSIONES DE GAS	9
1.4.1. Explosiones de gas confinadas	10
1.4.2. Explosiones de gas parcialmente confinadas	10
1.4.3. Explosiones de gas inconfiadas	10
1.5. PRESIONES DEBIDAS A LAS EXPLOSIONES INCONFINADAS	10
1.6. EXPLOSIONES CONFINADAS	14
1.6.1. Parámetros de las explosiones confinadas	14
1.6.2. Explosiones de gases.	16
1.7. ONDAS DE EXPLOSIÓN Y RESPUESTA ESTRUCTURAL	17
1.7.1. Las ondas de explosión.	17
1.7.2. Respuesta estructural	19
2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO	22
2.1. DEFINICIÓN DE LOS MODELOS	22
2.2. HIPÓTESIS DE CARGA	23
2.3. MATERIALES ESTRUCTURALES Y MÉTODOS DE ANÁLISIS	27
2.3.1. Generalidades	27
2.3.2. Propiedades de los materiales estructurales	28
2.3.2.1. Propiedades del concreto	28
2.3.2.2. Propiedades del acero.	30

2.3.2.3. Diagrama momento-curvatura para secciones de concreto reforzado.	32
2.3.2.4. Diagramas de interacción para columnas	35
3. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL	40
3.1. INTRODUCCIÓN O GENERALIDADES	40
3.2. PROCEDIMIENTO PARA DIBUJAR PÓRTICOS ANSYS 3D	42
3.3. FASE DE SOLUCIÓN	62
3.4. RESULTADOS UTILIZANDO ANSYS	70
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS	121
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
BIBLIOGRAFÍA	132

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de la composición química del gas natural.	4
Figura 1.2. Ilustración de una explosión de gas a chorro (jet fire).	5
Figura 1.3. Explosión de gas en un área parcialmente confinada con equipos de proceso	6
Figura 1.4. "Ola de Fuego", típica de la deflagración.	7
Figura 1.5. Daños en una construcción por explosión de Gas natural.	9
Figura 1.6. Variación de la onda de presión de una explosión.	11
Figura 1.7. Presión de explosión en función del tiempo y determinación del gradiente de presión.	15
Figura 1.8. La onda de explosión.	18
Figura 1.9. Una casa sujeta a una onda de explosión puede ser reducida a un sistema de un solo grado de libertad.	20
Figura 1.10. El desplazamiento de un solo grado de libertad como la función de tiempo, $t$ , cuando es sujeta a un pulso triangular.	20
Figura 1.11. El Factor de Carga dinámica (FCD)	21
Figura 2.1. Índice de Fiabilidad.	24
Figura 2.2. Coeficiente de Seguridad.	25
Figura 2.3. Curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión típica para concreto de densidad normal. Adaptada de Nilson.	29
Figura 2.4. Curvas de esfuerzo-deformación para aceros estructurales. Adaptada de Nilson.	30
Figura 2.5. Relación momento-curvatura para vigas reforzadas a tensión.	33
Figura 2.6. Diagrama de interacción para la resistencia nominal de una columna sometida a flexión y carga axial.	35

Figura 2.7. Columna cargada biaxialmente. (a) Flexión uniaxial con respecto al eje Y. (b) Flexión uniaxial con respecto al eje X. (c) Flexión biaxial con respecto a un eje diagonal.	37
Figura 2.8. Diagrama de interacción para compresión y flexión biaxial.	38
Figura 3.1. Ventana preferencia de modo	42
Figura 3.2. Definir unidades	43
Figura 3.3. Verificación unidades de trabajo	44
Figura 3.4. Nombre de proyecto	44
Figura 3.5. Tabla de keypoints a definir.	45
Figura 3.6. Ingreso de keypoints.	46
Figura 3.7. Ventana ingreso keypoints.	46
Figura 3.8. Ventana creación de líneas.	47
Figura 3.9. Vista líneas y puntos modelo 3d.	48
Figura 3.10. Ventana definir elemento.	49
Figura 3.11. Ventana auxiliar. Definición tipo de elemento (BEAM/3D elastic 4).	49
Figura 3.12. Tomada del Ansys descripción elementos	50
Figura 3.13. Ventana definir propiedades geométricas.	51
Figura 3.14. Ventana ingreso de propiedades geométricas.	52
Figura 3.15. Ventana definir propiedades geométricas (para dos o más elementos).	53
Figura 3.16. Ventana definición de propiedades físicas del material.	54
Figura 3.17. Ventana auxiliar. Ingreso modulo de elasticidad y constante de Poisson.	55
Figura 3.18. Ventana auxiliar. Ingreso densidad del elemento.	55
Figura 3.19. Ejemplo sección transversal.	56
Figura 3.20. Definir sección.	57
Figura 3.21. Ingreso a tamaño de malla.	57
Figura 3.22. Definición de atributos.	58

Figura 3.23 Tamaño de malla.	58
Figura 3.24. Definición del mesh.	59
Figura 3.25. Vista del modelo después del mesh.	60
Figura 3.26. Ventana parcela de numeración.	60
Figura 3.27. Vista parcela de numeración.	61
Figura 3.28. Ventana tipo de análisis.	62
Figura 3.29. Ventana definición restricciones.	63
Figura 3.30. Ventana auxiliar aplicar desplazamientos	63
Figura 3.31. Vista restricciones modelo.	64
Figura 3.32. Sección transversal placa aligerada modelo.	65
Figura 3.33. Ventana auxiliar ingreso de fuerzas.	66
Figura 3.34. Vista modelo con fuerzas puntuales.	66
Figura 3.35. Ventana auxiliar de ingreso de cargas distribuidas.	67
Figura 3.36. Vista modelo con cargas distribuidas.	68
Figura 3.37. Proceso de solución .	69
Figura 3.38. Vista proceso de solución programa Ansys.	69
Figura 3.39. Ventana obtención de resultados (reacciones).	70
Figura 3.40. Reacciones.	70
Figura3.41. Ventana obtención de resultados. Deformación.	71
Figura 3.42. Vista deformación del modelo.	71
Figura 3.43. Deformaciones.	72
Figura 3.44. Ventana auxiliar obtención de resultados deflexiones.	72
Figura 3.45. Vista deflexiones del modelo.	73
Figura 3.46. Deflexiones.	74
Figura 3.47. Ventana estrés axial.	75
Figura 3.48. Ventana auxiliar estrés axial.	75
Figura 3.49. Vista estrés axial del modelo.	76
Figura 3.50. Ventana auxiliar obtención de estrés en listado numérico.	77

Figura 3.51. Estrés axial.	77
Figura 3.52. Ventana auxiliar obtención diagramas de momentos.	78
Figura 3.53. Vista diagramas de momentos.	79
Figura 3.54. Ventana auxiliar obtención de resultados. Listado de momentos.	80
Figura 4.1 Numeración modelos Ansys	81
Figura 5.1. Diagrama de iteración viga	124

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Valores de KG para algunos hidrocarburos.	17
Tabla 3.1. Resumen de niveles de procesamiento entorno ANSYS.	41
Tabla 4.1. Cargas asignadas para cada tipo de explosion	82
Tabla 4.2 tabla de convenciones en furzas	82
Tabla 4.3. Reacciones Para Modelo De Carga 1.4d+1.7l	82
Tabla 4.4. % de aumento explosión 0.1 mpa	82
Tabla 4.5. % de aumento explosion 0.2 mpa	82
Tabla 4.6. % de aumento explosion 0.4 mpa	83
Tabla 4.7. % de aumento explosion 0.6 mpa	83
Tabla 4.8. Desplazamientos para todos los modelos. Columna tipo.	85
Tabla 4.9. Desplazamientos para todos los modelos. Viga tipo.	87
Tabla 4.10. Desplazamientos para todos los modelos. Vigüeta tipo.	89
Tabla 4.11. Fuerzas internas en los elementos. Columna tipo.	91
Tabla 4.12. Fuerzas internas en los elementos dirección (x), columna tipo.	93
Tabla 4.12. Fuerzas internas en los elementos dirección (y), columna tipo.	94
Tabla 4.13. Fuerzas internas en los elementos dirección (z), columna tipo.	95
Tabla 4.14. Fuerzas Internas En Los Elementos. Viga Tipo.	96
Tabla 4.15. Gráfica fuerzas internas en los elementos dirección (x), viga tipo.	98
Tabla 4.16. Fuerzas internas en los elementos dirección (y), viga tipo.	99
Tabla 4.17. Fuerzas internas en los elementos dirección (z), viga tipo.	100
Tabla 4.18. Fuerzas internas en los elementos. Vigüeta tipo.	101
Tabla 4.19. Fuerzas internas en los elementos dirección (x), vigüeta tipo.	103
Tabla 4.20. Fuerzas internas en los elementos dirección (y), vigüeta tipo.	104
Tabla 4.21. Fuerzas internas en los elementos dirección (z), vigüeta tipo.	105
Tabla 4.22. Momentos internos en los elementos. Columna tipo.	106
Tabla 4.23. Momentos internos en (x) de los elementos. Columna tipo.	108

Tabla 4.24. Momentos internos en (y) de los elementos. Columna tipo.	109
Tabla 4.25. Momentos internos en (z) de los elementos. Columna tipo.	110
Tabla 4.26. Momentos internos en los elementos. Viga tipo.	111
Tabla 4.27. Momentos internos en (x) de los elementos. Viga tipo.	113
Tabla 4.28. Momentos internos en (y) de los elementos. Viga tipo.	114
Tabla 4.29. Momentos internos en (z) de los elementos. Viga tipo.	115
Tabla 4.30. Momentos internos en los elementos. Vigueta tipo.	116
Tabla 4.31. Momentos internos en (x) de los elementos. Vigueta tipo.	118
Tabla 4.32. Momentos internos en (y) de los elementos. Vigueta tipo.	119
Tabla 4.33. Momentos internos en (z) de los elementos. Vigueta tipo.	120
Tabla 5.1. Cuantía y acero.	121
Tabla 5.2. $m_{nx}$ . <u>pn</u> .	121
Tabla 5.3. $m_{ny}$ . <u>pn</u> .	122
Tabla 5.4. Comparación $p_{max}$ .	123
Tabla 5.5. Comparación $m_{max}$ (x).	123
Tabla 5.6. Comparación M Max (z).	124
Tabla 5.7. Parámetros de diseño viga a flexión.	125
Tabla 5.8. Comparación M Max vigas.	125
Tabla 5.9. Tabla comparación de derivas.	126
Tabla 5.10. Porcentajes de aumento en reacciones.	126
Tabla 5.11. $m_{nx}$ . <u>pn</u> .	127
Tabla 5.12. $m_{ny}$ . <u>pn</u> .	127
Tabla 5.13. Fuerzas utilizadas en segunda parte.	127
Tabla 5.14. % aumento explosión 0.02 MPa.	128
Tabla 5.15. % aumento explosión 0.023 MPa	128
Tabla 5.16. % aumento explosión 0.024 MPa.	128
Tabla 5.17. Fuerzas Max y min en columnas explosiones (0.02-0.024 MPa).	128

Tabla 5.18. Comparación de resultados fuerzas columnas vs fuerzas resistentes.	129
Tabla 5.19. Fuerzas Max y min en las vigas explosiones (0.02-0.024 MPa).	129
Tabla 5.20. Comparación de resultados fuerzas en las vigas vs fuerzas resistentes.	129
Tabla 5.21. Momentos Max y min en columnas explosiones (0.02-0.024 MPa).	129
Tabla 5.22. Comparación momentos Max y min en columnas explosiones (0.02-0.024 MPa) vs momentos resistentes.	130
Tabla 5.23. Momentos Max y min en vigas explosiones (0.02-0.024 MPa)	130
Tabla 5.24. Comparación momentos Max y min en vigas explosiones (0.02-0.024 MPa) vs momentos resistentes.	130

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1. % aumentos en empotramientos en (x).	83
Gráfica 4.2. % aumentos en empotramientos en (y).	84
Gráfica 4.3. % aumentos en empotramientos en (z).	84
Gráfica 4.4. Desplazamientos totales en columna tipo.	84
Gráfica 4.5. Desplazamientos totales en viga tipo.	86
Gráfica 4.6. Desplazamientos totales en viga tipo.	88
Gráfica 4.7. Fuerzas internas en los elementos dirección (x), columna tipo.	93
Gráfica 4.8. Fuerzas internas en los elementos dirección (y), columna tipo.	94
Gráfica 4.9. Fuerzas internas en los elementos dirección (z), columna tipo.	95
Gráfica 4.10. Fuerzas internas en los elementos dirección (x), viga tipo.	98
Gráfica 4.11. Fuerzas internas en los elementos dirección (y), viga tipo.	99
Gráfica 4.12. Fuerzas internas en los elementos dirección (z), viga tipo.	100
Gráfica 4.13. Fuerzas internas en los elementos dirección (x), vigueta tipo.	103
Gráfica 4.14. Fuerzas internas en los elementos dirección (y), vigueta tipo.	104
Gráfica 4.15. Fuerzas internas en los elementos dirección (z), vigueta tipo.	105
Gráfica 4.16. Momentos internos en (x) de los elementos. Columna tipo.	108
Gráfica 4.17. Momentos internos en (y) de los elementos. Columna tipo.	109
Gráfica 4.18. Momentos internos en (z) de los elementos. Columna tipo.	110
Gráfica 4.19. Momentos internos en (x) de los elementos. Viga tipo.	113
Gráfica 4.20. Momentos internos en (y) de los elementos. Viga tipo.	114
Gráfica 21. Momentos internos en (z) de los elementos. Viga tipo.	115
Gráfica 4.22. Momentos internos en (x) de los elementos. Vigueta tipo.	118
Gráfica 4.23. Momentos internos en (y) de los elementos. Vigueta tipo.	119
Gráfica 4.24. Momentos internos en (z) de los elementos. Vigueta tipo.	120
Gráfica 5.1. Diagrama iteración. Columna mnx.	122
Gráfica 5.2. Diagrama iteración. Columna mny.	123

## RESUMEN

### TITULO:

MODELAMIENTO EN ANSYS DEL EFECTO DE LAS PRESIONES PRODUCIDAS POR EXPLOSIONES INTERNAS DE GAS NATURAL EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.<sup>1</sup>

### AUTORES:

JAIME RUDA, José Ernesto  
TUIRAN RODRIGUEZ, Nicolás<sup>2</sup>

### PALABRAS CLAVES:

Herramientas computacionales, Explosión parcialmente confinada, Esfuerzos, Deformaciones, Elementos finitos.

### DESCRIPCION:

La respuesta estructural es una actividad de investigación propia de la Ingeniería Civil.

Toda la información que se obtiene del análisis de los efectos de los diferentes tipos de cargas que actúan sobre las estructuras en general es de valiosa importancia para diseñar todos y cada uno de los elementos estructurales que la componen. Para este fin contamos además de las metodologías de cálculo tradicionales con una gama muy amplia de herramientas computacionales que permiten obtener un modelo de la estructura, simular cada uno de los efectos y describir de forma más precisa su comportamiento.

En la presente investigación queremos abrir la puerta del modelamiento y posterior análisis de la respuesta o comportamiento de estructuras de concreto reforzado al ser sometidas a cargas debidas a explosiones internas de gas natural (Explosiones parcialmente confinadas) apoyados en una poderosa herramienta basada en elementos finitos como lo constituye el programa ANSYS.

Predecir la presión de la explosión es un paso en un análisis consecuente. El próximo paso es estimar la repuesta estructural (Esfuerzos y Deformaciones) sujeta a la carga de la explosión de gas. Sin embargo, el área de las cargas que actúan en las estructuras está bajo investigación. Hay poca información disponible sobre cargas y la respuesta estructural de las explosiones de gas. Hoy, la fuente principal de información en este campo, está en los efectos de explosión de las pruebas de armas militares. Estos datos no siempre son directamente aplicables para las explosiones de gas accidentales.

---

<sup>1</sup> Tesis de Grado.

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Ingeniería Civil. ING. RICARDO ALFREDO CRUZ HERNANDEZ.

## SUMMARY

### TITLE:

ANSYS MODELING OF THE PRODUCED PRESSURES EFFECT BY NATURAL GAS INTERNAL EXPLOSIONS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES.<sup>1</sup>

### AUTHORS:

JAIME RUDA, José Ernesto  
TUIRAN RODRIGUEZ, Nicolás<sup>2</sup>

### KEYWORDS:

Computational tools, Part confined explosion, Efforts, Deflections, Finite elements.

### DESCRIPTION:

Structural answer is a Civil Engineering research activity.

All obtained information from analysis on different kind of loads effects that act over general structures is very prominent to design all and each one of the structural elements that compose it. For this goal we count (also traditional calculation methodologies) with a very wide range of computational tools that allow to obtain a structure model, to simulate each effect and to describe in a more precise way its behavior.

In this researching we want to open the modeling door and after to analyze the answer or behavior of reinforced concrete structures when they are submitted on loads produced by internal gas explosions (part confined explosions) supported in a powerful tool based on finite elements as it's constituted by ANSYS programme.

To predict the explosion pressure is a step in a subsequent analysis. Next step is to estimate the structural answer (efforts and deflections) resulted for the gas explosion load. However, the acting loads area on structures is under researching. There is little available information about loads and gas explosions structural answer. Nowadays, the main information resource in this field is in explosion effects of military weapons tests. These data aren't always <sup>3</sup>directly applicable for accidental gas explosions.

---

<sup>1</sup> Degree Thesis.

<sup>2</sup> Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Civil Engineering. ENGINEER ICARDO ALFREDO CRUZ HERNANDEZ

## INTRODUCCIÓN

El gas natural es incoloro, insípido, no tóxico, asfixiante simple y depresor del sistema nervioso central, considerado el "Gas de Gases", es tan necesario como peligroso.

Es un Hidrocarburo compuesto por varios (hidrocarburos livianos) y otros elementos, que se encuentra en la naturaleza en estado gaseoso en condiciones normales (1 atm, 5° a 15° C) asociado dentro de los yacimientos por un complejo mecanismo de transformación de la materia orgánica en descomposición, proceso éste que demandó quizás millones de años, para convertirse en petróleo o gas natural.

Se caracteriza principalmente por ser incoloro, insípido, no tóxico, asfixiante simple, y depresor del sistema nervioso central, razón por la cual se hace necesaria la utilización de protección respiratoria adecuada si se tiene que trabajar en atmósferas saturadas con el mismo.

Es sabido que cuando se utiliza una sustancia inflamable las posibilidades de accidentes (explosiones) se incrementan notoriamente y más aún cuando su utilización es masiva, ahora, si bien es cierto lo señalado, también es cierto que hay normas y procedimientos operativos que disminuyen notoriamente los riesgos de accidentes.

La presente investigación cuantifica el efecto de las presiones producidas por explosiones de este hidrocarburo en estructuras de concreto reforzado, buscando definir el deterioro y respuesta estructural de estas en el ámbito estático.

Teniendo en cuenta lo anterior, a partir de deflexiones, reacciones, esfuerzos, fuerzas y momentos internos tomadas de la metodología de elementos finitos evidenciada en el programa ANSYS, en el presente estudio encontraremos un análisis de la respuesta estructural ante el aumento de la presión en explosiones parcialmente confinadas y con base a esto hacer una comparación de los diferentes daños producidos en dicha estructura.

En la metodología de estudio se verá reflejado el avance de la investigación, observando sus alcances a medida que se obtengan los resultados. Como se podrá ver, inicialmente se efectuarán los pasos recomendados para este tipo de investigación, en una primera etapa se establecerá los objetivos, justificación, alcance, marco teórico y metodología. En una segunda etapa se analizará cada modelo estructural variando las presiones ejercidas por explosiones parcialmente confinadas que van desde 0.1 MPa hasta 0.6 MPa y comparándolas con la respuesta de la estructura sin explosión alguna en el programa de modelamiento por elementos finitos ANSYS para luego recolectar información detallada y obtener conclusiones para cada caso en particular. Además se mostrará la utilización del programa ANSYS, donde se observará la utilización de tan importante ayuda de modelamiento paso a paso desde tres fases fundamentales; definición del problema, solución y obtención de resultados.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. CONCEPTOS GENERALES.

**1.1.1. Características del gas natural.** Es importante introducir el tema del gas natural con una breve explicación de sus componentes y su comportamiento.

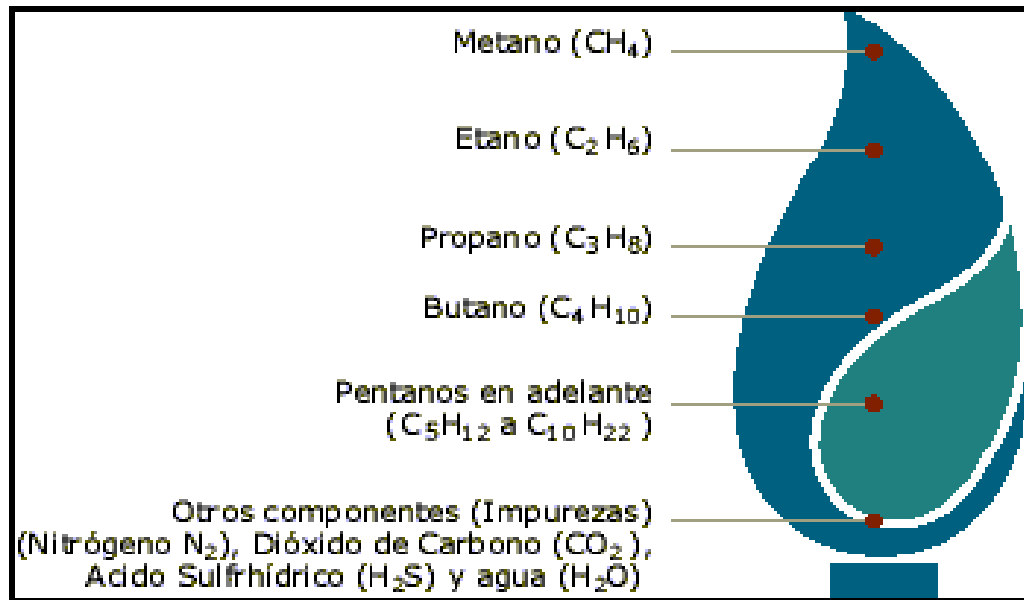
Es un Hidrocarburo compuesto por varios (hidrocarburos livianos) y otros elementos, que se encuentra en la naturaleza en estado gaseoso en condiciones normales (1 atm, 5° a 15° C) asociado dentro de los yacimientos por un complejo mecanismo de transformación de la materia orgánica en descomposición, proceso éste que demandó quizás millones de años, para convertirse en petróleo y/o gas.

Se caracteriza principalmente por ser incoloro, insípido, no tóxico, asfixiante simple, y depresor del sistema nervioso central, razón por la cual se hace necesaria la utilización de protección respiratoria adecuada si se tiene que trabajar en atmósferas saturadas con el mismo.

Está Compuesto Principalmente por:

- Metano (CH<sub>4</sub>) 85 a 90 %
- Etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 5 a 6%
- Propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) 1,5 a 2%
- Butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) 0,8 a 1 %
- Pentano (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>) 0,1 a 0,3 %
- Hexano (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>) y Superiores 0,05 a 0,1 %
- Anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>) 0,5 a 1
- Nitrógeno (N<sub>2</sub>) 1 a 2 %

Figura.1.1. Esquema de la composición química del gas natural. Ing. Marcías J. Martínez.<sup>1</sup>



Sus Características Físicas son:

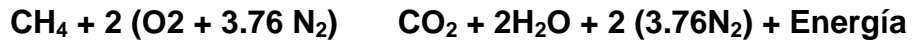
- Poder Calorífico Superior) 9.300 a 9.600 cal/m<sup>3</sup>
- Poder Calorífico Inferior 8.500 a 8.800 cal/m<sup>3</sup>
- Peso Específico (Aire = 1) 0,618 por lo que es más liviano
- Límite Explosivo Inferior 4,5 a 5 % de gas en aire
- Límite Explosivo Superior 13 a 15% de gas en aire

El gas natural es compresible. Se necesita trabajo para comprimir el gas, pero éste no se pierde completamente porque la mayor parte de la energía se almacena dentro del gas comprimido. Parte del trabajo se pierde en forma de calor. Cuando la presión del gas se reduce, éste a su vez ejecuta trabajo y absorbe calor pues produce un efecto refrescante prolongado. Un volumen de gas comprimido tiene mucha energía almacenada la que existe en tal forma que puede liberarse repentinamente.

<sup>1</sup> Ingeniero de Petróleos. Ingeniería de Gas. Principios y Aplicaciones.

## 1.2. COMBUSTIÓN.

El quemado de gas, líquido o sólido en el cual el combustible se oxida desprende calor y algunas veces luz. La combustión del metano ( $\text{CH}_4$ ) se describe por la ecuación química.

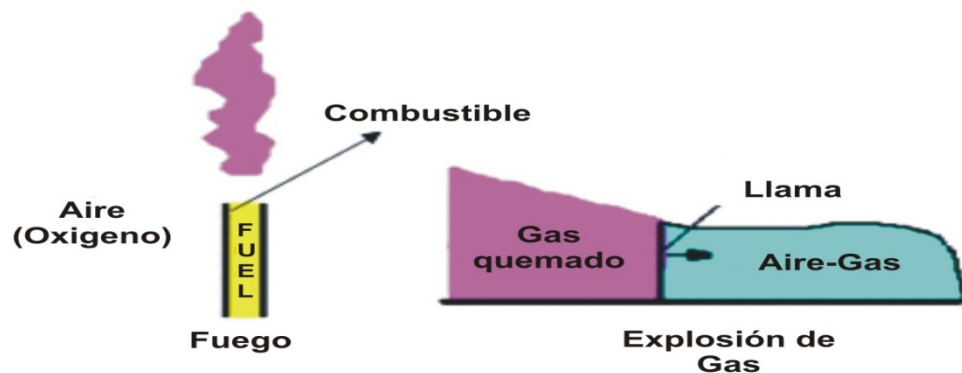


Los productos químicos resultantes de la combustión completa de un hidrocarburo son principalmente  $\text{CO}_2$  y vapor de agua. El proceso de combustión resultará en un aumento de la temperatura debido a la transformación química de energía en calor. Cabe anotar que la ecuación anterior es una simplificación del proceso de combustión real.

Puede ocurrir la combustión de combustibles gaseosos de dos maneras diferentes. Una es el fuego, donde el combustible y el oxígeno se mezclan durante el proceso de combustión.

En otro caso, como se ilustra en la Figura 2, el combustible y el aire están premezclados y la concentración de combustible debe estar dentro de los límites de inflamabilidad. En general, la situación de premezcla permite más rápidamente quemar el combustible, es decir, se consume más combustible por unidad de tiempo.

Figura.1.2. Ilustración de una explosión de gas a chorro (jet fire). Ing. Marcías J. Martínez<sup>1</sup>



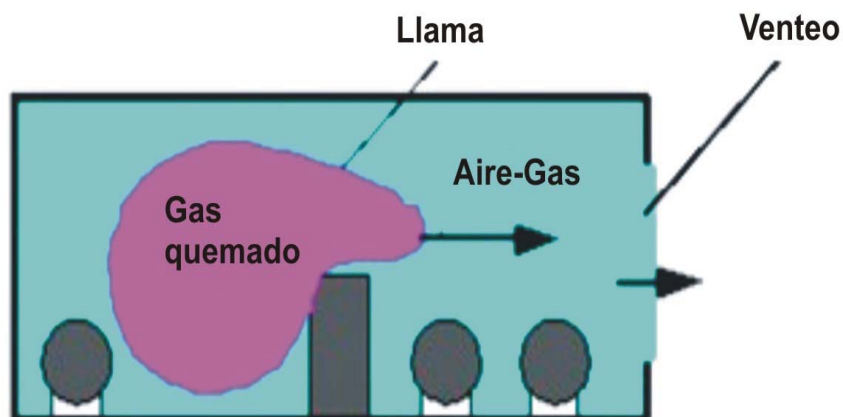
<sup>1</sup> Ing. De Petróleos. Ingeniería de Gas. Principios y Aplicaciones.

### 1.3. DEFINICIÓN Y CLASES DE IGNICIÓN.

Una ignición de gas es un proceso donde la combustión de una nube de gas premezclada, es decir, de aire-combustible ó combustible/oxidante, puede causar un aumento rápido de la presión. Las explosiones de gas pueden ocurrir dentro de equipos de proceso ó tuberías, en edificios o módulos costa fuera, en áreas de proceso abiertas o en áreas confinadas.

La situación más peligrosa ocurrirá si una nube de aire-combustible grande premezclada se forma y se enciende. El tiempo de la descarga para la ignición puede ser de unos pocos segundos o de varios minutos. La cantidad de combustible puede ser de unos kilogramos ó de varias toneladas. La presión generada por la onda de combustión depende de qué tan rápido se propague la llama y cómo pueda expandirse la presión fuera de la nube de gas. Las consecuencias de las igniciones de gas van desde ningún daño a una total destrucción. En una explosión de gas accidental de una nube de aire-hidrocarburo, la llama inicialmente saldrá a una velocidad laminar del orden de 3-4 m/seg. Si la nube está realmente inconfinaada y sin obstrucciones (sin equipo ni estructuras que rodeen la nube) no es probable que la llama acelere a más de 20-25 m/seg y la sobrepresión será despreciable si la nube no se confina. En un edificio o en un módulo costa fuera con equipos de proceso como se muestra en el esquema de la Figura 3, puede acelerar la llama a varios cientos de metros por segundo.

Figura.1.3.Explosión de gas en un área parcialmente confinada con equipos de proceso.<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Ing. Marcías J. Martínez .Ingeniería de Gas. Principios y Aplicaciones.

**1.3.1. Deflagración.** Se podría decir que es la quema de una mezcla combustible que no está confinada y que no tiene posibilidades de acumular presión por rebote de las ondas originadas al momento de la ignición. Por ejemplo, si se deja escapar una mezcla gaseosa inflamable desde un conducto, al encenderlo se verá que sólo se producirá una "ola de fuego" que finalizará al terminar de quemarse la mezcla gas-aire, y a lo sumo se tendrá como consecuencia los efectos del calor producido. En las deflagraciones, la velocidad en que el frente de llamas avanza es inferior a la velocidad del sonido; el tiempo que transcurre entre el inicio y la finalización de la misma, aunque parezca virtualmente instantánea, es finito y típicamente comprendido entre 100 y 200 milisegundos.

En el caso del Gas Natural, la velocidad de combustión, es decir la que tendrá la llama, será de 40 cm/seg.

En el caso en el que no se alcanzase una deflagración, se tendría un incendio rápido en forma de flash (un fuego con llama de difusión o premezclada con baja velocidad de llama sin producir onda de presión).

**Figura. 1.4.** "Ola de Fuego", típica de la deflagración.<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Ing. Marcías J. Martínez .Ingeniería de Gas. Principios y Aplicaciones.

**1.3.2. Explosión.** Tomando el mismo caso anterior pero haciendo una modificación, la mezcla producto del escape será confinada en un ambiente, al encenderla arderá más rápido, ya que al elevar su temperatura ocupará más espacio generando mayor presión la que se sumará a la presión propia del frente de llamas, estas presiones rebotan contra las paredes del ambiente y son devueltas al lugar de origen, pero en el camino se encontrarán con las que se continúan generando y vuelven a sumarse, y así sucesivamente hasta quebrar la resistencia del local que contiene la mezcla, provocando la destrucción del mismo en forma parcial y en algunos casos en forma total, esto último, se explica por los diferentes materiales utilizados en la construcción, y por los tipos y número de aberturas instaladas.

Durante este proceso, se puede llegar muy fácilmente a alcanzar presiones de explosión del orden de 1,0 MPa pero estos valores no son muy comunes, generalmente los ambientes de mampostería de ladrillos con aberturas tradicionales colapsan al llegar a los 0,65MPa.<sup>1</sup>

**1.3.3. Detonación.** La detonación no es un fenómeno muy común de producirse, es más, muy raramente se pueden dar las condiciones como para que ello ocurra, ya que en primer lugar se necesita un confinamiento capaz de soportar presiones muy elevadas del orden de los 100 MPa, y muy raramente, estos lugares cuentan con posibilidades de que se filtren mezclas explosivas, aún así, puede darse el caso y si ocurriese el fenómeno, la destrucción es total afectando también a los alrededores.

Generalmente suele confundirse una detonación cuando técnicamente ocurrió una explosión, sólo que las presiones de la detonación alcanzaron valores más elevados que los mencionados.

En la detonación la velocidad en que el frente de llama avanza es mucho más elevada, superando la velocidad del sonido.

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España.

**Figura. 1.5. Daños en una construcción por explosión de Gas natural. Foto tomada el 3 de Noviembre de 1995 en la ciudad de Río Tercero, Provincia de Córdoba Argentina <sup>1</sup>**



#### **1.4. CLASIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE LAS EXPLOSIONES DE GAS.**

Las explosiones no confinadas ocurren al aire libre y generalmente son originadas por un escape rápido de un gas como gas licuado de petróleo o vapores de gasolina que forman una nube inflamable de aire e hidrocarburo.

Las explosiones confinadas son las que ocurren con algún confinamiento con una barrera de contención ejemplos: explosiones dentro de recipientes, dentro de cañerías y también dentro de edificios. Las explosiones al aire libre que encuentran diversos obstáculos como pueden ser equipos de proceso, paredes de edificios, etc., pueden alcanzar cierto grado de confinamiento y turbulencia originando presiones superiores a las de explosiones no confinadas.

Las consecuencias de una explosión de gas dependerán del ambiente en el que esté contenida la nube de gas. Por consiguiente, es común clasificar las explosiones de gas de acuerdo al ambiente donde el evento de explosión ocurre:

- Explosiones de gas confinadas (tanques, vasijas de proceso, tuberías).
- Explosiones de gas parcialmente confinadas (Edificaciones o módulos costa fuera).

---

<sup>1</sup>Carlos A. Prato y Otros. Evaluación de Daños en Construcciones residenciales producidos por explosiones.

- Explosiones de gas inconfiadas en plantas de proceso y otras áreas inconfiadas.

Debe señalarse que estas condiciones no están estrictamente definidas. Por ejemplo, una explosión en una tubería de un área de proceso puede involucrar partes confinadas e inconfiadas.

**1.4.1. Explosiones de gas confinadas.** Las explosiones de gas confinadas son las explosiones que ocurren dentro de tanques, en tuberías de proceso, en cuartos cerrados y en instalaciones subterráneas. También se llaman explosiones confinadas a las explosiones internas. Es típico en este tipo de explosiones, que la velocidad de combustión no necesita ser alta para causar un incremento importante en la presión.

**1.4.2. Explosiones de gas parcialmente confinadas.** Las explosiones parcialmente confinadas ocurren cuando se escapa accidentalmente un combustible dentro de una edificación parcialmente abierta. El edificio confina la explosión y la presión de la explosión sólo puede salir a través de las áreas abiertas y ventiladas, ocasionando una baja sobrepresión. El tamaño de las aberturas de ventilación y sus áreas son factores importantes en la presión resultante de la explosión.

**1.4.3. Explosiones de gas inconfiadas.** Se utiliza este término para las explosiones en áreas de proceso. Pruebas a gran escala han demostrado que la ignición de una nube de gas inconfiada por una débil fuente de ignición, producirá una pequeña sobrepresión. El término inconfiado debe usarse con cuidado, pues en una planta de proceso hay áreas parcialmente confinadas y obstruidas. La onda de presión alcanza una sobrepresión máxima del orden de 0.1MPa en la zona de ignición.<sup>1</sup>

## **1.5. PRESIONES DEBIDAS A LAS EXPLOSIONES INCONFINADAS.**

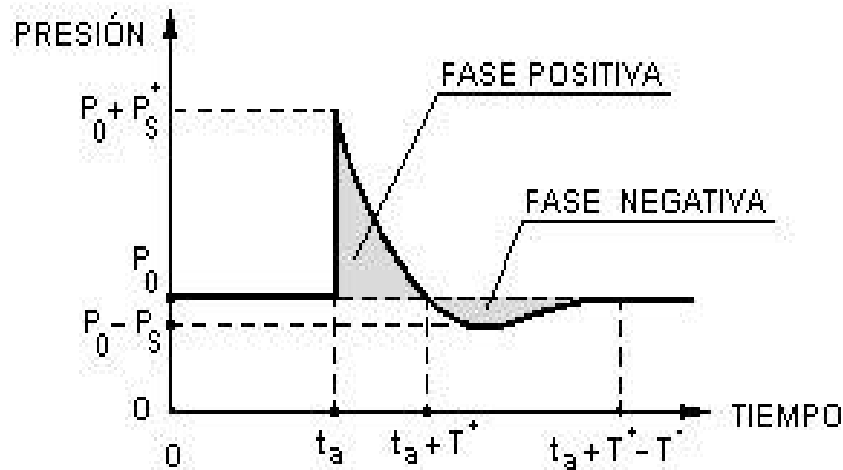
La onda de choque que se propaga en el aire tiene una serie de características o parámetros que pueden ser medidos y otros que pueden correlacionarse según los daños provocados.

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España.

El parámetro generalmente más definido y medido es la **sobrepresión** generada por la onda de presión no perturbada conforme se propaga a través del aire. En la figura se muestra gráficamente el valor de la presión en función del tiempo.

Figura 1.6. Variación de la onda de presión de una explosión.<sup>1</sup>



Antes de la llegada del frente de choque, la presión existente es la presión ambiente atmosférica  $P_0$ . En el tiempo de llegada  $t_a$  de la onda de choque, la presión sube abruptamente (discontinua en una onda ideal) hasta un valor  $P_s^+ + P_0$ . A partir de ese momento la presión decae hasta alcanzar la presión ambiente en un tiempo  $t_a + T^+$ , pasando seguidamente por una disminución de presión o vacío de amplitud  $P_0$  y finalmente retorna al valor ambiente  $P_0$  en un tiempo total  $t_a + T^+ + T^-$ .

El valor  $P_s^+$  o simplemente  $P_s$  recibe el nombre de **sobrepresión incidente máxima** y es la sobrepresión que se registraría en un lado de una estructura por lo cual se la llama también **sobrepresión lateral máxima** o simplemente **sobrepresión máxima**. La sobrepresión máxima que existe en una onda de choque antes de que sea afectada por alguna estructura u obstáculo, es por lo tanto frecuentemente referenciada como la sobrepresión lateral máxima. Esta sobrepresión lateral máxima se define como la presión que se registraría con un sensor situado en el lado de una estructura, paralelo a la dirección de propagación de la onda de choque.

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España.

Si el frente de choque impacta sobre una superficie sólida, plana y rígida con un cierto ángulo ocurre una reflexión. Se da el nombre de **sobrepresión reflejada**  $P_r$  a la sobrepresión que se generaría en una estructura perpendicular a la dirección de propagación de la onda de choque. Tanto la sobrepresión lateral como la reflejada son estáticas.

Existe otra presión llamada **presión dinámica** que se manifiesta por un efecto de viento, arrastre y derribo de los obstáculos desplazables. La presión dinámica  $Q$  según las investigaciones y parámetros establecidos por la oficina del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España tiene un valor definido por: <sup>1</sup>

$$Q = 1/2 \rho u^2 [\text{Pa}] \quad \text{EC.1.1}$$

En donde:

$\rho$  = densidad del aire por detrás del frente de choque  
 $u$  = velocidad de las partículas de aire

La velocidad de las partículas está dada por la fórmula:

$$u = \frac{c_0 \cdot P_s}{\rho \cdot P_0} \left( 1 + \frac{\gamma - 1}{2\gamma} \cdot \frac{P_s}{P_0} \right)^{-1/2} \quad \text{EC.1.2}$$

$c_0$  = velocidad del sonido en el aire (330 m/s)  
 $P_0$  = presión absoluta ambiental por delante M frente de choque ( $10^5$  Pa)  
 $\gamma$  = razón de los calores específicos del aire =  $C_p/C_v = 1,4$   
 $P_s$  = sobrepresión lateral máxima

La fórmula de la presión dinámica es:

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España.

$$Q = \frac{P_s^2}{2\rho P_0 + (\gamma - 1)P_s} \quad \text{EC. 1.3}$$

Para  $\gamma = 1,4$

$$Q = \frac{5}{2} \frac{P_s^2}{7P_0 + P_s} \quad \text{EC.1.4}$$

El valor de la sobrepresión reflejada máxima  $P_r$  citada anteriormente es función de la sobrepresión lateral máxima  $P_s$  y de la dinámica  $Q$  según la relación:

$$P_r = 2P_s + (\gamma + 1)Q \quad \text{EC.1.5}$$

Para el aire  $\gamma = 1,4$  se tiene

$$P_r = 2P_s + 2,4Q \quad \text{EC.1.6}$$

Sustituyendo  $Q$  por el valor dado anteriormente:

$$P_r = 2P_s \left( \frac{7P_0 + 4P_s}{7P_0 + P_s} \right) \quad \text{EC.1.7}$$

**Reflexión de ondas de la explosión.** La carga en una construcción golpeada por una onda de la explosión es un fenómeno bastante complejo. (Baker, 1983).

Cuando una onda de explosión se encuentra con un objeto como un edificio, una pared o en general un obstáculo, la onda se reflejará. Debido a la reflexión y la difracción, la onda se recarga en las paredes y el tejado caerá. La carga o presión máxima será sobre la pared frente a la explosión. A esta pared la onda de choque se reflejará y la presión aumentará típicamente por un factor de dos. (Para ondas de choque débiles  $P_r = 2 P_s$  ya que el valor de  $P_s$  es despreciable frente a  $P_0$ . En cambio para ondas de choque fuertes se aproxima a ocho veces la sobrepresión lateral máxima).<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BARTKNECHT, W. Explosiones Berlin, Springer-Verlag, 1981.

Cuando las ondas de choque golpean la pared, el gas deberá detenerse y la presión dinámica (es decir  $0.5 u^2$ ) es transformada para presionar. Esto se debe a que la presión aumenta debido a la reflexión de onda de explosión.

Otro parámetro útil para evaluar consecuencias en las explosiones es el **impulso específico**  $i_s$  que se define como el impulso total por unidad de superficie. La magnitud impulso es el producto de una fuerza por el tiempo que actúa y en el impulso específico es el producto de la sobrepresión por ese mismo tiempo. Si estas magnitudes no son constantes, el impulso sería la integral de la fuerza variable en función del tiempo multiplicada por cada uno de los diferenciales de tiempo en que se divide el tiempo que actúa.

Los análisis de los resultados que se realizan sobre explosiones de gas o los resultados experimentales son a menudo reportados como presión máxima (que es el parámetro de estudio que se toma en esta investigación) La presión máxima es un parámetro muy importante, pero el incremento del tiempo, el impulso y la duración también pueden ser importantes. También debe ser mencionado, que los valores exactos para la presión máxima no son siempre fáciles de leer desde un registro debido a menudo a la naturaleza aguda de las señales de presión.

## 1.6. EXPLOSIONES CONFINADAS.

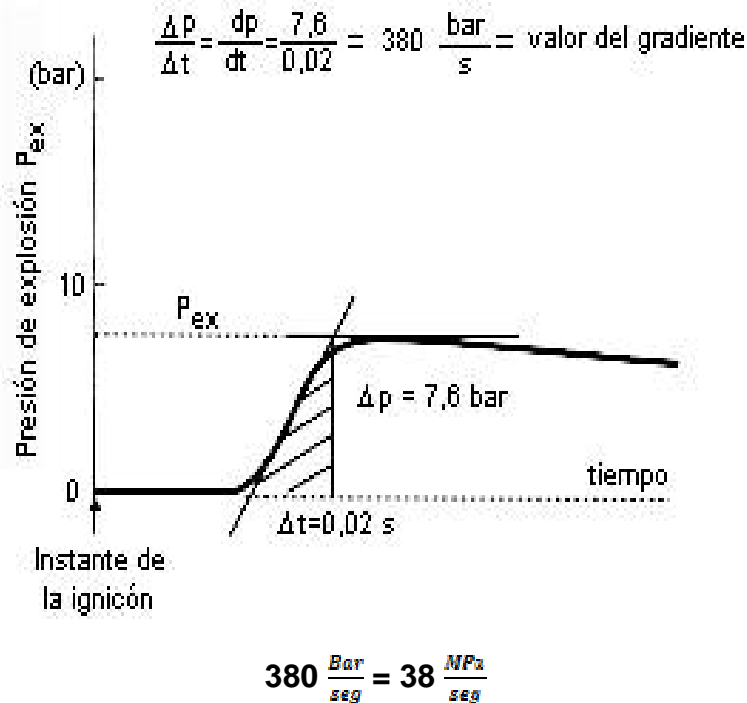
Cuando una explosión ocurre en un recinto o recipiente la presión debida a los gases de combustión se incrementa a gran velocidad alcanzando valores de hasta diez o más veces la presión inicial absoluta del recinto, dependiendo del tipo de producto.

**1.6.1. Parámetros de las explosiones confinadas.** A continuación se presentan los parámetros más reconocidos de las explosiones:

- **Presión máxima de explosión ( $P_{m\acute{a}x}$ ):** Es la presión máxima registrada en un ensayo normalizado de explosión en recipiente cerrado con la concentración óptima de polvo en aire. Es un valor característico para cada polvo combustible o gas no varía en función del volumen del recipiente.
- **Gradiente máximo de presión ( $dP/dt$ ) máx:** Expresa la variación máxima de aumento de la presión en función del tiempo. Observando la fig.7 se define

como la pendiente de la tangente trazada por el punto de inflexión en la parte creciente de la curva de la presión en función del tiempo. El gradiente máximo de presión se determina también en el mismo ensayo de la P<sub>máx</sub>.

Figura 1.7. Presión de explosión en función del tiempo y determinación del gradiente de presión.<sup>1</sup>



- **Presión de explosión. Violencia de explosión.** Cuando la reacción se lleva a cabo en un recipiente o recinto cerrado, no sólo reviste interés la presión de explosión P<sub>ex</sub> sino que su registro y estudio, proporciona información sobre el curso del proceso de combustión. El estudio pormenorizado de este proceso exige la consideración previa de determinados conceptos.

Se define P<sub>ex</sub> como "el exceso de presión sobre la inicial existente en el momento de la ignición de la mezcla explosiva".

<sup>1</sup> BARTKNECHT, W. Explosiones Berlin, Springer-Verlag, 1981.

- **Por presión de activación Pa** se entiende la presión existente en el momento en que se activa un sistema de supresión de la explosión.
- **Presión reducida Pred** es la presión resultante tras la activación del sistema de supresión. Obviamente ello implica que se ha adoptado una limitación para la presión de explosión.

El gradiente de presión, por otra parte, es un concepto que permite poner de manifiesto la velocidad de propagación de la llama y por tanto la violencia de la explosión. El valor máximo del gradiente se obtiene cuando la ignición de la mezcla explosiva tiene lugar en el centro geométrico del recinto a proteger, dado que en la medida en que la fuente de ignición se mueve hacia la periferia, el frente de llama alcanzará antes las paredes del recinto, en cuyo momento se produce un enfriamiento.

Los valores óptimos de la mezcla explosiva se obtienen, tanto en cuanto afecta a la variación de la presión como en cuanto al registro continuo del gradiente, en aquellos registros obtenidos en recintos de suficiente tamaño ( $V > 1$  l) e igniciones localizadas en el centro. A estos valores, llamados valores característicos de la explosión, se les designa como presión máxima de explosión  $P_{\text{máx}}$  y valor máximo del gradiente  $(dp/dt)_{\text{máx}}$  respectivamente.

**1.6.2. Explosiones de Gases.** Aunque la mayoría de los gases y vapores inflamables comunes presentan una  $P_{\text{máx}}$  entre 0,7 MPa y 0,8 MPa (en el acetileno 1 MPa), el valor del gradiente, en cambio puede variar considerablemente de un gas a otro.<sup>1</sup>

El volumen del recinto en el que tiene lugar la explosión tiene una marcada influencia en la violencia de ésta. La influencia del volumen en el valor máximo del gradiente de presión, tratándose de vapores y gases inflamables, viene caracterizada por la "Ley Cúbica":

$$(dp/dt)_{\text{máx}} \cdot V^{1/3} = \text{cte} = \text{KG (MPa.m.s}^{-1}\text{)} \quad \text{EC.1.8}$$

---

<sup>1</sup> Turmo Sierra, Emilio. Ingeniero Industrial y Méndez Bernal, Bernardo, Ingeniero de Minas. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo de España.

Esta ley resulta válida en los siguientes casos:

- a. Cuando la concentración óptima de las mezclas gas / aire es la misma.
- b. Cuando existe coincidencia de forma en cuanto al espacio cerrado de reacción.
- c. Para grados de turbulencia de la mezcla gas/aire iguales.
- d. Para fuentes de ignición iguales.

Por ello, para caracterizar una explosión no es suficiente especificar el valor máximo del gradiente de presión, sino, también, el volumen del recinto en el que se desarrolla la explosión.

En la tabla 1 se presentan unos ejemplos de valores de la constante KG para las condiciones indicadas:

**Tabla 1.1. Valores de KG para algunos hidrocarburos.<sup>1</sup>**

<b>Gas Inflamable</b>	<b>Metano</b>	<b>Propano</b>	<b>Hidrógeno</b>
<b>KG (MPa·m·s-1)</b>	<b>5,5</b>	<b>5,5</b>	<b>55,0</b>

Esta interrelación entre la violencia de la explosión y el volumen del espacio cerrado, permite predecir, basándose en resultados de prueba en laboratorio, el curso de la explosión de un gas o vapor inflamable dado en un gran espacio.

La presión de explosión máxima no sigue, sin embargo, esta relación, resultando prácticamente independiente del volumen del espacio donde la explosión tiene lugar para  $V > 1L$ .

## **1.7. ONDAS DE EXPLOSIÓN Y RESPUESTA ESTRUCTURAL.**

**1.7.1. Las ondas de explosión.** Si una explosión de gas fuerte ocurre dentro de un área de proceso o en un compartimiento, el área circundante está sujeta a ondas de destrucción.

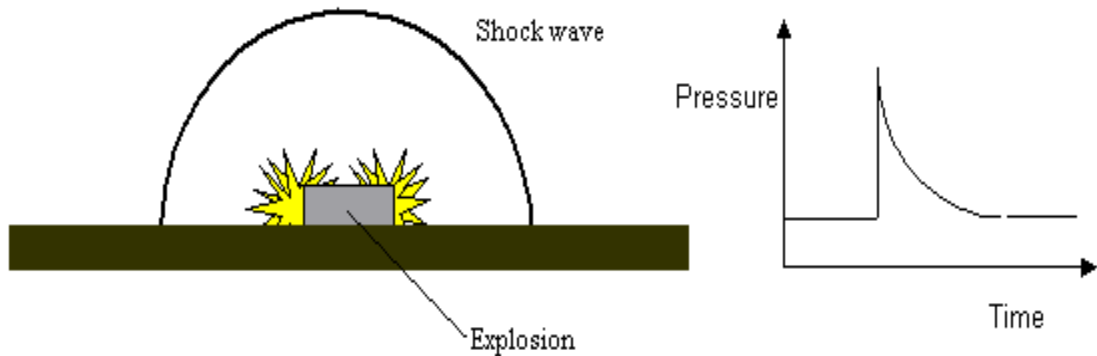
---

<sup>1</sup> Turmo Sierra, Emilio. Ingeniero Industrial y Méndez Bernal, Bernardo, Ingeniero de Minas. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo de España.

La magnitud de la ola de explosión dependerá de:

- La fuente, es decir, la presión y duración de la explosión.
- La distancia de la explosión.

**Figura 1.8. La onda de explosión.<sup>1</sup>**



Los resultados de algunas investigaciones muestran que la onda de la explosión de gas puede causar altas presiones lejos del área dónde actualmente tiene lugar dicha explosión.

Para una mezcla estequiométrica del volumen de un aire-hidrocarburo  $V$ , la energía  $E$  de la combustión puede ser estimada de:

$$E \geq 3.5(MJ / m^3)^* V \quad \text{EC.8}$$

En una explosión accidental (la deflagración), sólo las áreas confinadas y/o congestionadas contribuirán a la generación de la misma área. Por consiguiente, sólo porciones del volumen de la nube total deben ser incluidas en la ecuación (EC.8). Van den Berg (1985) indica que el volumen total de un área confinada y/o congestionada debe usarse en la ecuación (E.C.8) Sin embargo, una aproximación

<sup>1</sup> BARTKNECHT, W. Explosiones Berlin, Springer-Verlag, 1981.

semejante puede conducir a conservar los números y sobrestimar en algunas situaciones la explosión.

Por ejemplo en una explosión en un volumen en parte confinado, el volumen total dará datos conservadores, particularmente en los casos de baja presión. Durante la explosión como las quemaduras de nube de gas, el gas se extenderá y empujará a los gases quemados fuera del confinamiento. El gas que se sale fuera del confinamiento, no contribuirá significativamente a la generación de la explosión.

**1.7.2. Respuesta estructural.** Predecir la presión de la explosión es un paso en un análisis consecuente. El próximo paso es estimar la respuesta estructural sujeta a la carga de la explosión de gas. El conocimiento sobre la respuesta estructural es por lo tanto muy importante en las investigaciones del área de Ingeniería.

La respuesta estructural es una actividad de investigación propia de la Ingeniería Civil. Sin embargo, el área de las cargas que actúan en las estructuras está bajo investigación. Hay poca información disponible sobre cargas y la respuesta estructural de las explosiones de gas. Hoy, la fuente principal de información en este campo, está en los efectos de explosión de las pruebas de armas militares. Estos datos no siempre son directamente aplicables para las explosiones de gas accidentales.

**Respuesta dinámica.** Una explosión de gas es un evento muy rápido. En una explosión de gas grande, la duración de la sobrepresión típicamente será de 100-200 m / seg. La carga de una explosión de gas es por consiguiente una carga dinámica. Para ilustrar la diferencia entre una carga estática y una carga dinámica se usará como un ejemplo un sistema de un solo grado de libertad.

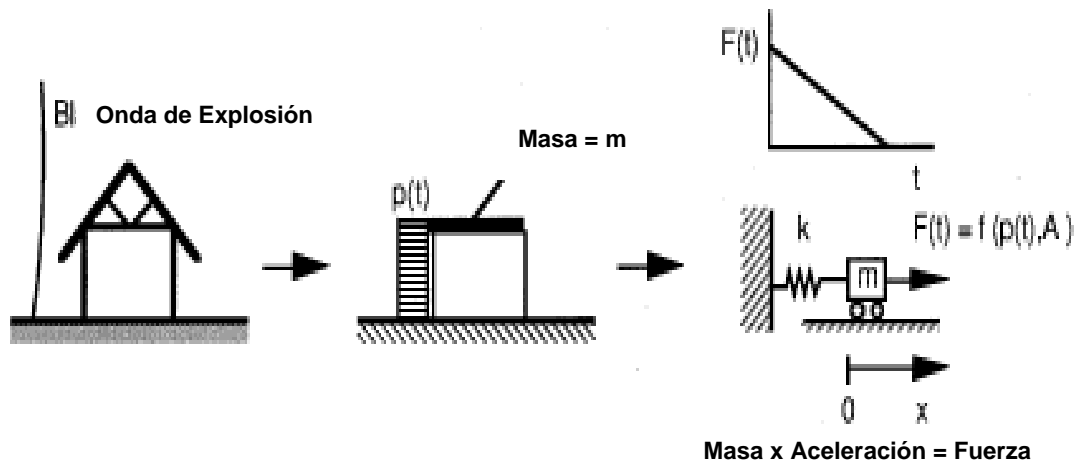
Una casa sujeta a una onda de explosión puede reducirse a un sistema de un solo grado de libertad. Esto se muestra en la Figura 10.

El techo inclinado es reducido a una viga rígida y las paredes son tratadas como vigas verticales.

Esto puede reducirse más allá como a un sistema simple de masa. La carga, es decir, el área de tiempo-presión, es simplificada por un pulso triangular. La

respuesta  $x$ , es decir, el desplazamiento de la masa  $m$ , dependerá de la fuerza máxima, la frecuencia natural del sistema,  $T = 2\pi (m/k)^{1/2}$ , y la masa  $m$ .

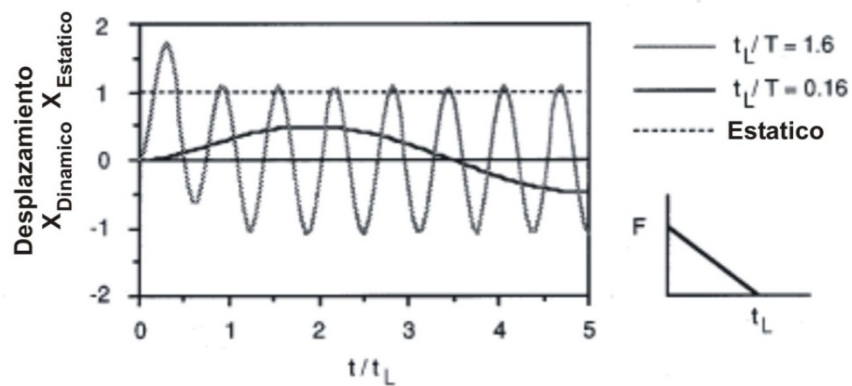
**Figura 1.9.** Una casa sujeta a una onda de explosión puede ser reducida a un sistema de un solo grado de libertad.



El desplazamiento puede predecirse por la segunda ley de Newton: la masa  $\times$  aceleración = fuerza.

El resultado es semejante al cálculo que se muestra en la Figura 11.

**Figura 1.10.** El desplazamiento de un solo grado de libertad como la función de tiempo,  $t$ , cuando es sujeta a un pulso triangular.

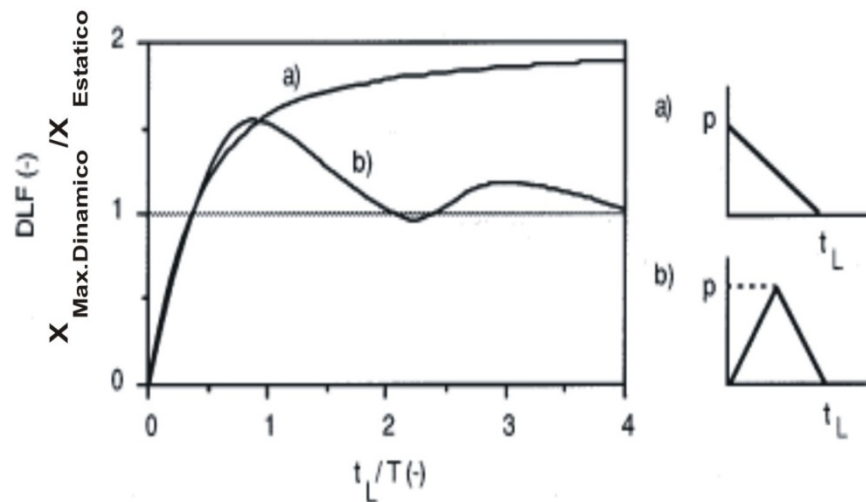


En este sistema no hay amortiguación. La masa por consiguiente, continúa oscilando. En las situaciones reales habrá siempre algunas amortiguaciones y la masa llegará después a ser un soporte.

Sin embargo, esto es importante para reconocer que el desplazamiento máximo de la masa,  $X_{\text{max}}$  dinámico, dependerá de la relación de carga de la duración,  $t_L$ , y la frecuencia natural del sistema,  $T$ . Para una relación baja de  $t_L / T$ , el  $X_{\text{max}}$  dinámico es más pequeño que el desplazamiento para la carga estática ( $X_{\text{estática}} = F/K$ ). Para relaciones  $t_L / T$  más grandes,  $X_{\text{max}}$  dinámico puede ser más grande que el desplazamiento para cargas estáticas.

En la Figura 12 se muestra la relación de  $X_{\text{max}}$  dinámico /  $X_{\text{estática}}$  [también llamado factor de carga dinámica (FCD)] contra el  $t_L/T$  para dos tipos diferentes de cargas triangulares.

**Figura 1.11. El Factor de Carga dinámica (FCD)**



Las estructuras reales pueden tener muchos grados de libertad y la predicción de su comportamiento necesitará un análisis detallado. Un sistema de un solo grado de libertad es muy simplificado, pero ilustra el comportamiento básico de las estructuras sujetas a una carga dinámica.

La respuesta estructural y el nivel de daño dependerán de la carga (es decir del arrastre y/o la presión) como una función de tiempo y las características propias de la estructura.

## **2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

### **2.1 DEFINICIÓN DE LOS MODELOS.**

Las consecuencias de una explosión de gas dentro de un edificio dependerán principalmente de la concentración de la nube de gas, del tamaño y el tipo de combustible; la ignición y el diseño geométrico, es decir, de la obstrucción de objetos, el venteo y el confinamiento.

Por las particularidades que tienen las estructuras de concreto reforzado y por las características descritas en los capítulos anteriores el tipo de explosión que se usa para los modelos aquí elaborados serán para una explosión parcialmente confinada en la primera fase de estudio ya que una edificación no es un recinto totalmente cerrado y tampoco tiene las características puras de un espacio completamente abierto para definirlo como una explosión inconfineda. Por lo cual los rangos de las presiones usadas en estos modelos cargados para simular los efectos debidos a ellas varían entre 0.1MPa (que es el límite entre explosiones inconfinedas y parcialmente confinadas) y 0.6MPa. (Que es un valor máximo característico que define a las explosiones de tipo confinado).

Según los resultados que se obtengan de esta fase preliminar se podrá definir con mayor claridad el tipo de explosión característico y el comportamiento de los materiales en que están elaborados los elementos estructurales (Concreto reforzado) del pórtico tipo por medio de los diagramas de interacción de las columnas y de los diagramas de Momento vs radio de curvatura para las vigas.

Esta línea de exploración es nueva y como se ha podido puntualizar tiene muchos caminos interesantes por recorrer y examinar en el estudio del comportamiento de estructuras sometidas a las presiones debidas a explosiones internas de gas natural; por lo anterior esta investigación está dirigida al análisis de las presiones laterales máximas que actúan sobre los elementos estructurales de una edificación por su naturaleza estática. Dejando así abierto el camino para la profundización de éste interesante fenómeno en el ámbito de las presiones reflejadas y de las presiones dinámicas así como también en el análisis más detallado del efecto de la geometría de la estructura en las consecuencias estructurales de la explosión interna del gas natural.

## 2.2. HIPÓTESIS DE CARGA.

El concepto de seguridad tal como se lo ha entendido tradicionalmente se asocia con un Estado Límite de Rotura.

La seguridad de una estructura está asociada a cuestiones netamente probabilísticas, es decir que es posible establecer con cierta exactitud (dependiendo del desarrollo de las teorías específicas) la probabilidad de ocurrencia de un determinado evento. Si bien el concepto de seguridad se asocia usualmente a la rotura o colapso de la estructura, todos los estados límite tienen una probabilidad de ocurrencia o excedencia, es decir que el concepto de seguridad abarca también a otros fenómenos aparte de la rotura, tal como las flechas, fisuración y vibraciones.<sup>1</sup>

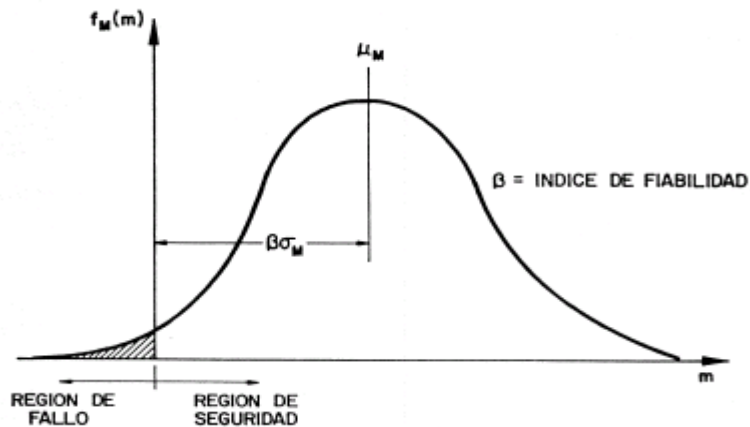
La seguridad estructural respecto a un determinado Estado Límite (EL) se evalúa directamente a través de la probabilidad de que ese Estado Límite sea superado, la cual se denomina Probabilidad de Fallo (Pf). Si llamamos Riesgo a cada una de esas situaciones, cada riesgo posee una Probabilidad de fallo y un impacto determinado, que se relaciona directamente con las consecuencias (en pérdidas de vidas, bienes, tiempo o dinero) de que el Estado Límite sea superado. Por supuesto que el impacto producido por el colapso de una estructura es considerablemente mayor que el producido por una flecha excesiva, pero es necesario señalar que numerosos factores sociales y hasta políticos inciden en la valoración que una sociedad hace de los diferentes riesgos. Por lo tanto dentro de los estudios sobre la seguridad de una estructura es natural que, a menor impacto, sea aceptable una probabilidad de falla mayor.

Para determinar los coeficientes de seguridad de las estructuras se tienen en cuenta dos parámetros principales que son la Resistencia (R) y la sollicitación (S) que se usan para determinar el Índice de Fiabilidad o Índice de Seguridad,  $m=R/S$  (Resistencia – Sollicitación).

---

<sup>1</sup> “Seminario sobre Fundamentos de la Resistencia de Materiales”. Lima, Edgardo Luis y otros. Ingenieros Estructurales.

Figura 2.1. Índice de Fiabilidad.<sup>1</sup>



La utilidad de este parámetro está directamente relacionada con la distribución Normal de probabilidades y que es la génesis del estudio de la seguridad estructural.

R-S está Normalmente distribuida y la Probabilidad de Falla ( $P_f$ ) puede obtenerse a través de la distribución Normal.<sup>2</sup>

La tarea de calcular  $P_f$  parece sencilla desde el punto de vista formal (y lo es). Pero cuando se intenta llevar estos procedimientos a la práctica general, las dificultades operativas están más allá del alcance de la mayoría de los profesionales.

Los reglamentos han evitado que los proyectistas tuvieran que enfrentarse con cálculos probabilísticos por lo que, desde el punto de vista de los usuarios de los códigos, estos últimos han mantenido un esquema de uso cuasi-determinista a través de coeficientes de mayoración de solicitaciones y de minoración de resistencias. En realidad, todos los coeficientes de mayoración y minoración, o

<sup>1</sup> “Seminario sobre Fundamentos de la Resistencia de Materiales”. Lima, Edgardo Luis y otros. Ingenieros Estructurales

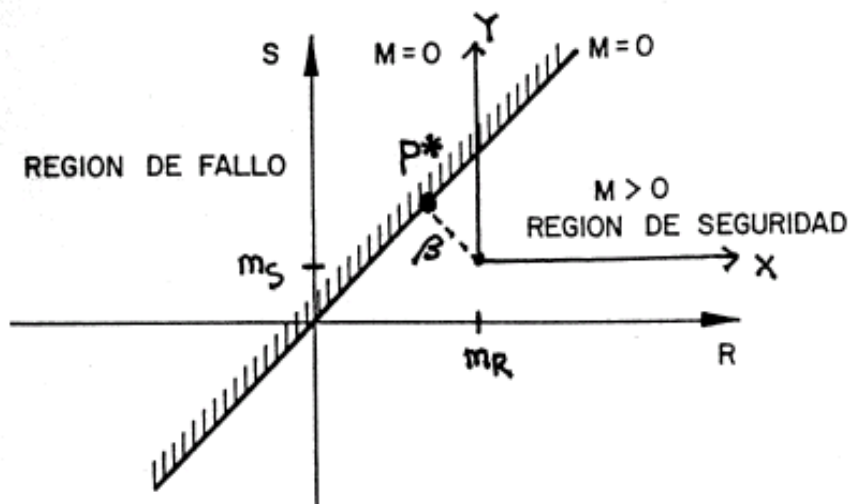
<sup>2</sup> “Seminario sobre Fundamentos de la Resistencia de Materiales”. Lima, Edgardo Luis y otros. Ingenieros Estructurales

coeficientes de seguridad, han sido calibrados de manera tal que la seguridad resultante sea del mismo orden en todos los casos, que es el punto de equilibrio entre seguridad y economía socialmente aceptado.

**Calibración de los coeficientes de seguridad.** El planteo general del problema es el siguiente:

- Los materiales se definen por sus valores resistentes característicos (95% de probabilidad de ser superados, o algo similar).
- Las acciones se especifican de manera similar (5% de probabilidad de ser superadas, o un valor del mismo orden).
- La probabilidad de falla deseada es tan pequeña como 0.000001.

Figura .2.2.Coeficiente de Seguridad.<sup>1</sup>



Es decir que dependen directamente de los coeficientes de variación de R y S. Algunos reglamentos calibran los coeficientes de seguridad parcial adoptando coeficientes de variación para R y S, sin permitir la posibilidad de variarlos (ACI

<sup>1</sup> “Seminario sobre Fundamentos de la Resistencia de Materiales”. Lima, Edgardo Luis y otros. Ingenieros Estructurales

por ejemplo), mientras que otros permiten el dimensionamiento de los coeficientes de seguridad dando más libertad al proyectista (CEB, PR Cirsoc).<sup>1</sup>

Los coeficientes de variación tienen en cuenta, entre otros, los siguientes factores:

Para la Resistencia:

- a) Desviaciones estadísticas de las propiedades de los materiales.
- b) Desviaciones en la geometría de las secciones.
- c) Incertidumbres de los modelos de cálculo.
- d) Aspectos cualitativos referidos al tipo de rotura (dúctil o frágil).
- e) Coeficientes de conversión.

No se tiene en cuenta las posibilidades de ocurrencia de errores humanos groseros, ya que la ocurrencia de los mismos debe ser prevenida mediante adecuadas políticas de aseguramiento de la calidad.

Para las Acciones:

- a) Variaciones estadísticas.
- b) Incertidumbres en la modelización de la acción y de sus efectos.
- c) Incertidumbres en los modelos de cálculo.

**NSR-98. (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente).** En el título B de este reglamento se encuentran las condiciones de carga para los diferentes estados límites y para las diferentes clases de estructuras, de aquí se extrajeron las hipótesis utilizadas para el análisis de las presiones ejercidas sobre los elementos estructurales de una edificación de concreto reforzado debidas a las explosiones internas de gas natural, utilizando el método de estado límite de resistencia.

Teniendo en cuenta los criterios probabilísticos analizados en el numeral anterior y los tipos de cargas contempladas en la NSR- 98 esta investigación toma como hipótesis de carga la combinación  $1.05D + 1.28L + 1.05T$ .<sup>2</sup> (D=Carga muerta, L=Carga Viva, T=Fuerzas y efectos causados por expansión o contracción debida a cambios de temperatura, retracción de fraguado, flujo plástico, cambios de humedad, asentamientos diferenciales o combinación de varios efectos de ellos)<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Códigos Europeos y Código Argentino.

<sup>2</sup> NSR-98. (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente). Título B.2.4.

<sup>3</sup> NSR-98. (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente). Título B.2.2.

para los análisis consecuentes ya que en el criterio de los autores es la que más se ajusta a la tipología del fenómeno que se está estudiando. La posible discusión que pueda surgir a partir de esta aseveración se espera sea precisada en otra investigación en donde se hagan los análisis probabilísticos rigurosos correspondientes.

## **2.3. MATERIALES ESTRUCTURALES Y MÉTODOS DE ANÁLISIS.**

**2.3.1. Generalidades.** El conocimiento del comportamiento de las estructuras es un tema que requiere de mucho estudio y una especial atención al momento de entender las respuestas del sistema estructural ante diferentes solicitaciones, así como también brinda herramientas importantes para el diseño. Es por esto que en la actualidad existen diferentes métodos para analizar el comportamiento de las estructuras, los cuales se dividen en métodos elásticos lineales y métodos inelásticos. Los procedimientos de la fuerza lateral estática, la fuerza lateral dinámica y procedimientos lineales son incluidos por los métodos elásticos, los cuales usan relaciones de capacidad y demanda establecidas en los códigos. Por otro lado, el análisis dinámico no lineal de estructuras es el principal método de análisis inelástico, pero para el diseño y desde el punto de vista de la práctica, este último resulta muy complicado y no es muy frecuente que se le utilice. Para suplir esta necesidad es cuando aparecen los métodos de análisis estático no lineal, los cuales admiten un mejor entendimiento del comportamiento de las estructuras al momento de verse bajo la acción de eventos sísmicos y cuando exceden su capacidad elástica.

Dicho comportamiento, cuando la estructura se encuentra bajo la acción de diferentes tipos de cargas, depende en gran medida de las propiedades de los materiales con que está construida la misma. Así, es muy importante las relaciones esfuerzo-deformación del material constitutivo y la clase de esfuerzo al que se ve sometido el material de la estructura.

De otra parte, la relación momento curvatura de una sección es fundamental para el procedimiento de análisis no lineal ya que es una representación del comportamiento de la sección ante cargas incrementales y la base para el estudio de la ductilidad del elemento. El cálculo de esta relación para una sección en una viga de concreto subreforzada es posible por medio de la utilización de las relaciones esfuerzo-deformación unitaria para el acero y para el concreto por separado. Para esto se debe tener en cuenta la premisa general de la adherencia perfecta entre estos dos elementos y la suposición de sección plana.

**2.3.2. Propiedades de los materiales estructurales.** En la actualidad, son muchas y muy diversas las estructuras construidas con concreto reforzado, en cuanto este material se amolda a diferentes situaciones para las que se le necesite. Por tanto, el comportamiento del concreto reforzado ha sido especialmente analizado por la ingeniería más que cualquier otro material constructivo. Para su estudio, es importante entender el comportamiento de sus partes constitutivas, como es el caso del concreto y del acero de refuerzo.

**2.3.2.1 Propiedades del concreto.** El concreto es una mezcla de cemento, arena, grava, agua y una pequeña cantidad de aire, que al endurecerse, produce un material parecido a la roca con alta resistencia a la compresión pero con una baja resistencia a la tensión. Además de los principales componentes del concreto mencionados, es muy usual que se le agreguen aditivos para mejorar el comportamiento del mismo.

Para la disminución de la deficiencia en la resistencia a la tensión, al concreto se le agrega el acero de refuerzo, con el cual, se obtiene un material que a un costo relativamente bajo, brinda una buena resistencia tanto a las diferentes sollicitaciones que se le imponga como ante efectos climáticos y al fuego.

Generalmente, el concreto es usado para resistir cargas de compresión, por lo cual resulta de vital importancia su curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión. Esta curva se puede obtener en laboratorio midiendo las deformaciones unitarias en ensayos de cilindros o en la zona de compresión de vigas. En la figura 2.3 se muestra una Gráfica tipo de esfuerzo deformación unitaria para un concreto de densidad normal.

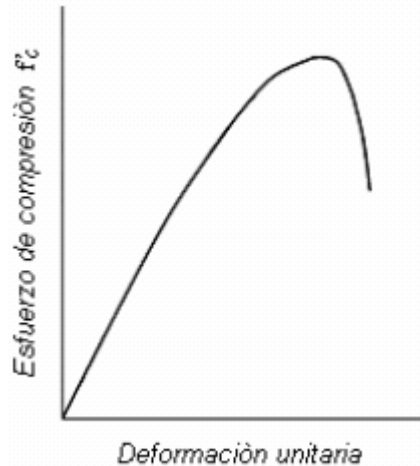
En esta curva, el módulo de elasticidad  $E_c$ , está definido como la pendiente del tramo recto inicial. Este se puede estimar aproximadamente como  $0.45f'_c$  y aumenta con la resistencia del concreto. En el caso en que este valor experimental no se conozca, la NSR-98 <sup>1</sup> establece una serie de fórmulas para hallarlo dependiendo de la masa unitaria del concreto y en función del tipo de agregado. El valor promedio para toda la información experimental nacional sin distinguir por tipo de agregado es:

$$(E_c) = (W_c)^{1.5} * 0.034 * (f'_c)^{1/2} \text{ [MPa]} \quad \text{Ec. 2.1}$$

---

<sup>1</sup>NSR-98. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente; AIS; Numeral C.8.5.4; Pag. C.53

**Figura 2.3. Curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión típica para concreto de densidad**



normal. Adaptada de Nilson.

De igual manera si no se conoce la masa unitaria del concreto o el valor experimental de  $E_c$ , también en el mismo numeral de la NSR-98 se encuentran consignadas una serie de fórmulas tendientes a encontrarlo dependiendo del tipo de agregado, siendo el valor promedio para toda la información experimental nacional sin distinguir por tipo de agregado:

$$E_c = 3900 * (f'c)^{1/2} \text{ [MPa]} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Actualmente, el valor de  $f'c$  para concretos de densidad normal fundidos en el sitio, se encuentra en el rango de 21 MPa a 35 MPa (3000 a 5000 lb/pulg<sup>2</sup>) y puede ser hasta de aproximadamente 42 MPa (6000 lb/pulg<sup>2</sup>) para elementos de concreto prefabricados y pre esforzados<sup>1</sup>.

Cuando el concreto se somete a esfuerzos de compresión en una dirección, sucede que, al igual que en otros materiales, se expande en la dirección perpendicular a la dirección de aplicación del esfuerzo<sup>2</sup>. La relación entre la

<sup>1</sup> Diseño de Estructuras de Concreto; Arthur H. Nilson; Pág. 39

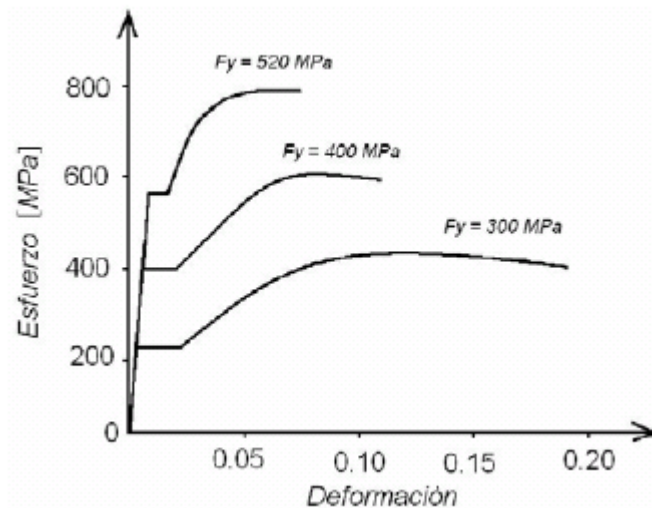
<sup>2</sup> Building Design and Construction Handbook; Frederick S. Merritt y Jonathan T. Ricketts.

deformación unitaria perpendicular y la longitudinal es conocida como relación de Poisson, la cual depende entre otros factores de la resistencia y de la composición. Cuando al concreto se le coloca refuerzo transversal y longitudinal, la curva esfuerzo-deformación presentada en la figura 2.1 es diferente. El concreto se puede confinar mediante refuerzo transversal, ya sea utilizando estribos rectangulares o circulares, colocados muy cerca entre ellos. El refuerzo transversal no trabaja en el caso de bajos niveles de esfuerzo en el concreto, pero cuando este se aumenta, las deformaciones transversales también aumentan debido al agrietamiento interno. Esto ocasiona que el concreto se apoye en los esfuerzos transversales, el cual reacciona generándole un confinamiento al concreto. Esta reacción produce una mejora en la curva esfuerzo deformación del concreto.

La resistencia a tensión del concreto es mucho más baja que la resistencia a compresión, cerca de  $7 f'_c$  para los concretos de resistencias más altas y de  $10 f'_c$  para los concretos de resistencias más bajas.

**2.3.2.2 Propiedades del acero.** La figura 2.4 muestra curva típica esfuerzo-deformación unitaria para diferentes clasificaciones de aceros estructurales, las cuales se derivan de ensayos a tensión.

**Figura 2.4.** Curvas de esfuerzo-deformación para aceros estructurales. Adaptada de Nilson.



Los puntos de fluencia, resistencias y módulos de elasticidad obtenidos por ensayos a compresión son prácticamente los mismos. Hay un rango elástico inicial

para los aceros estructurales en el cual no se presentarán deformaciones permanentes en caso de que la carga sea quitada. El módulo de elasticidad,  $E$ , el cual es dado por la pendiente de las curvas, es prácticamente constante para todos los aceros, con un valor de 200000 MPa. Una propiedad importante es la ductilidad porque permite la redistribución de esfuerzos en miembros continuos y en puntos de esfuerzos locales altos. La relación de Poisson, es decir, la relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria axial, también es medida en ensayos de tensión.

Podría ser tomado como 0.3 en el rango elástico y 0.5 en el rango plástico para aceros estructurales. La dureza es definida como la capacidad de un acero de absorber energía, entre mayor es la capacidad mayor será la dureza. Se determina como el área bajo la curva esfuerzo-deformación unitario. La dureza depende tanto de la resistencia del metal como de la ductilidad<sup>1</sup>.

La tasa de deformación cambia las propiedades a tensión de los aceros estructurales. En ordinarios ensayos de tensión, la carga es aplicada lentamente. Los datos resultantes son apropiados para el diseño de estructuras para cargas estáticas. Para diseño con aplicación de cargas rápidas, tal como cargas de impacto, datos de tensiones rápidas se requieren. Estos ensayos indican que las resistencias a tensión y de fluencia se incrementan pero la ductilidad y la relación de la resistencia de tensión a la resistencia de fluencia decrecen.

Temperaturas muy altas afectan las propiedades de los aceros estructurales. A medida que la temperatura se incrementa, la curva de esfuerzo-deformación unitaria llega a ser más redondeada y los esfuerzos de tensión y de fluencia decrecen. La relación de Poisson no es significativamente afectada pero el módulo de elasticidad decrece. La ductilidad es disminuida hasta que se alcanza un valor mínimo.

Bajas temperaturas en combinación con esfuerzos de tensión y especialmente con discontinuidades geométricas pueden causar una falla frágil. Esta es una falla que ocurre con poca indicación de deformación plástica. Una falla dúctil ocurre, por el contrario, principalmente por cortante, usualmente precedida por una gran deformación plástica.

---

<sup>1</sup> Building Design and Construction Handbook; Frederick S. Merritt y Jonathan T. Ricketts.

### 2.3.2.3 Diagrama momento-curvatura para secciones de concreto reforzado.

Para el estudio de la ductilidad de un elemento, así como para comprender el desarrollo de las rótulas plásticas y considerar la redistribución de los momentos inelásticos que se producen en la mayoría de las estructuras de concreto antes de llegar al colapso, es muy importante la relación entre el momento que se le aplica a determinada sección del elemento y el cambio de ángulo por unidad de longitud resultante a lo largo del intervalo completo de carga hasta la falla.

Al cambio de ángulo por unidad de longitud en una ubicación dada, a lo largo del eje de un elemento cuando este se encuentra sometido a carga de flexión, se le denomina curvatura y se puede expresar como<sup>1</sup>:

$$\phi = \frac{1}{r} ;$$

**Ec. 2.3**

Donde:  $\phi$  es la curvatura unitaria y r es el radio de giro.

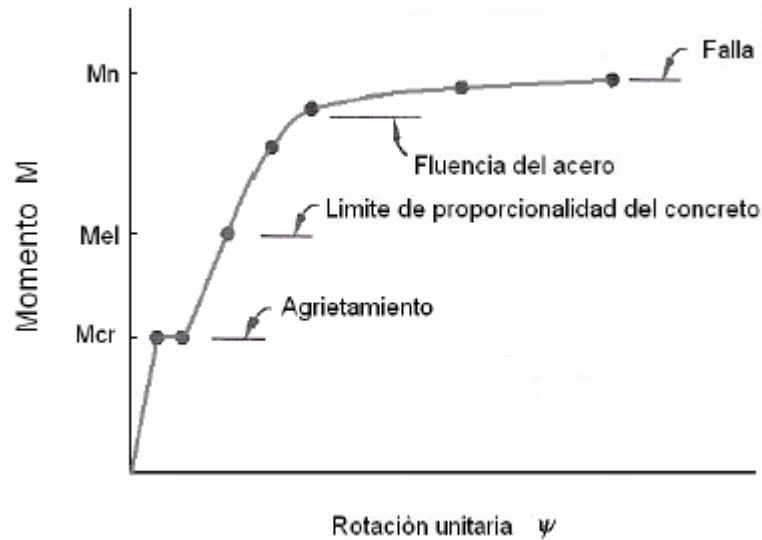
El cálculo de la relación momento-curvatura para una sección en una viga de concreto subreforzada es posible por medio de la utilización de las relaciones esfuerzo-deformación unitaria para el acero y para el concreto por separado. Para esto se debe tener en cuenta la premisa general de la adherencia perfecta entre estos dos elementos y la suposición de sección plana.

La tensión a la cual están sometidos el concreto y el acero en esta sección, dependen directamente del valor del momento flector al que está sometida la misma, en donde la deformación máxima del acero y del concreto está relacionada con la curvatura.

---

<sup>1</sup> Diseño de Estructuras de Concreto; Arthur H. Nilson; Pág. 216.

Figura 2.5. Relación momento-curvatura para vigas reforzadas a tensión. Adaptada de la Nilson.<sup>1</sup>



Para el cálculo del diagrama momento-curvatura (Figura 2.5) de cualquier sección de concreto reforzado, deben tenerse en cuenta las etapas por las cuales el valor del momento flector crece hasta que produce el colapso. Estas etapas son tres <sup>2</sup> y se describen como sigue.

En la primera parte, el concreto trabaja a tracción y a compresión, el valor del momento es muy pequeño y no produce fisuraciones en la sección. En esta primera parte, la curvatura puede calcularse con la expresión:

$$\phi = \frac{M}{EI};$$

**Ec. 2.4**

En esta ecuación: M es el valor del momento flector, I es el momento de inercia de la sección transformada y E el módulo de elasticidad del concreto.

<sup>1</sup> Diseño de Estructuras de Concreto; Arthur H. Nilson; Pág. 219

<sup>2</sup> Hormigón reforzado; NSR-98; Segunda Parte; Roberto Rochel Awad; Pág. 186.

Aquí, las deformaciones unitarias son pequeñas y el diagrama es casi vertical. La sección se comporta de manera linealmente elástica hasta el punto en el que se fisura el concreto.

La segunda parte se inicia cuando el valor del momento vence la resistencia a tracción del concreto, la sección en la zona de tracción se fisura y solo el acero resiste las tensiones sin llegar a la zona de fluencia. El valor de la curvatura se aumenta a causa de la reducción de la inercia pero sin incremento en el momento. En este instante, la determinación de valores confiables de  $EI$  es muy complicada, por lo cual, teniendo la profundidad del eje neutro  $c$  y la deformación unitaria del concreto, se puede calcular la curvatura de la sección sin calcular el término  $EI$ . Si la tensión de compresión en el concreto es menor de 50% de  $f'_c$ , la profundidad del eje neutro se puede determinar usando el método elástico. Si el momento aplicado en el concreto es mayor de 50% de  $f'_c$ , se debe utilizar el método de la rotura. Esta segunda parte termina cuando el refuerzo a tracción llega al punto de fluencia  $f_y$ .

Cuando en una sección subreforzada el acero a tracción llega a su tensión de fluencia no quiere decir que el concreto alcance su deformación de rotura y por tanto su capacidad de resistencia no se ha agotado.

La tercera parte del diagrama ocurre cuando el acero tiene que soportar deformaciones superiores a las de fluencia, manteniendo su tensión, durante lo cual en el concreto aumentan las deformaciones y se disminuye la profundidad del eje neutro hasta que el concreto falla por aplastamiento. Durante este proceso el momento resistido por la sección aumenta ligeramente hasta llegar a su valor último cuando el concreto falla por aplastamiento al alcanzar su deformación última.<sup>1</sup>

Las curvas teóricas Momento-Curvatura para secciones de concreto reforzado con cargas a flexión y axiales pueden ser derivadas en base a suposiciones similares a aquella usadas para la determinación de la resistencia a flexión. Se asume que las secciones permanecen planas después de la flexión y que las curvas de esfuerzo-deformación para concreto y acero son conocidas. La curvatura asociada con un rango de momentos flexionantes y cargas axiales podrían ser determinadas usando estas suposiciones y los requerimientos de compatibilidad de deformaciones y equilibrio de fuerzas.<sup>2</sup>

---

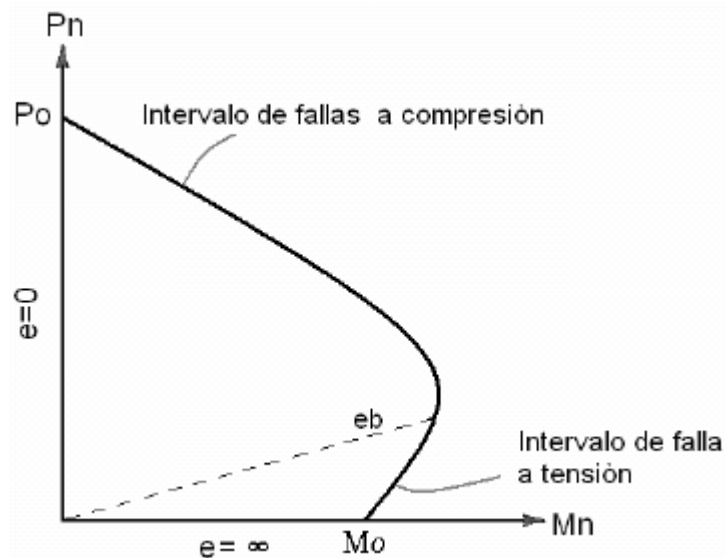
<sup>1</sup> Hormigón reforzado; NSR-98; Segunda Parte; Roberto Rochel Awad.

<sup>2</sup> Reinforced Concrete Structures; Park R. and Paulay T.; Page 199-202.

**2.3.2.4 .Diagramas de interacción para columnas.** Un diagrama de interacción de resistencia<sup>1</sup> para determinada columna define la carga y el intervalo de falla para excentricidades desde cero hasta el infinito. Hay un único par de valores de  $P_n$  y  $M_n$  para cada excentricidad, que producirán un estado inminente de falla, cada uno de los cuales constituye un punto en una Gráfica de  $P_n$  Vs  $M_n$ , como en la figura 2.6. Esta Gráfica se conforma con una serie de puntos que son hallados de forma similar al anterior, cada uno de los cuales es correspondiente a una excentricidad diferente.

Cada excentricidad en esta Gráfica está representada por una línea radial y se denota como  $e=M/P$ , las cuales, con un aumento gradual de carga definirán una trayectoria de carga. La falla se presentará cuando esta trayectoria de carga alcance la curva límite. La línea de carga balanceada divide la Gráfica en dos partes, una por encima que representan las cargas que se encuentran en compresión y otra zona por debajo para las cargas en tensión.

**Figura . 2.6. Diagrama de interacción para la resistencia nominal de una columna sometida a flexión y carga axial. Adaptada de la Nilson.**



La capacidad de la columna para carga concéntrica vertical corresponde al eje  $e=0$ , y  $P_o$  y puede ser determinada con la ecuación:

<sup>1</sup> Diseño de Estructuras de Concreto; Arthur H. Nilson; Pág. 251.

$$P_n = 0.85f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st}f_y. \quad \text{Ec 2.5}$$

Mientras que el eje horizontal corresponde a un valor infinito de  $e$  con una capacidad a momento de  $M_o$ .

La magnitud de cada excentricidad producirá distintos tipos de falla, así, una excentricidad pequeña producirá falla por compresión del concreto, en tanto grandes excentricidades originará una falla que inicia con la fluencia del acero a tensión.

Para una determinada columna, el diagrama se traza desde un rango donde la carga es puramente axial, pasando por varias combinaciones de  $P_n$  y  $M_n$ , hasta llegar a una situación de flexión pura. Cualquier combinación dentro de la curva es satisfactoria, mientras que una combinación que se encuentre fuera de la curva representa una falla.  $P_o$  representa la capacidad de la columna de resistir carga axial, mientras que el punto  $M_o$  es la capacidad de la columna de resistir momento flexionante.

Sobre la curva, al movernos desde el punto  $P_o$ , la capacidad de soportar carga axial disminuye mientras que la capacidad de resistir momento flexionante aumenta. Entre los puntos  $P_o$  y  $M_o$ , la columna falla por una combinación de carga axial y flexión. El punto  $P_b$  es llamado punto balanceado, en el cual se considera que la falla de la columna ocurre por fluencia del acero y por aplastamiento del concreto.<sup>1</sup>

Para una columna, la construcción del diagrama de interacción se hace sencilla escogiéndose valores sucesivos de la distancia al eje neutro  $c$ , desde el infinito hasta un valor muy pequeño para obtener  $p_n = 0$ .

Como se dijo anteriormente, la línea de carga balanceada divide la Gráfica en dos partes, una por encima que representa el intervalo de falla a compresión y otra zona por debajo que representa el intervalo de falla a tensión. Existe un punto de falla balanceada, en el cual el concreto alcanza su deformación límite  $\epsilon_u$  al tiempo en que el acero a tensión entra en fluencia.

---

<sup>1</sup>Diseño de Concreto Reforzado; MCCORMAC, Jack C.

**Flexión biaxial.** Anteriormente se vio el caso para cuando en la columna solo está presente la flexión en uno de los ejes principales. Existen casos en los que la columna, a parte de verse sometida a la compresión axial, también existe flexión en los dos ejes principales de su sección y se dice que la columna está cargada biaxialmente. Ejemplo de esto es el caso de las columnas esquineras de edificios.

Figura .2.7. Columna cargada biaxialmente. (a) Flexión uniaxial con respecto al eje Y. (b) Flexión uniaxial con respecto al eje X. (c) Flexión biaxial con respecto a un eje diagonal. Adaptada de Nilson.

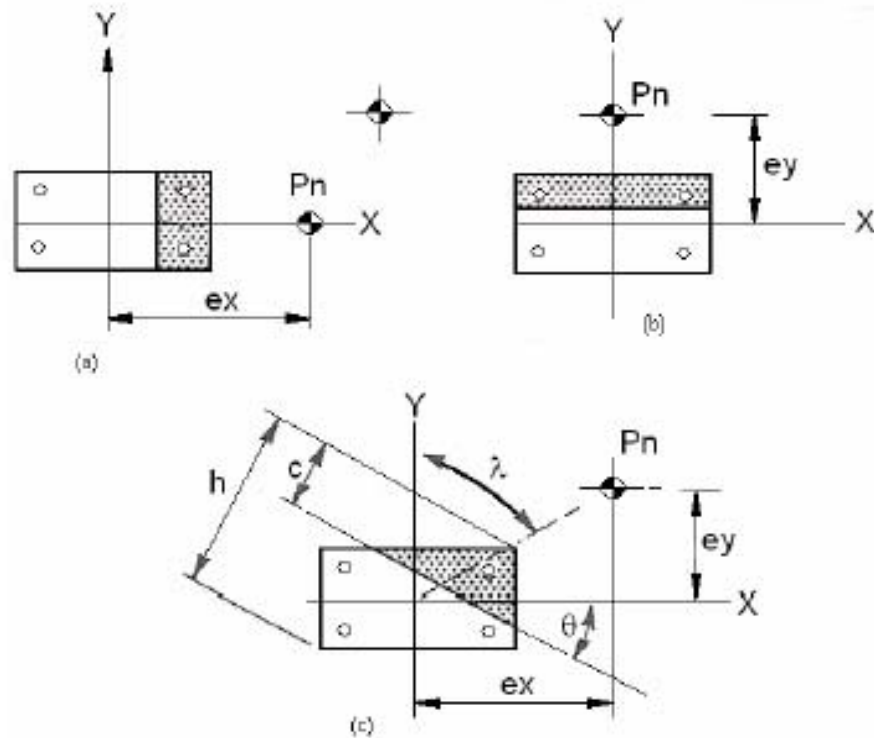
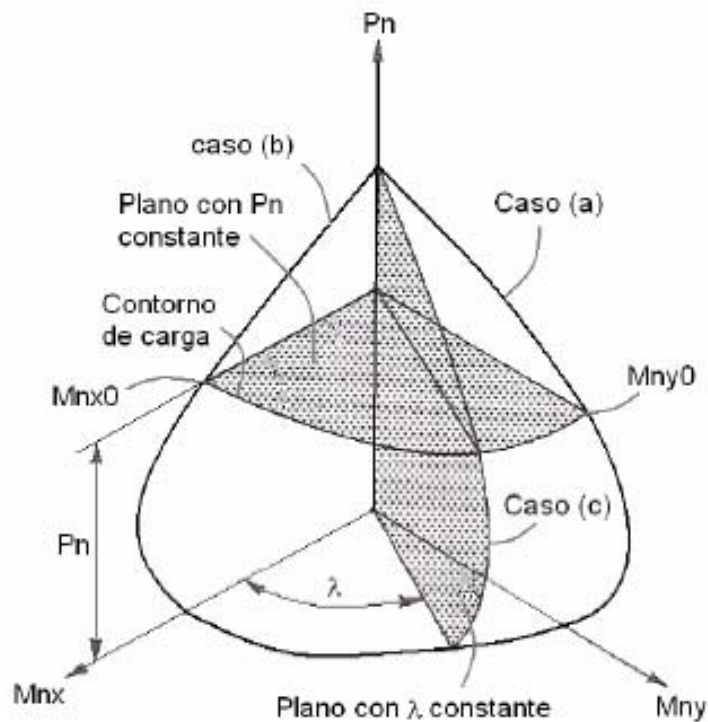


Figura 2.8. Diagrama de interacción para compresión y flexión biaxial. Adaptada de Nilson.



La figura 2.8 esquematiza el caso de columnas cargadas biaxialmente. Teniendo en cuenta estas situaciones de carga, se puede obtener curvas que definen la superficie de falla para una situación de carga axial más flexión biaxial (figura 2.6). En las figuras 2.5a y 2.5b, la sección es sometida a flexión solo con respecto a uno de los ejes principales. En la primera con respecto al eje X, mientras que la segunda con respecto al eje Y.

Las distancia  $e_x$  y  $e_y$  son las excentricidades de las cargas medidas en la dirección X y en la dirección Y respectivamente. Con los métodos corrientes de flexión uniaxial, se pueden obtener las curvas de interacción definidas en la figura 2.6 como caso (a) y caso (b). Para la curva de interacción producto de la combinación de los ejes de flexión X & Y, mostrada como caso c, la orientación de la excentricidad resultante representada por el ángulo  $\lambda$ , puede ser obtenida mediante:

$$\lambda = \arctan \frac{e_x}{e_y} = \arctan \frac{M_{ny}}{M_{nx}}$$

**Ec 2.6**

En esta última curva, la flexión es respecto a un eje rotado un ángulo  $\theta$  del eje X. Así, para varios valores de  $\theta$ , se obtienen diferentes curvas que definen la superficie tridimensional de falla para la situación descrita de una columna con carga axial más flexión biaxial, mostrada en la figura 2.8 expuesta anteriormente.

Cualquier combinación de  $P_u$ ,  $M_u$  y  $M_{uy}$  que caiga dentro de la superficie, puede aplicarse sobre la columna en forma segura, mientras que si cae por fuera de esta, representaría la falla.

### 3. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL

#### 3.1. INTRODUCCIÓN O GENERALIDADES

- **Especificaciones programa ANSYS.**

El programa de elementos finitos ANSYS permite desarrollar entre otras las siguientes actividades:

- Estudiar las respuestas físicas, como los niveles de esfuerzos, las distribuciones de temperatura o campos electromagnéticos
- Aplicar las cargas de operación al modelo o diseñar las condiciones de funcionamiento.
- Hacer prototipos de prueba en ambientes donde de otra forma sería indeseable o imposible
- Optimizar un diseño en su etapa de desarrollo para reducir los costos de producción.
- Construir modelos digitalizados o transferir modelos tipo CAD de estructuras productos, componentes o sistemas

- **Conceptos generales**

La idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento.

El término elemento finito resume el concepto básico del método: la transformación de un sistema físico, con un número infinito de incógnitas, a uno que tiene un número finito de incógnitas relacionadas entre sí por elementos de un tamaño finito.

Un nudo es una localización en el espacio de un punto en el que se considera que existen ciertos grados de libertad (desplazamientos, potenciales, temperaturas, etc.) y acciones (fuerzas, corrientes, condiciones de contorno...) del sistema físico. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema.

Un electo es una representación matemática matricial, denominada matriz de rigidez, de la interacción entre los grados de libertad de un conjunto de nodos. Los elementos pueden ser puntuales, lineales, superficiales, volumétricos, etc. y pueden estar en espacios bi o tridimensionales.

El sistema, debido a las condiciones de contorno: empotramiento, fuerza puntual y temperatura, evoluciona hasta un estado final. En este estado final, conocidos los valores de los grados de libertad de los nodos del sistema podemos determinar cualquier otra incógnita deseada: tensiones, deformaciones, También sería posible obtener la evolución temporal de cualquiera de los grados de libertad.

- **Entorno de ANSYS**

Ansyes está organizado en dos niveles básicos:

- Nivel de comienzo.
- Nivel de procesamiento.

El nivel de comienzo actúa como una puerta de entrada y salida de ANSYS. Es también empleado para definir ciertos controles globales del programa como cambiar el nombre del trabajo, borrar la base de datos y copiar archivos binarios. En el nivel de procesamiento, están disponibles varios procesadores. Entre los más utilizados para nuestro estudio están:

**Tabla 3.1. Resumen de niveles de procesamiento entorno ANSYS.**

PROCESADOR	FUNCIÓN	GUI	COMANDO
PREP 7	Construye el modelo (geometría, materiales, restricciones, etc.)	Main Menu » Preprocessor	/PREP7
SOLUTION	Aplica las cargas y obtiene la solución de los elementos finitos.	Main Menu » Solution	/SOLU
POST1	Revisa resultados sobre el modelo entero en puntos específicos	Main Menu » Preprocessor » General Postproc	/POST1

Para retornar al nivel de entrada o de comienzo desde cualquier proceso, hay que activar el comando FINISH desde el menú principal del programa y si se desea salir del programa hay que activar el comando EXIT. Por defecto, inmediatamente antes de salir del programa, el modelo y las cargas son guardadas en una base de datos, automáticamente salvadas y escritas en la base de datos FILE. El programa

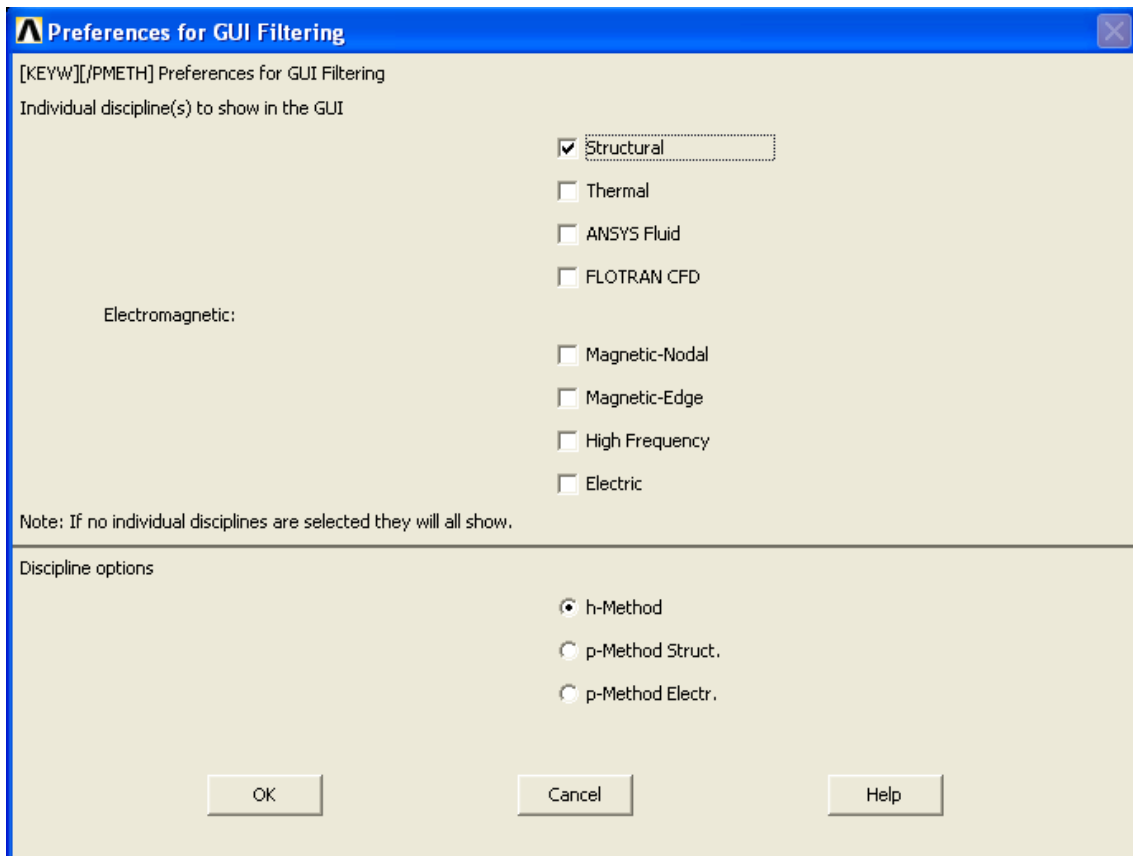
ANSYS trabaja con una larga base de datos que almacena todos los datos de entrada y resultados de una manera organizada.

### 3.2. PROCEDIMIENTO PARA DIBUJAR PÓRTICOS ANSYS 3D:

Ansyes es un programa de modelamiento que abarca un sin número de posibilidades, como primera acción debemos definir la preferencia a desarrollar por el programa de modo que el modelamiento tenga un rumbo a desarrollar, para esto hacer;

Haga clic en ansys main menu> preferences y en la siguiente ventana haga clic en estructural.

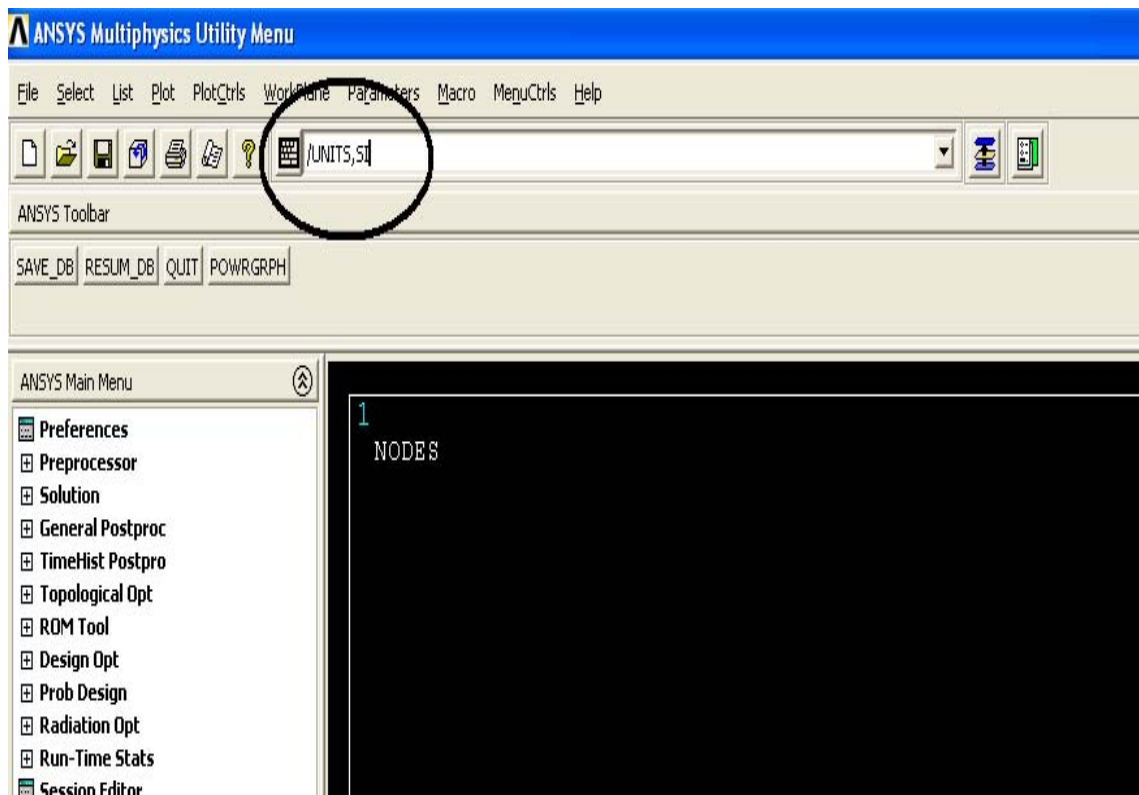
Figura 3.1. Ventana preferencia de modo



- **Unidades.** El programa Ansys utiliza diferentes tipos de unidades, es recomendable para este proyecto utilizar unidades del sistema internacional (SI).

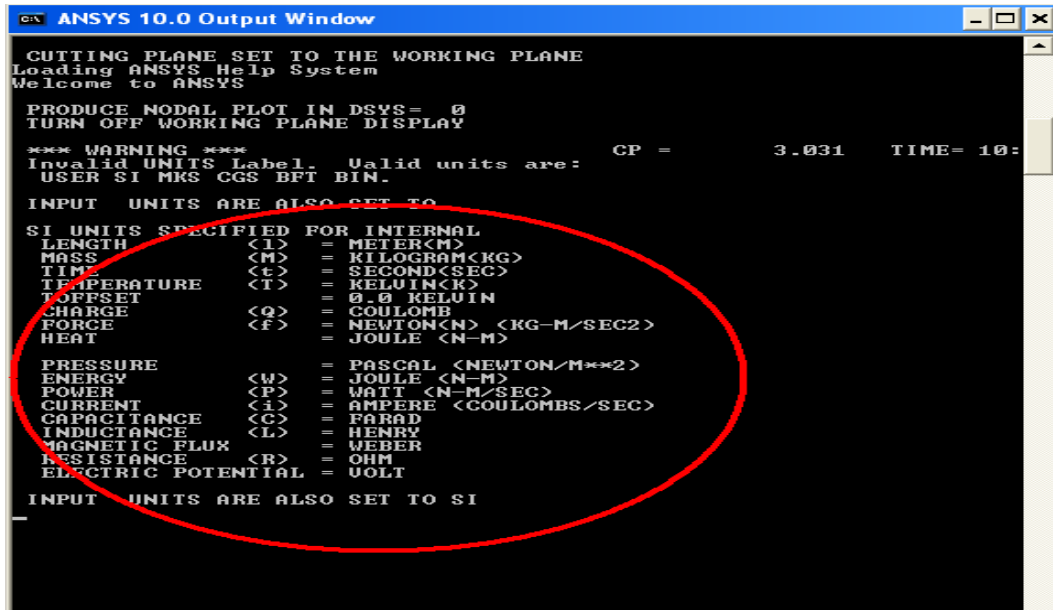
Digitar el comando /units,si en el recuadro principal como se muestra a continuación:

**Figura 3.2. Definir unidades**



Para verificar las unidades que se utilizarán para cada uno de los casos abrimos la ventana auxiliar del Ansys y observaremos las unidades,

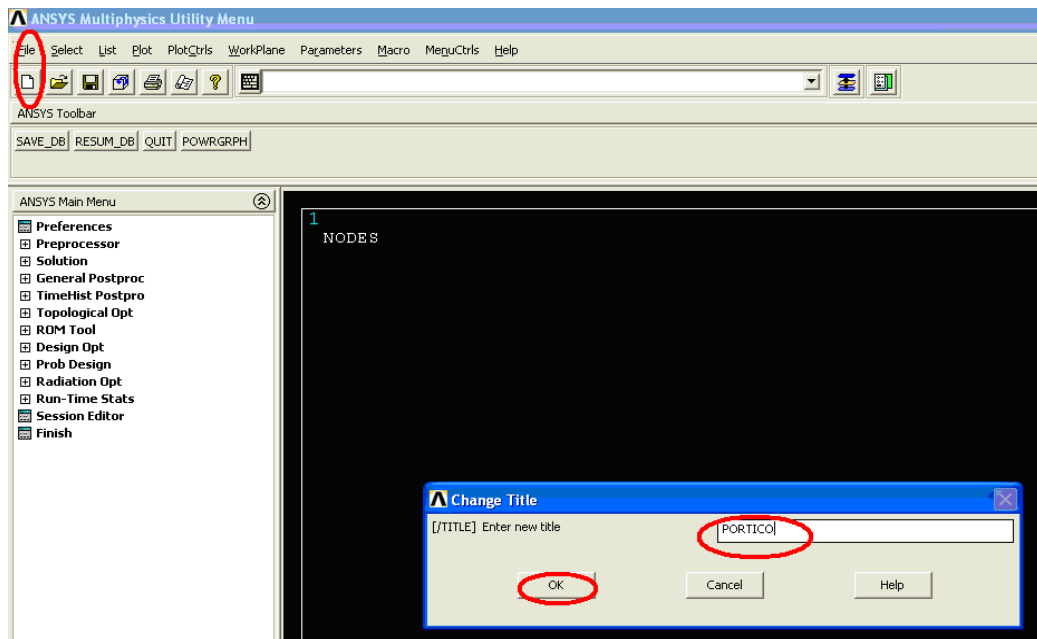
Figura 3.3. Verificación unidades de trabajo



- Nombre del proyecto. Para esto se debe utilizar el menú principal.

Utility Menu > File > Clear and Start New “ pro ejemplo portico”  
Aparecerá entonces la siguiente ventana donde se introducirá el nombre.

Figura 3.4. Nombre de proyecto



Introducir el título y hacer clic en 'OK'. Este título aparecerá en la esquina inferior izquierda de la 'Gráficos'.

**Nota:** Para ir al título inmediatamente, Seleccione **Utility Menu > Plot > Replot**.

• **Introducción de los puntos.** Para esto necesitara saber las coordenadas de los puntos. Para el ejemplo es un pórtico de 4m\*4m\*3m.

El general de la geometría se define en ANSYS utilizando keypoints los que se especifican diversas coordenadas principales para definir el cuerpo.

Definir 16 nodos para la simplificación de la estructura, tal como figura en el siguiente cuadro:

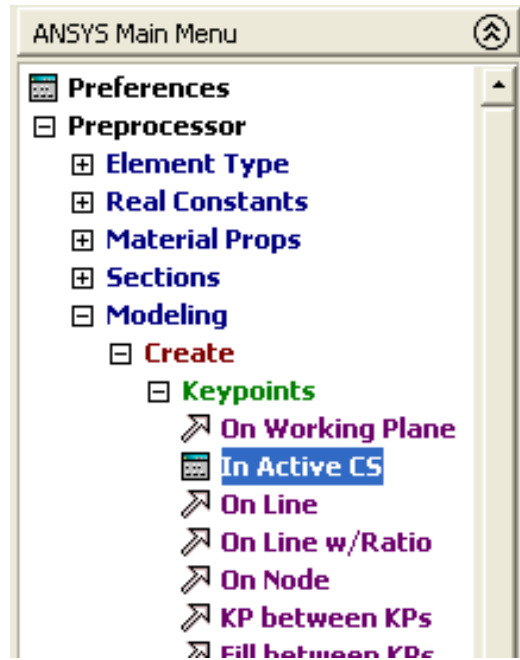
**Figura 3.5. Tabla de keypoints a definir.**

<b>NODOS</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>
<b>1</b>	0	0	0
<b>2</b>	0	3	0
<b>3</b>	0.8	3	0
<b>4</b>	1.6	3	0
<b>5</b>	2.4	3	0
<b>6</b>	3.2	3	0
<b>7</b>	4	3	0
<b>8</b>	4	0	0
<b>9</b>	0	0	-4
<b>10</b>	0	3	-4
<b>11</b>	0.8	3	-4
<b>12</b>	1.6	3	-4
<b>13</b>	2.4	3	-4
<b>14</b>	3.2	3	-4
<b>15</b>	4	3	-4
<b>16</b>	4	0	-4

Ahora para ingresar los respectivos puntos al Ansys ir al menú principal y seleccionar de la siguiente manera:

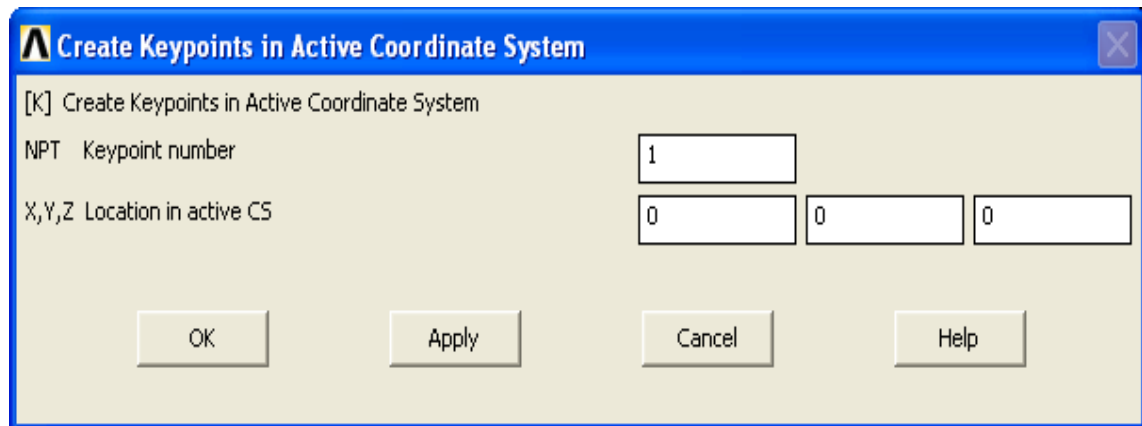
**Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS**

Figura 3.6. Ingreso de keypoints.



Aparecerá una ventana como la siguiente:

Figura 3.7. Ventana ingreso keypoints.



Para definir el primer keypoint que tiene las coordenadas  $x = 0, y = 0$  y  $z = 0$ : se introduce el nodo número 1 en la casilla correspondiente, y entrar en la  $x, y, z$ .Coordenadas: 0, 0, 0, en sus casillas correspondientes (como se muestra

arriba). Haga clic en 'Aplicar' para aceptar lo que se ha escrito. Ingresar los nodos restantes utilizando el mismo método.

**Nota:** Al entrar en el último punto de datos, dar clic en "ok" para indicar que usted ya ha terminado de introducir los nodos. Si usted primero pulse "Aplicar" y luego en "ok" para el nodo final, se ha definido dos veces. Si no pulsa 'Aplicar' para el último punto, basta con pulsar en "Cancelar" para cerrar este cuadro de diálogo.

- **Crear las líneas.** Para esto debemos unir los puntos o keypoints, es aconsejable utilizar el ratón del computador para seleccionar los keypoints para formar las líneas. En el menú principal seleccionar:

**Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > In Active Coord.**

La siguiente ventana aparecerá:

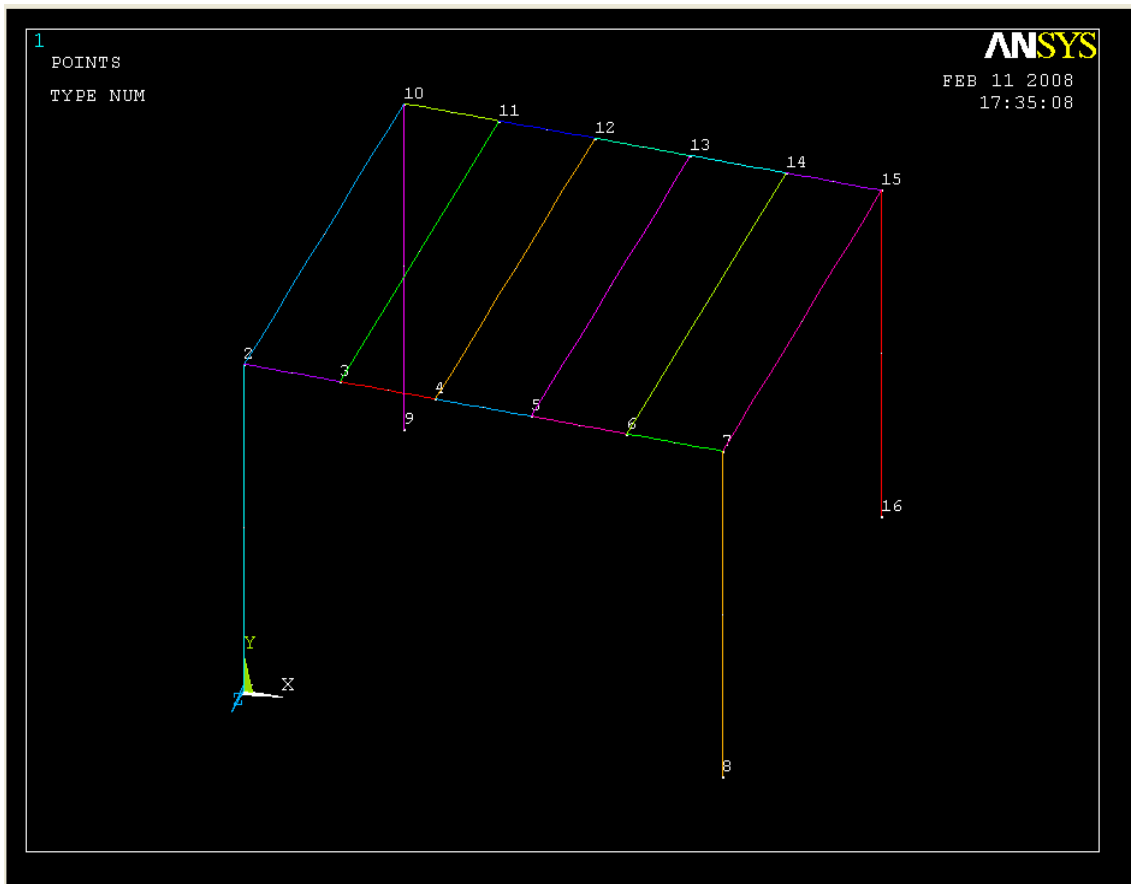
**Figura 3.8. Ventana creación de líneas.**



Con ayuda del ratón se elije keypoint # 1 (es decir, haga clic sobre él). Ahora será marcado por un pequeño cuadro amarillo.

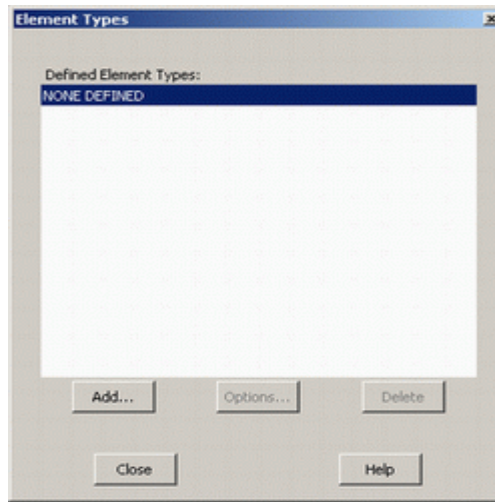
Ahora mover el ratón hacia keypoint # 2. Una línea ahora aparecerá en la pantalla que unirá a estos dos puntos. Clic en la izquierda y una línea queda permanente uniendo a los mismos. Para conectar el resto de keypoints se utiliza el mismo método. Al terminar, clic en 'ok' en la ventana 'Lines in Active Coord', entonces la ventana de gráficos aparecerá una imagen similar a la siguiente figura:

**Figura 3.9. Vista líneas y puntos modelo 3d.**



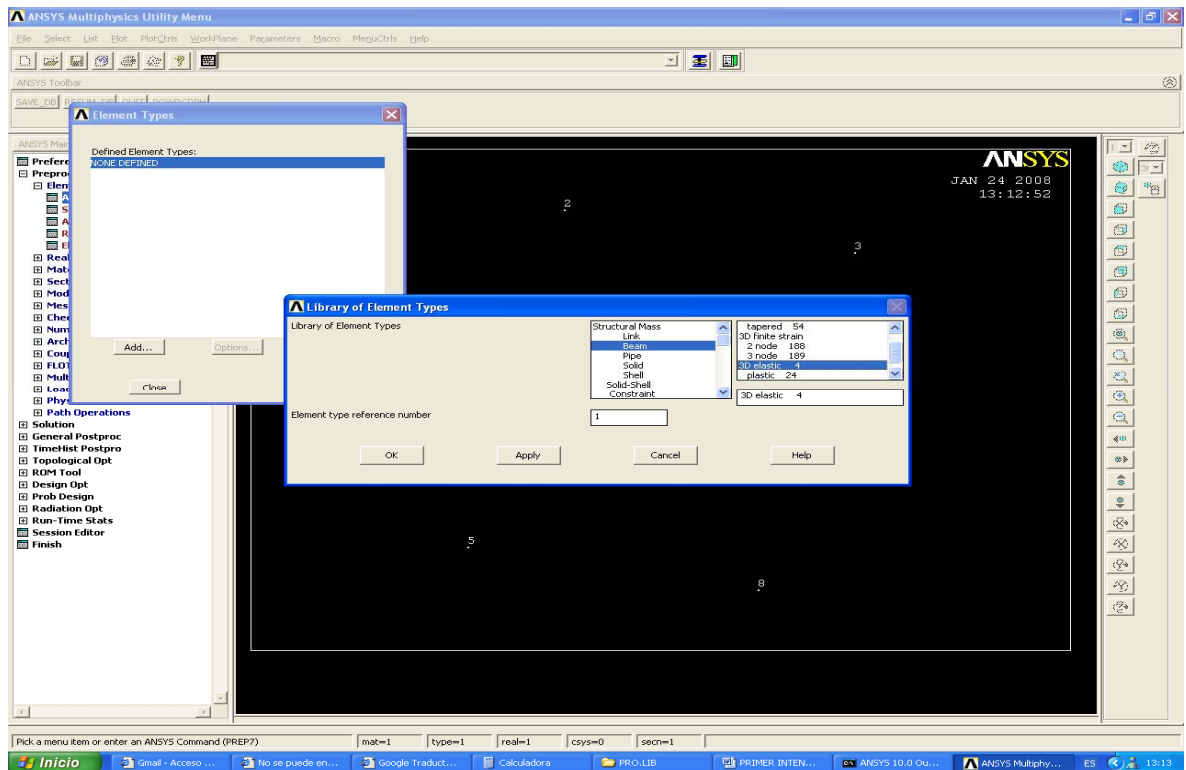
- **Definir el tipo de elemento.** En ANSYS primero es necesario saber qué tipo de elementos se van a utilizar en el modelo. Dirigirse al menú preprocessor y hacer lo siguiente: **Element Type > Add/Edit/Delete**. La siguiente ventana aparecerá:

Figura 3.10. Ventana definir elemento.



Hacer clic en el botón "Agregar (Add)...". La siguiente ventana aparecerá:

Figura 3.11. Ventana auxiliar. Definición tipo de elemento (BEAM/3D elastic 4).

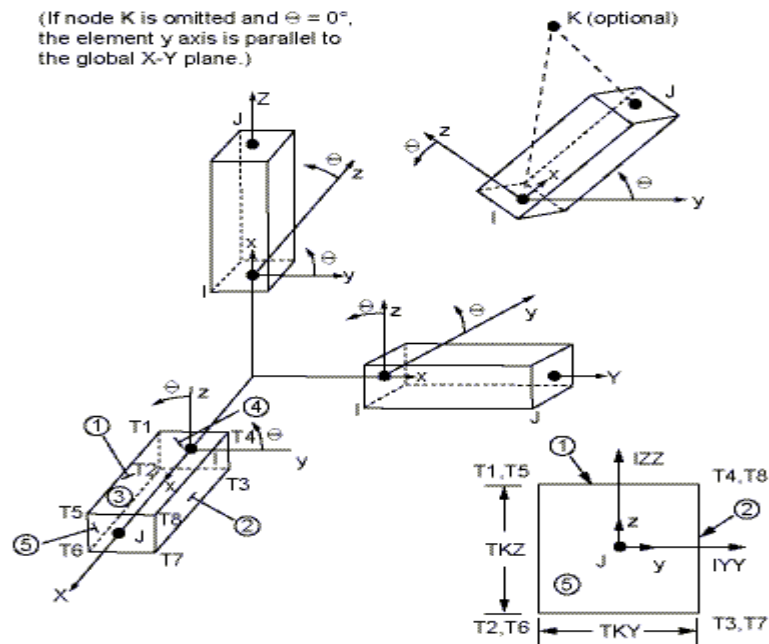


En el diseño se usará el elemento BEAM4 (Beam 3D elastic 4). Este elemento puede ser utilizado para crear la estructuras 3D

- **BEAM4** .3-D Elástico Manga

BEAM4 VIGA ELASTICA. BEAM4 Description del elemento BEAM4 es un elemento con capacidad de tensión; uniaxial, compresión, torsión y flexión. El elemento tiene seis grados de libertad en cada nodo: las traducciones nodales x, y, z y las direcciones y las rotaciones sobre Los nodales x, y, z y ejes. El estrés y rigidez gran capacidad de deformación están incluidos. Una matriz opción de rigidez tangente coherente está disponible para su uso en gran deformación (finito rotación).

Figura 3.12. Tomada Del Ansys Describcion Elementos



El elemento se define por dos o tres nodos, transversales de la zona, dos de los momentos de inercia de la zona (IZZ y IYY), dos espesores (TKY y TKZ), un ángulo de orientación ( ) sobre el elemento eje "x",

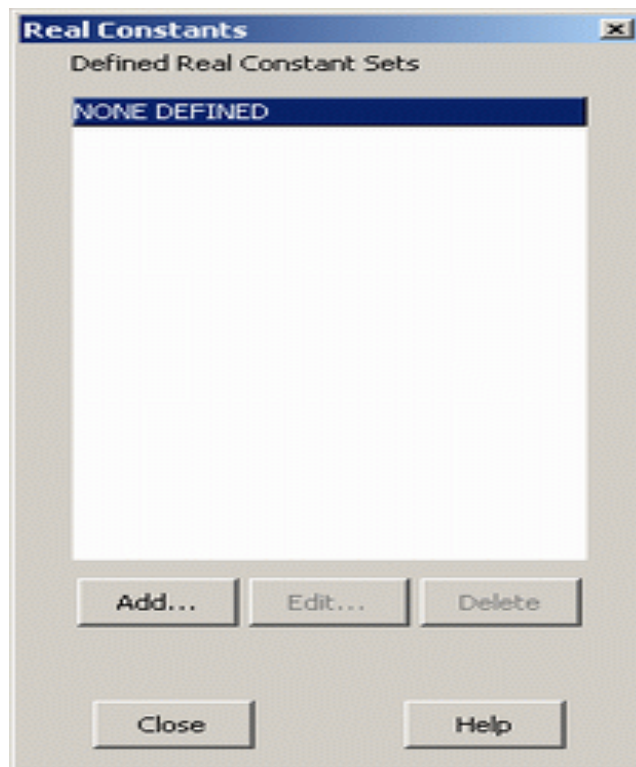
El momento Torsional de inercia (IXX), y las propiedades del material. IXX Si no se especifica o es igual a 0,0, se supone igual al momento de inercia polar (IYY + IZZ). IXX debe ser positivo y suele ser menor que el momento de inercia polar.

El elemento de rigidez torsional disminuye con la disminución de los valores de IXX. Un añadido en masa por unidad de longitud se puede escribir con un valor ADDMAS.

Haga clic en 'close' para salir del cuadro de diálogo.

- **Definición de las propiedades geométricas del pórtico.** Ahora se tiene que especificar las propiedades geométricas de nuestros elementos. Se debe dirigir al menú preprocessor y seleccionar: **Real Constants > Add/Edit/Delete.** Aparecerá la siguiente ventana:

Figura 3.13. Ventana definir propiedades geométricas.



Hacer clic en Add y aparecerá la siguiente ventana: En esta se dan las respectivas características geométricas:

Vigas de 30cm\*30cm y una longitud de 4m y Columnas de 30\*30cm y una altura de 3m

- i.  $I_{zz}=0.675E-3m^4$
- ii. Área= 0.09m<sup>2</sup>
- iii.  $I_{yy}=0.675E-3m^4$

Ingresar así:

Figura 3.14. Ventana ingreso de propiedades geométricas.

Element Type Reference No. 1	
Real Constant Set No.	1
Cross-sectional area AREA	0.09
Area moment of inertia IZZ	0.000675
Area moment of inertia IYY	0.000675
Thickness along Z axis TKZ	0
Thickness along Y axis TKY	0
Orientation about X axis THETA	0
Initial strain ISTRN	0
Torsional moment of inertia IXX	0
Shear deflection const Z SHEARZ	0
Shear deflection const Y SHEARY	0
Rotational frequency SPIN	0
Added mass/unit length ADDMAS	0

### En El Análisis Se Definió Dos Tipos De Propiedades Geométricas

(para columnas y vigas que es una, y para viguetas que es otra).

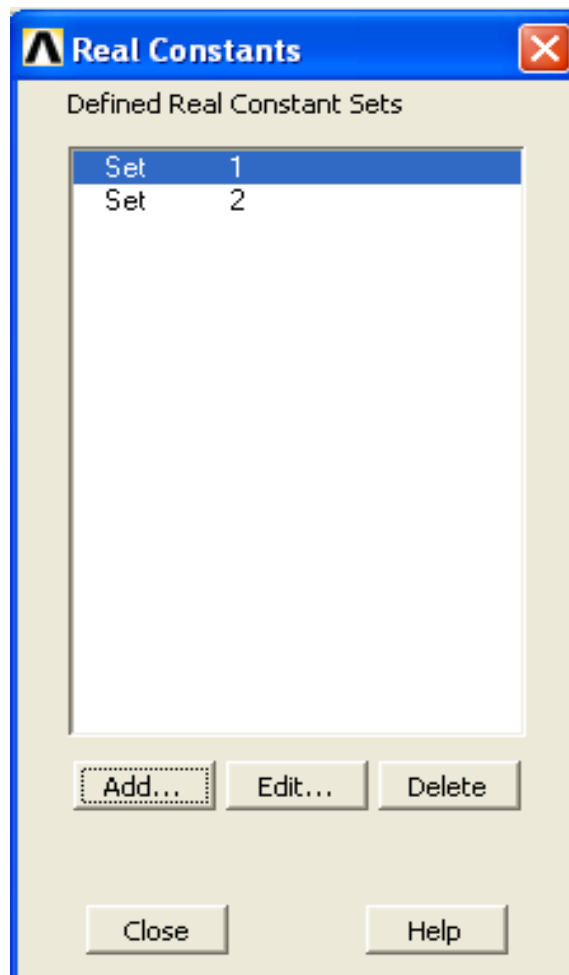
Hacer la misma operación pero con las siguientes propiedades geométricas:

Columnas de BASE 10cm\*ALTURA 22cm

- iv. Area= 0.022m<sup>2</sup>
- v. Izz=88.733E-6m<sup>4</sup>
- vi. Iyy=18.333E-6m<sup>4</sup>

Al realizar y hacer clic en ok Aparecerá esta ventana.

Figura 3.15. Ventana definir propiedades geométricas (para dos o más elementos).



Luego hacer clic en CLOSE.

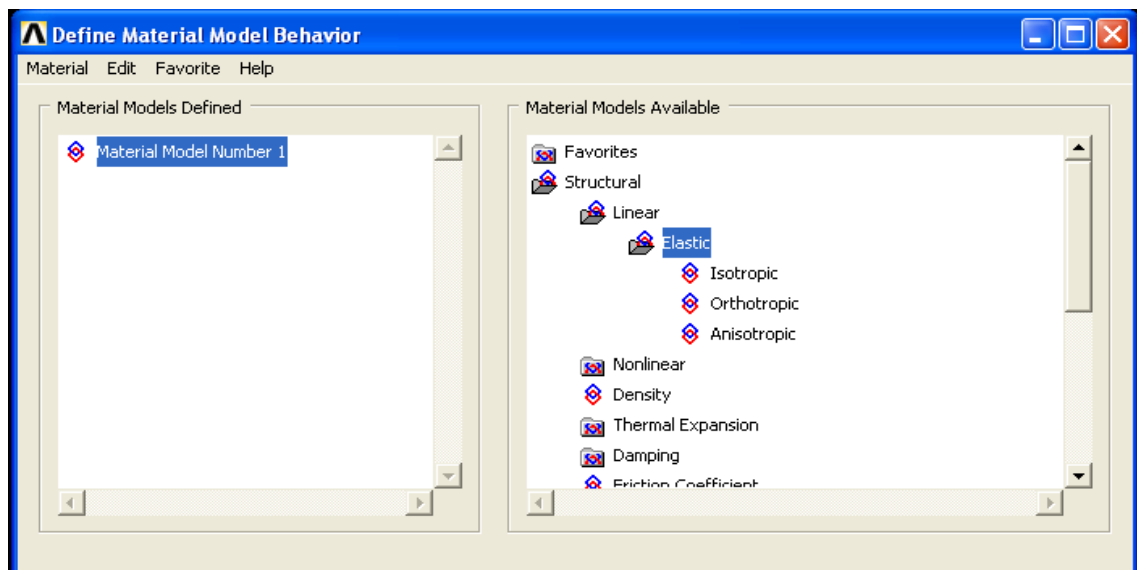
- **Definición de las propiedades del material.** Especificar las propiedades del material , ir al menú preprocessor y hacer:

### Material Props > Material Models

Aparecerá la siguiente ventana donde se dará doble clic en isotropic; se entiende que la estructura se comporta de forma lineal; es elástica e isotrópica.

### Structural > Linear > Elastic > Isotropic

Figura 3.16. Ventana definición de propiedades físicas del material.

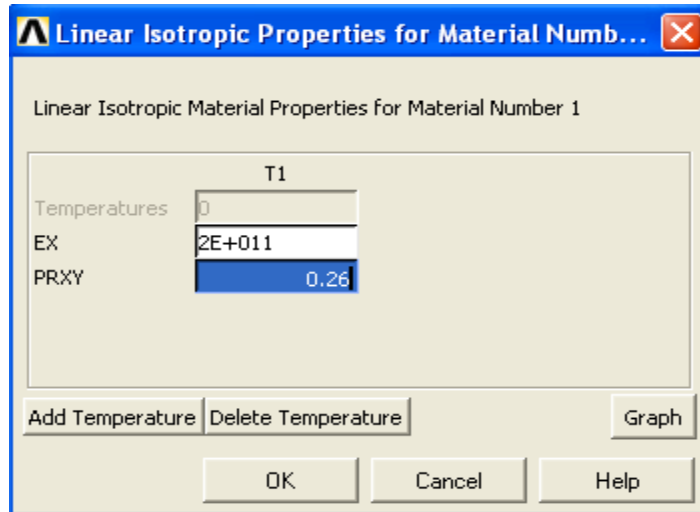


Al hacer doble clic en isotropic aparecerá la siguiente ventana donde se digitarán las propiedades del material.

- Modulo de elasticidad  $E_x = 200000\text{Mpa}$
- Radio de Poisson  $\nu_{xy} = 0.26$

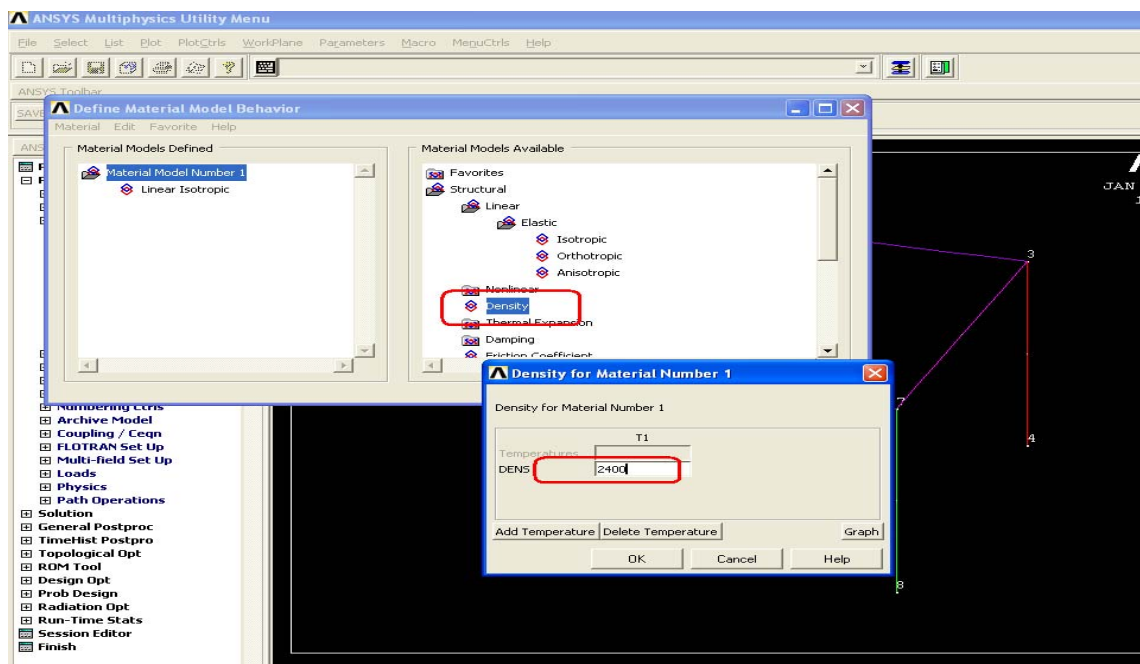
**Nota:** como Ansys lee en unidades del sistema internacional se debe tener cuidado al ingresar las unidades. ( $2e11\text{ N/m}^2$ )

Figura 3.17. Ventana auxiliar. Ingreso modulo de elasticidad y constante de Poisson.



- Al establecer estas propiedades se hace clic en 'ok' en la ventana para continuar, y ahora Cerrar esta ventana.
- Ahora se hará la misma operación para ingresar la densidad del material. De esta forma:
- Para entrar en la densidad del material, haga doble clic en 'lineal' seguido de 'densidad' en el 'Modelo de Comportamiento de Materiales Definir' Ventana

Figura 3.18. Ventana auxiliar. Ingreso densidad del elemento.



Introduzca una densidad de 2400 Kg/m<sup>3</sup>

Nota: Para análisis, tanto la rigidez y la densidad de material tienen que ser especificados.

• **Definir sección.** Para este modelo se definirán tres tipos de sección.

**COLUMNAS:**

**B**= 0.3m, **H**= 0.3m, **Nb**=2 , **Nc**=2

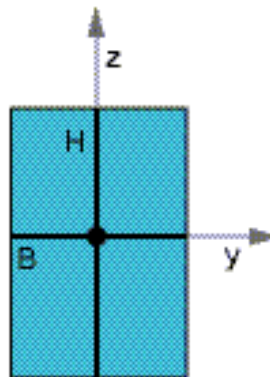
**VIGAS**

**B**= 0.3m, **H**= 0.3m, **Nb**=2 , **Nc**=2

**VIGUETAS**

**B**= 0.1m, **H**= 0.22m, **Nb**=2 , **Nc**=2

Figura 3.19. Ejemplo sección transversal.



Los datos que se suministran en el valor de los campos B, H, Nb, Nh.

B = Ancho

H = Altura

Nb = Número de ancho a lo largo de la sección; por defecto = 2

Nh = Número de altura a lo largo de la sección; por defecto = 2

Nb \* Nh

Hacer clic en close y listo.

- **Tamaño de malla o mesh size.** En el modelo se encuentran dos tipos de geometrías tanto para vigas como columnas y viguetas, por lo tanto se debe definir que líneas son vigas, columnas, viguetas.

En el preprocesador, seleccione el menú de **Meshing > mesh attributes > picked Lines**

Figura 3.20. Definir sección.

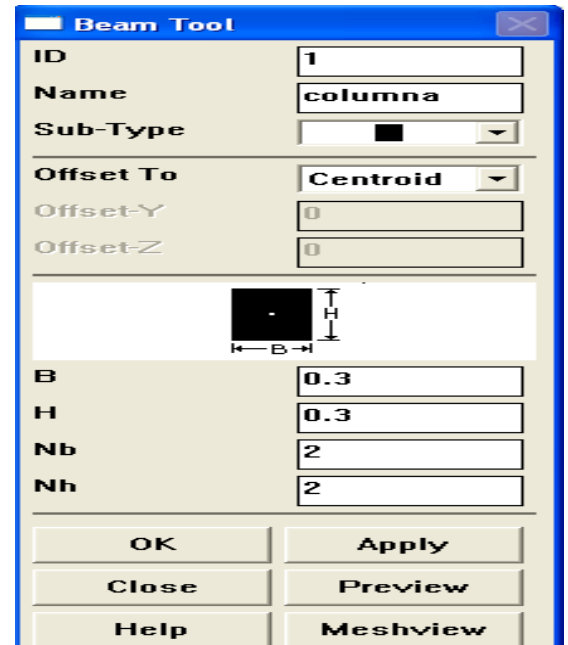
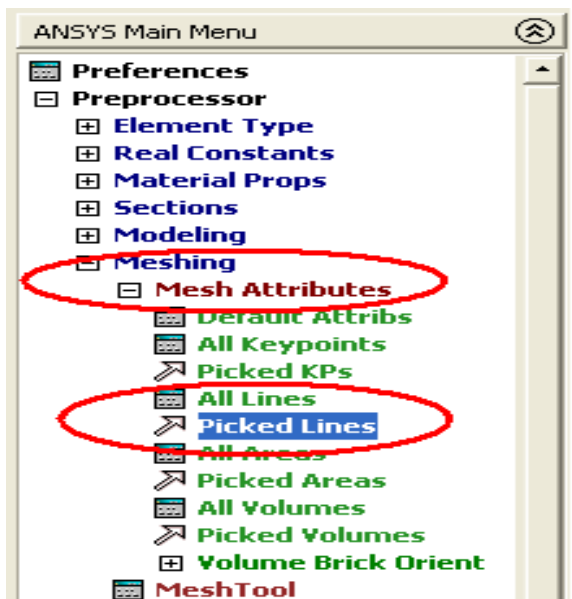
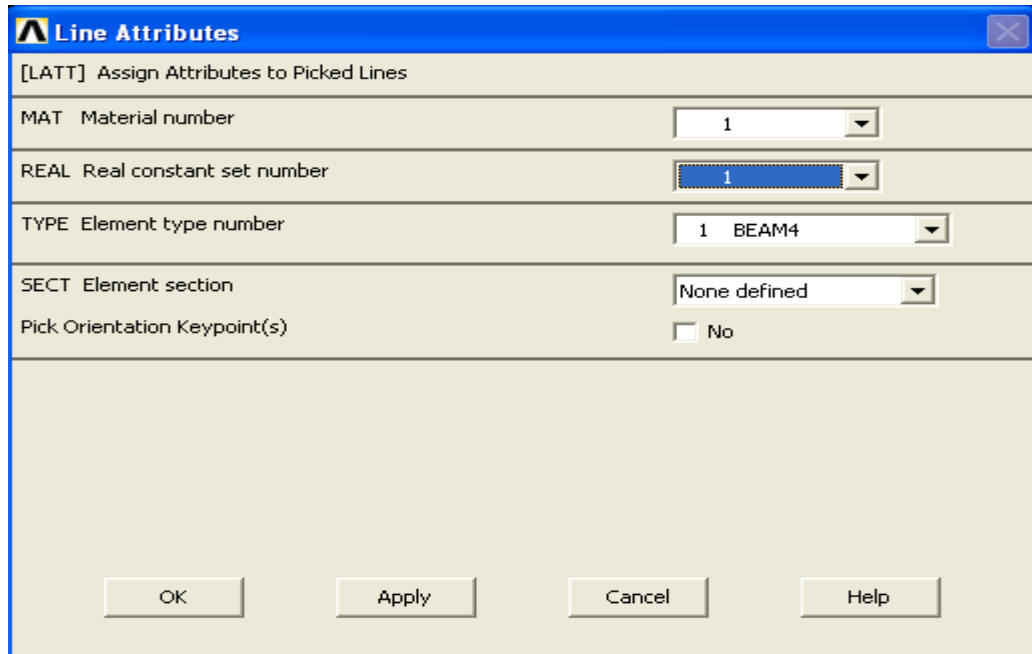


Figura 3.21. Ingreso a tamaño de malla.



Aparecerá la siguiente ventana donde se hará la correspondiente asignación de material, geometría, sección, etc.

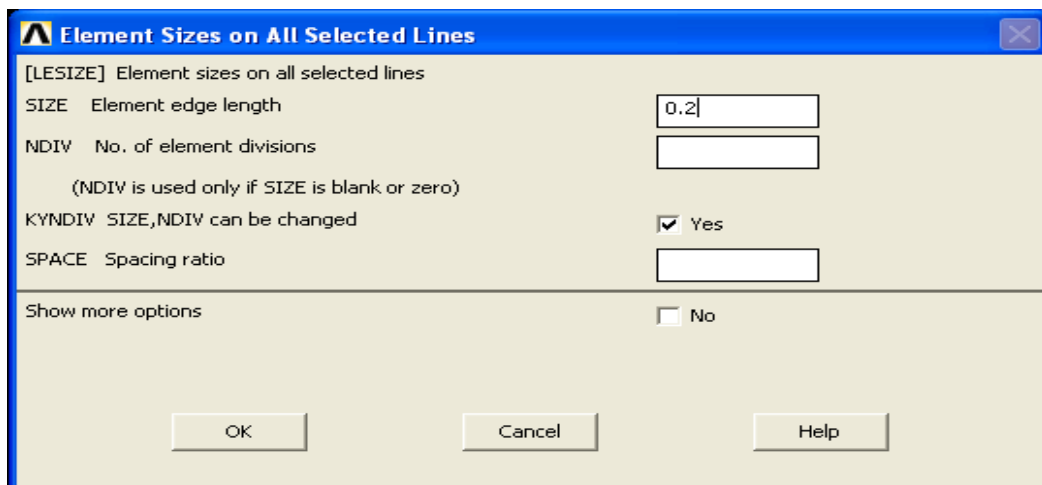
Figura 3.22. Definición de atributos.



Hacer esto para cada tipo de línea, definiendo vigas, columnas, viguetas.

Ahora en el preprocesor, seleccione el menú de **Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > All Lines**.

Figura 3.23 Tamaño de malla.

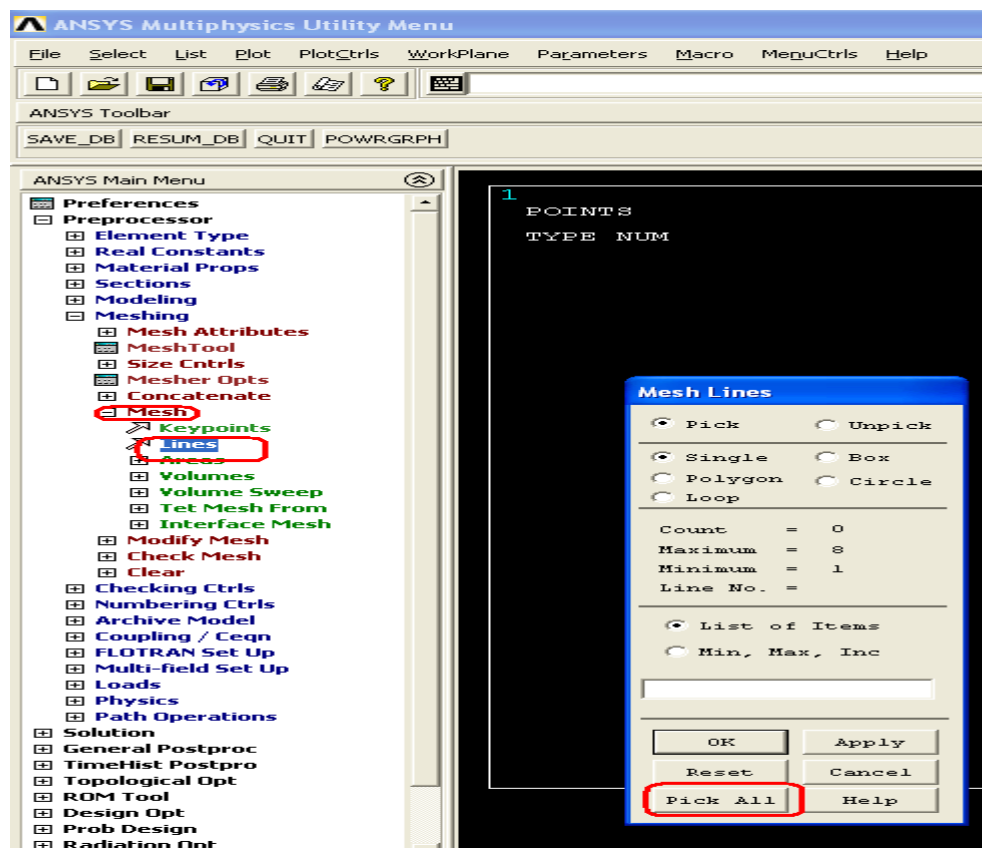


En el 'SIZE' element edge length, escriba el elemento de la longitud deseada. Para este ejemplo se quiere un elemento de 0.2m de longitud, a continuación, hacer clic en 'ok'. Tener en cuenta que todavía no se ha definido la geometría de la malla, simplemente se ha definido el tamaño de los elementos. (Alternativamente, se puede introducir arbitrariamente el número de divisiones de la línea).

**NOTA:** No es necesario hacer la malla de elementos para obtener la solución correcta. Sin embargo el mallado se hace en este caso a fin de poder obtener los resultados (es decir, el estrés, los desplazamientos) en posiciones intermedias.

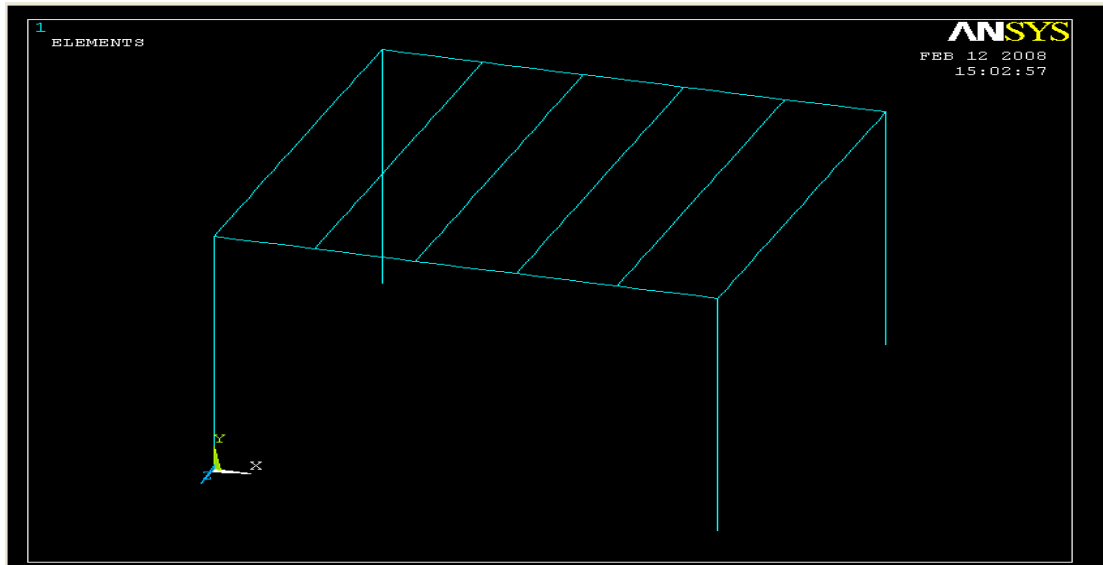
- **Malla o mesh.**Ahora, hacer lo que se muestra en el siguiente cuadro:

Figura 3.24. Definición del mesh.



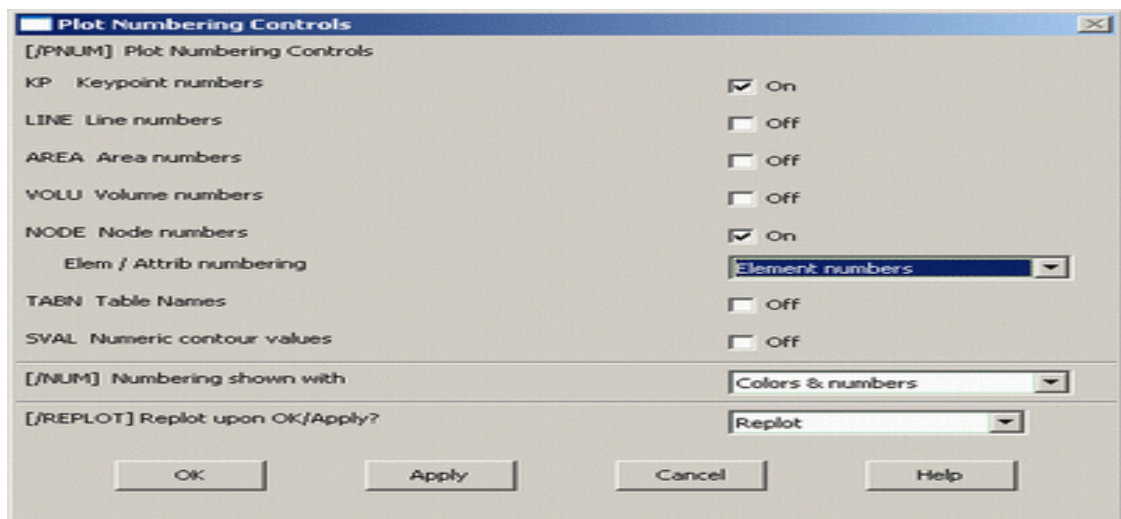
En el 'Preprocessor ', seleccionar el menú de **Meshing > Mesh > Lines** y hacer clic en 'Pick All' en la Ventana; el modelo deberá aparecer ahora como se muestra en la siguiente ventana:

Figura 3.25. Vista del modelo después del mesh.



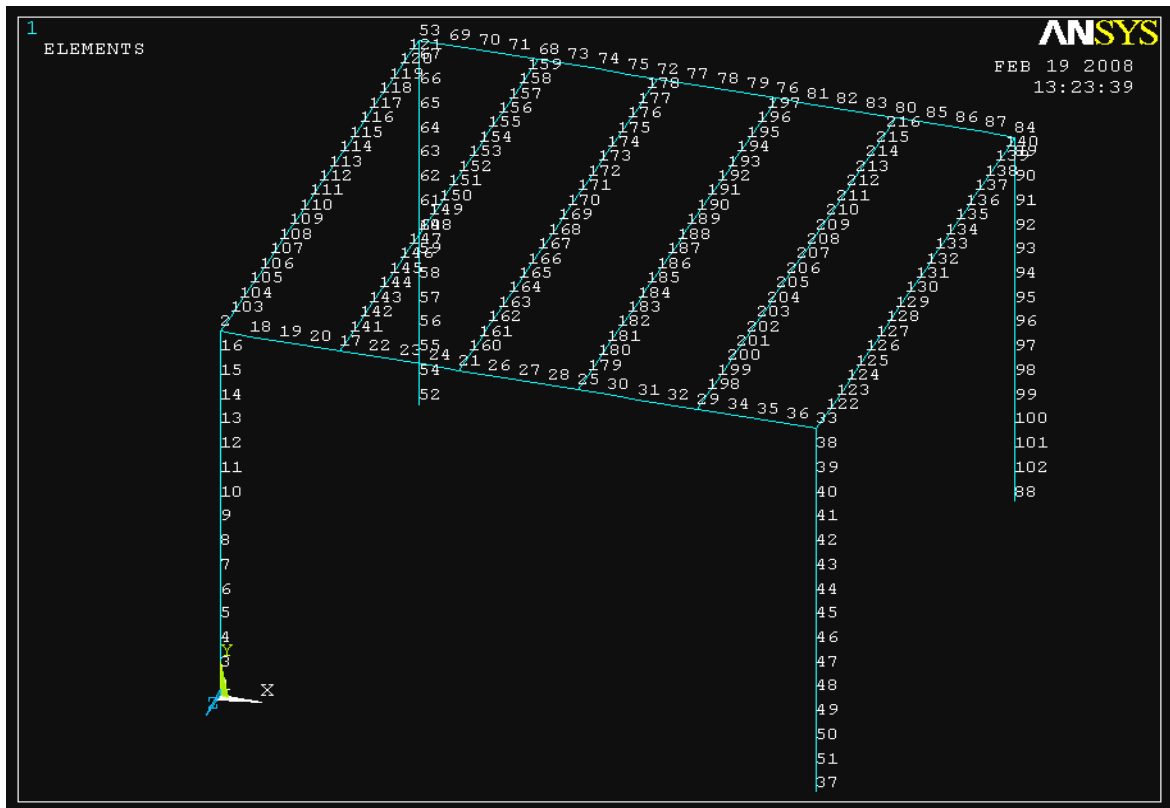
- **Parcela de numeración** Para mostrar los números de línea, números de los keypoint, números de nodo... hacer: Desde el Menú de Utilidades (parte superior de la pantalla) seleccionar PlotCtrls > Numeración... rellenar la ventana como se muestra a continuación y hacer clic en "Aceptar".

Figura 3.26. Ventana parcela de numeración.



Ahora se podrá activar o desactivar la numeración en cualquier momento.

Figura 3.27. Vista parcela de numeración.



- **Cómo guardar el trabajo.** Es recomendable guardar el modelo en este momento, ya que si se comete alguno error más tarde, al menos, se podrá recuperar el modelo hasta a este punto. Para ello se selecciona Menú Archivo> Guardar como.... **Utility Menu**, seleccionar **File > Save as...** y seleccionar el nombre y la ubicación en lo que se desea guardar en archivo.

Es una buena idea guardar el trabajo en diferentes momentos y el análisis del modelo o la copia de seguridad de los trabajos en caso de una caída del sistema o lo que sea.

**Hasta este momento se ha definido el problema ahora pasar a la fase de solución:**

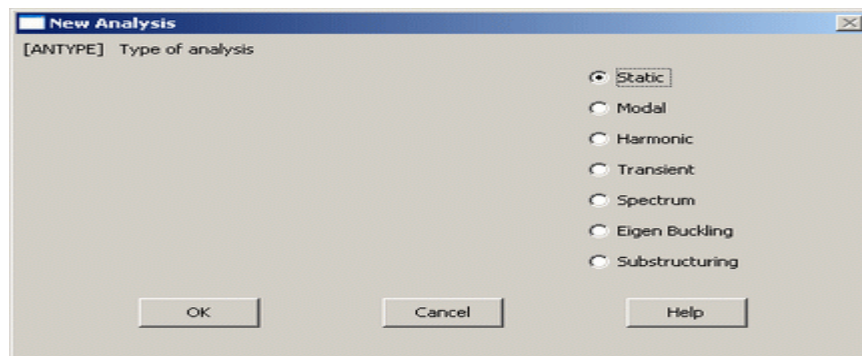
### 3.3. FASE DE SOLUCIÓN.

- **Asignación de cargas y solución.** Se ha definido el modelo. Ahora es el momento de aplicar la(s) carga (s) y limitación (es) y por consiguiente resolver el sistema de ecuaciones.

Abrir el menú ' Solution ' (de la misma 'ANSYS Menú Principal ")

- **Definir el tipo de análisis.** En primer lugar hay que definir la forma como se requiere que el ANSYS de solución a este problema: Entrar en el menu Solution, seleccionar Analysis **Type > New Análisis**

Figura 3.28. Ventana tipo de análisis.



Asegurarse que 'Static' está seleccionado, es decir, que se va a hacer por ejemplo un análisis dinámico. Ahora de clic en ok.

- **Aplicar limitaciones o apply constraints.**

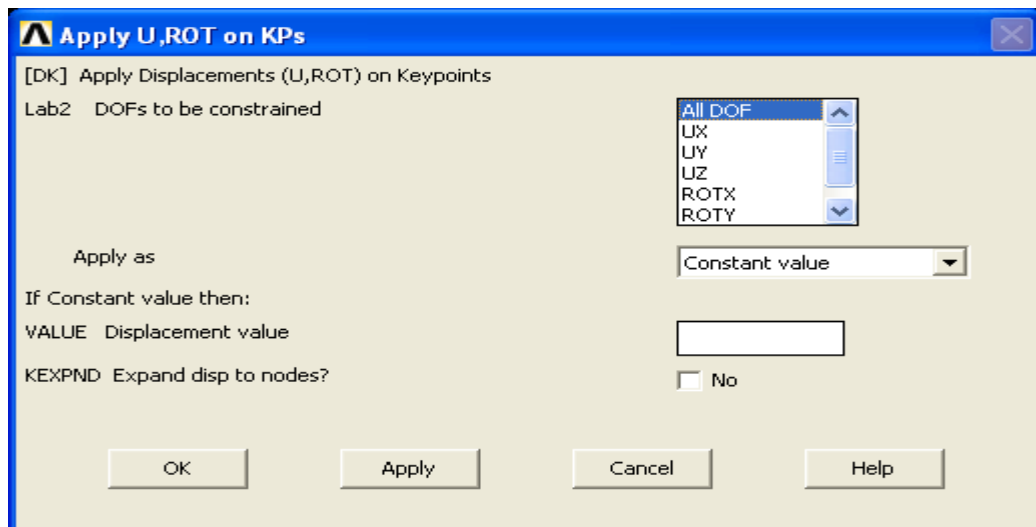
Es necesario aplicar las limitaciones en el modelo de lo contrario el modelo no está atado o en tierra. En las estructuras mecánicas, esas limitaciones suelen ser fijas, sujetado y conexiones de tipo rodillo. En nuestro caso el modelo se encuentra empotrado en su base por lo tanto debemos hacer referencia a esto: Dirigirse al menu Solution, seleccionar: **Defaine Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoint**

Figura 3.29. Ventana definición restricciones.



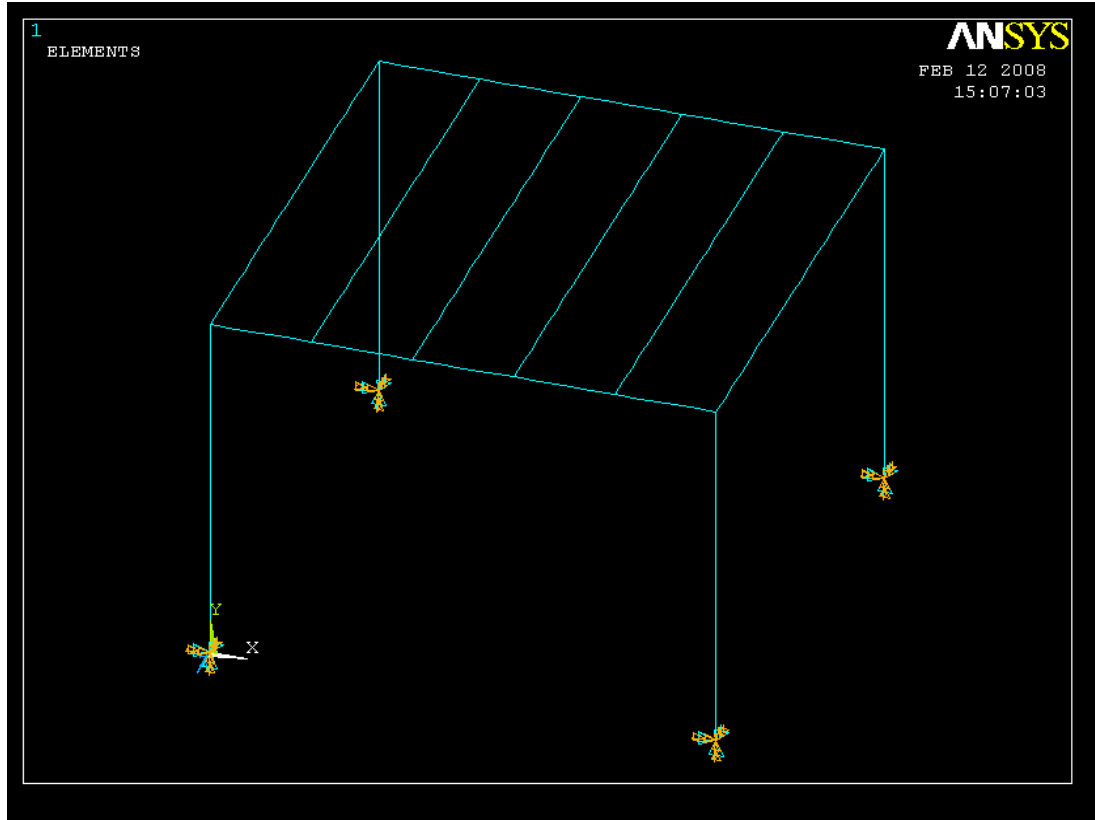
Seleccionar los puntos (Keypoint 1,4 ,5 ,8) haciendo clic en ella en la ventana de gráficos y hacer clic en 'ok' aparecerá una ventana donde usted dará las respectivas restricciones correspondientes.

Figura 3.30. Ventana auxiliar aplicar desplazamientos.



Ahora se observa unos triángulos en el diseño.

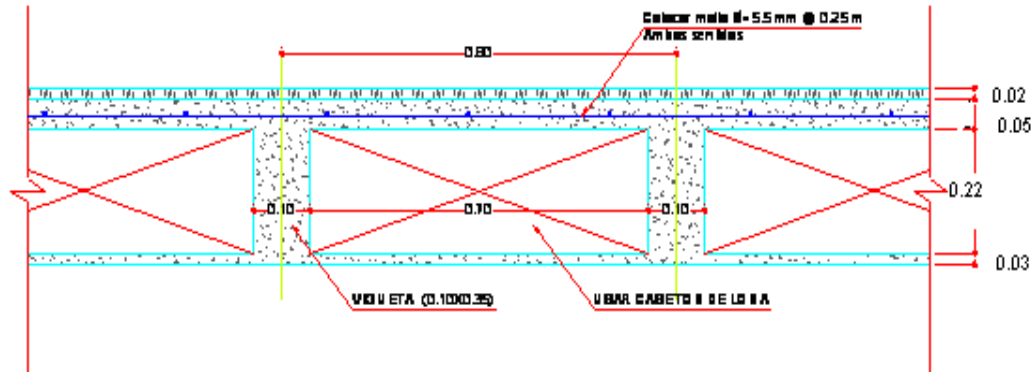
Figura 3.31. Vista restricciones modelo.



e PLACA=	0.30 m	ESPESOR	ANCHO	PESO/AREA	
		m	m	KN/m <sup>2</sup>	
RECUBRIMIENTO		0.04		0.84	
ACABADOS				1.50	
PLAQUETA		0.05		1.20	
VIGUETAS		0.21	0.10	0.73	
CASETON				0.10	
MUROS DIVISORIOS				3.00	
<b>PESO TOTAL DE PLACA D =</b>				<b>7.37</b>	<b>KN/m<sup>2</sup></b>

**Aplicar fuerzas o apply loads.** Hay diferentes formas de aplicar las cargas en el modelo, se dará a conocer la forma de aplicar cargas puntuales así como también cargas distribuidas. Esta última se aplicará a los modelos que se analizaron en esta investigación.

Figura 3.32. Sección transversal placa aligerada modelo.



## SECCIÓN TÍPICA DE PLACA DE ENTREPISO

CARGA VIVA PARA VIVIENDA	$L=$	<b>1.80</b>	<b>KN/m<sup>2</sup></b>
--------------------------	------	-------------	-------------------------

CARGA ULTIMA PARA DISEÑO	$W_u=1.4D+1.7L=$	<b>13.4</b>	<b>KN/m<sup>2</sup></b>
CARGA ULTIMA PARA DISEÑO	$13.4 \text{ KN/m}^2 \times 0.8\text{m}$	<b>10.72</b>	<b>KN/m</b>

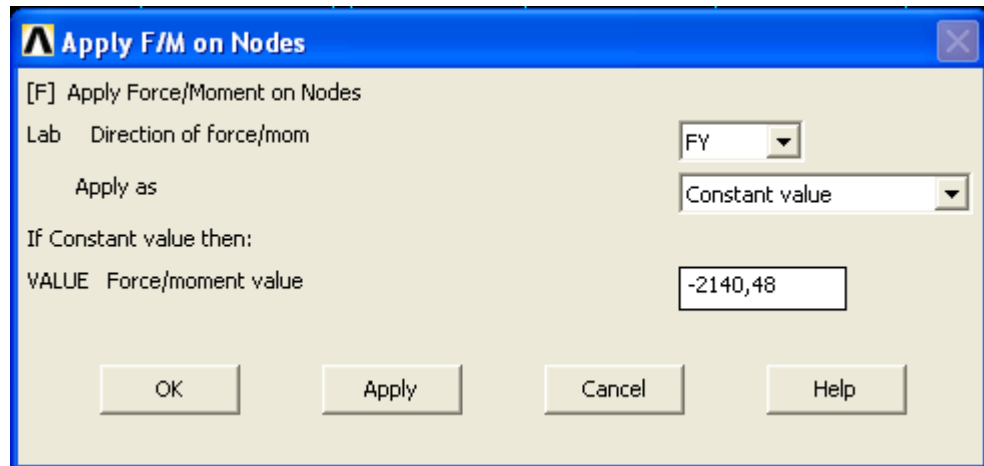
En el diseño se tomaron cargas puntuales cada 20cm, en cada nodo para evaluarlo por elementos finitos.

CARGA PUNTUAL PARA DISEÑO EN ANSYS SERA (viguetas) AREA AFERENTE 0.8m	$W=$	<b>2140.48</b>	<b>N</b>
CARGA PUNTUAL PARA DISEÑO EN ANSYS SERA (vigas en los extremos). AREA AFERENTE 0.4m	$W=$	<b>1070.24</b>	<b>N</b>

- **Cargas puntuales:** Para el análisis se aplicara una carga de **2144 N** distribuida en los nodos cada 0.2m en las vigas superiores de nuestro modelo. Esta carga es la producida por la combinación de cargas vivas y muertas de nuestra estructura (1.4D+1.7V).

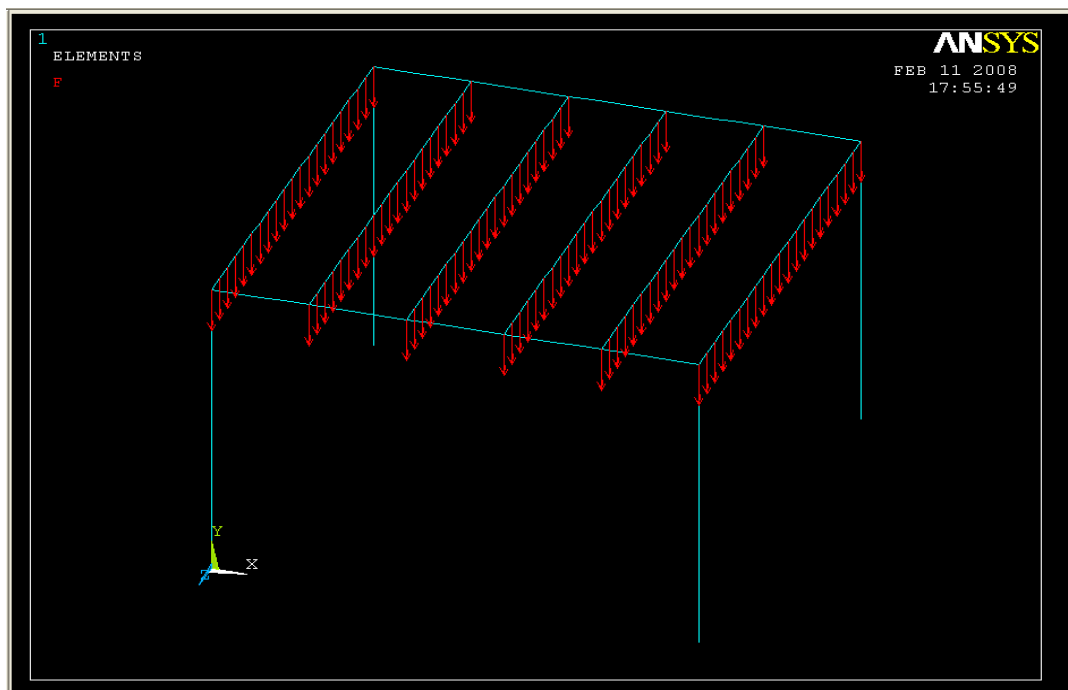
Seleccionar **Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > on nodes**  
Con ayuda del Mouse seleccionar los nodos de las vigas donde se aplicara la carga y luego hacer clic en apply y listo.

Figura 3.33. Ventana auxiliar ingreso de fuerzas.



Aparecerá esto en el modelo Ansys:

Figura 3.34. Vista modelo con fuerzas puntuales.

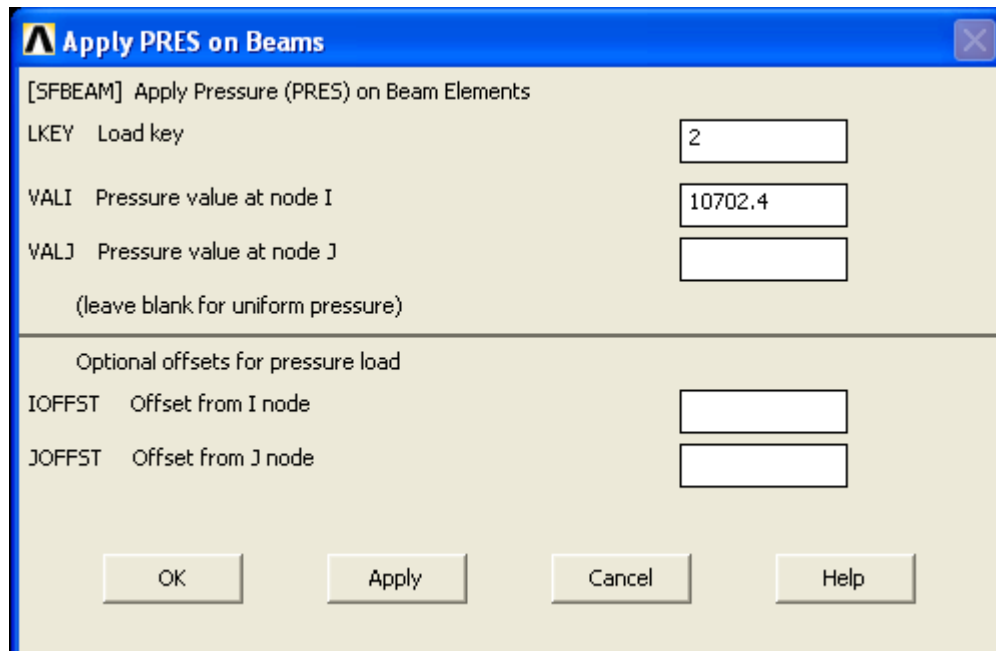


**NOTA: CABE RECORDAR QUE PARA EL ANÁLISIS DE LOS MODELOS ELABORADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN NO SE UTILIZARON CARGAS PUNTUALES COMO SE ILUSTRO ANTERIORMENTE, ESTO ES SOLO DE FORMA INFORMATIVA PARA VER COMO SE APLICAN EN UN MODELO.**

**- Carga distribuida**

Aunque se hace de forma muy similar que aplicar cargas puntuales para este caso hay que tener cuidado. Seleccionar **Define Loads > Apply > Structural > Pressure > on Beams** con ayuda del mouse seleccionar los elementos de las vigas donde se aplicará la carga y luego hacer clic en apply y listo. Aparecerá la siguiente ventana:

**Figura 3.35. Ventana auxiliar de ingreso de cargas distribuidas.**



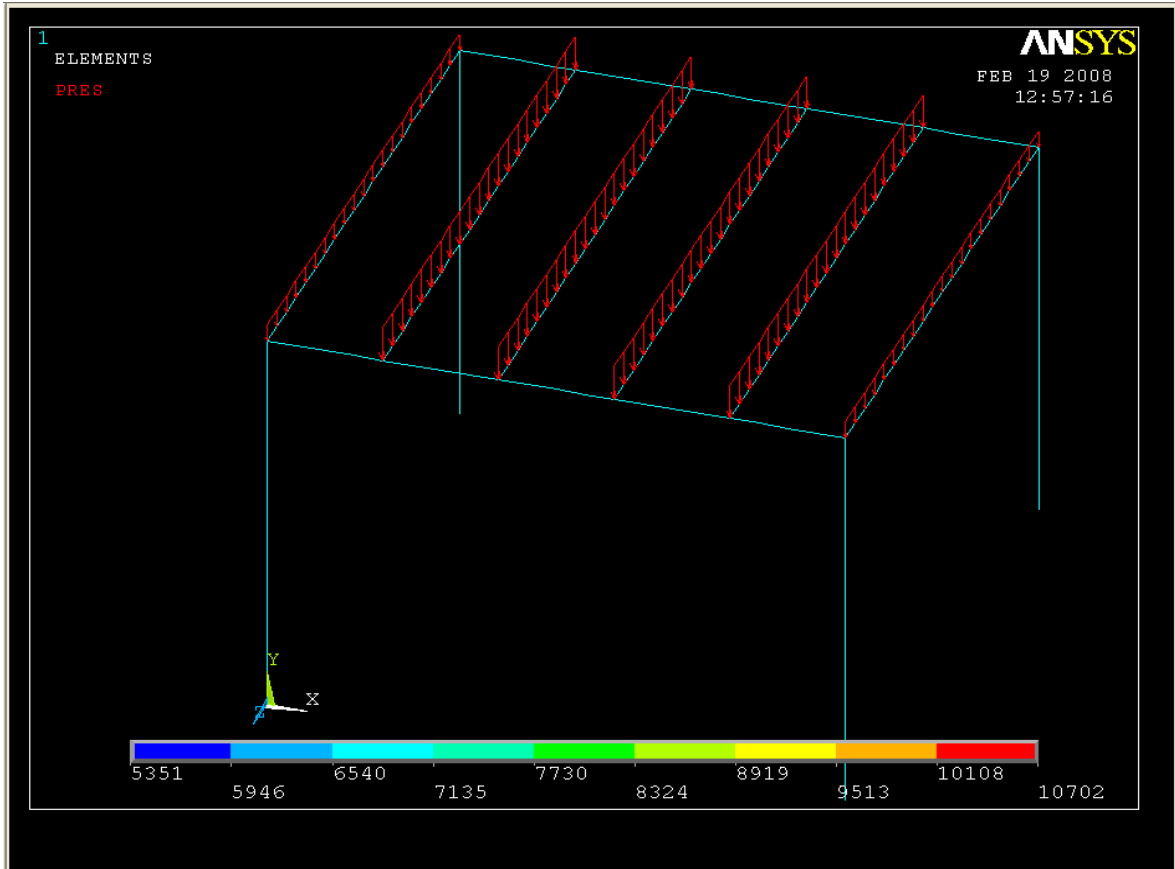
Donde en la primera casilla debe colocarse un numero de 1, 2 o 3 el cual le da la dirección X, Y o Z. Para este caso es la dirección 2. En la segunda casilla se introducirá el valor de la carga distribuida que para este caso será:

CARGA ULTIMA PARA DISEÑO	<u><math>W_u=1.4D+1.7L=</math></u>	<u>13.4</u>	<u>KN/m<sup>2</sup></u>
CARGA ULTIMA PARA DISEÑO	<u><math>13.4 \text{ KN/m}^2 \cdot 0.8\text{m}</math></u>	<u>10.72</u>	<u>KN/m</u>

**VIGAS EXTERNAS= 5351.2 N/m**  
**VIGAS EXTERNAS= 10702.4 N/m**

En la pantalla del Ansys aparecerá:

**Figura 3.36. Vista modelo con cargas distribuidas.**



- **Solución del sistema.** Ahora Ansys modelará el prototipo. Ir al menú solution y hacer

**Solve > Current LS.** Esto indica que la solución se hará en virtud de la actual carga del Paso (LS).

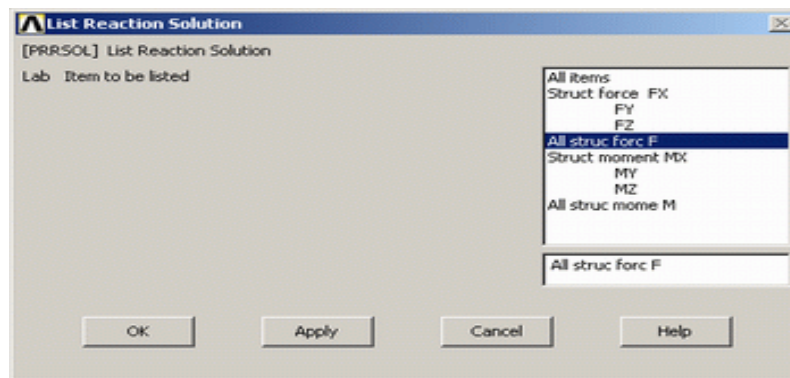


### 3.4. RESULTADOS UTILIZANDO ANSYS.

Ya se ha definido el modelo y se aplicaron las condiciones y cargas, Ahora se visualizarán los resultados.

- **Fuerzas de reacción.** Las fuerzas de reacción se obtienen de este elemento desde el menú principal, seleccionar **General Postproc > List Results > Reaction Solu.**

Figura 3.39. Ventana obtención de resultados (reacciones).



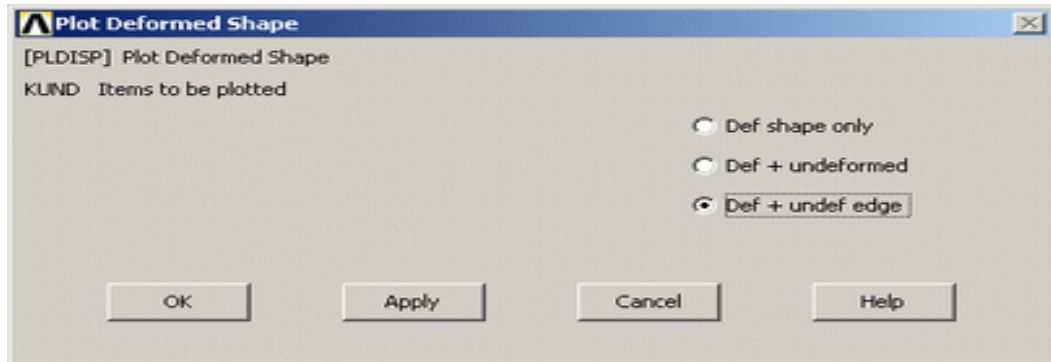
Seleccionar 'All struc forc F' hacer CLIC EN OK. Se verá la siguiente ventana.

Figura 3.40. Reacciones.



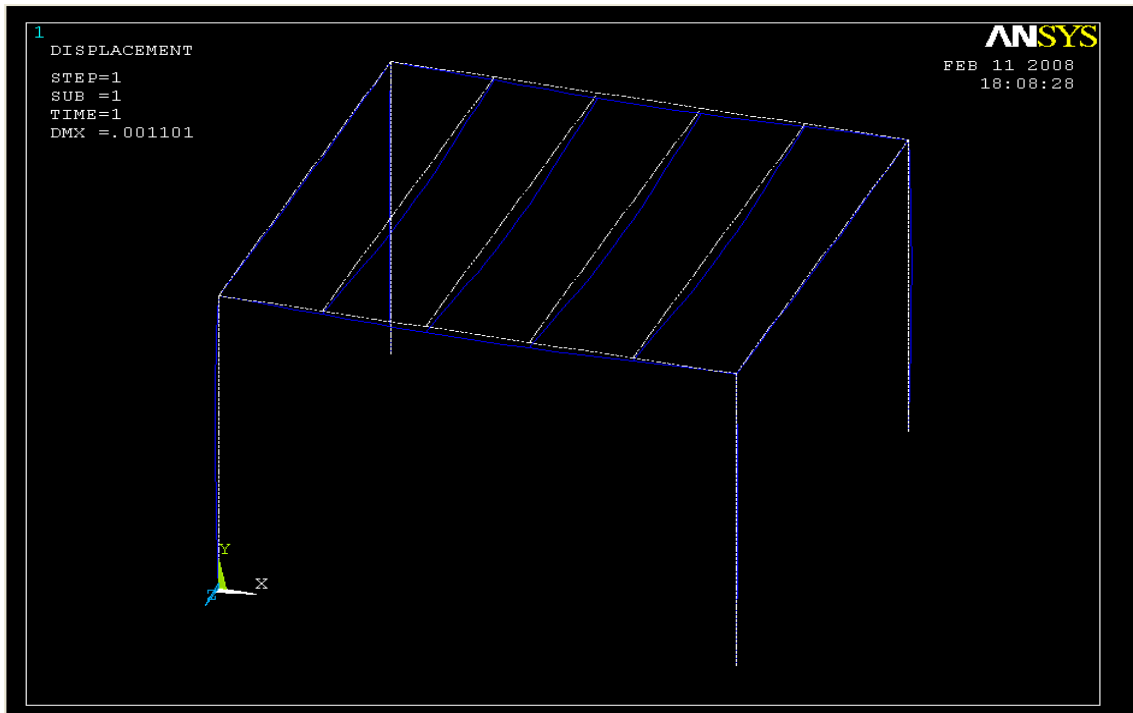
- **Deformaciones.** En el menú General Postproc, seleccione **Plot Results > Deformed Shape..** La siguiente ventana aparecerá

Figura 3.41. Ventana obtención de resultados. Deformación.



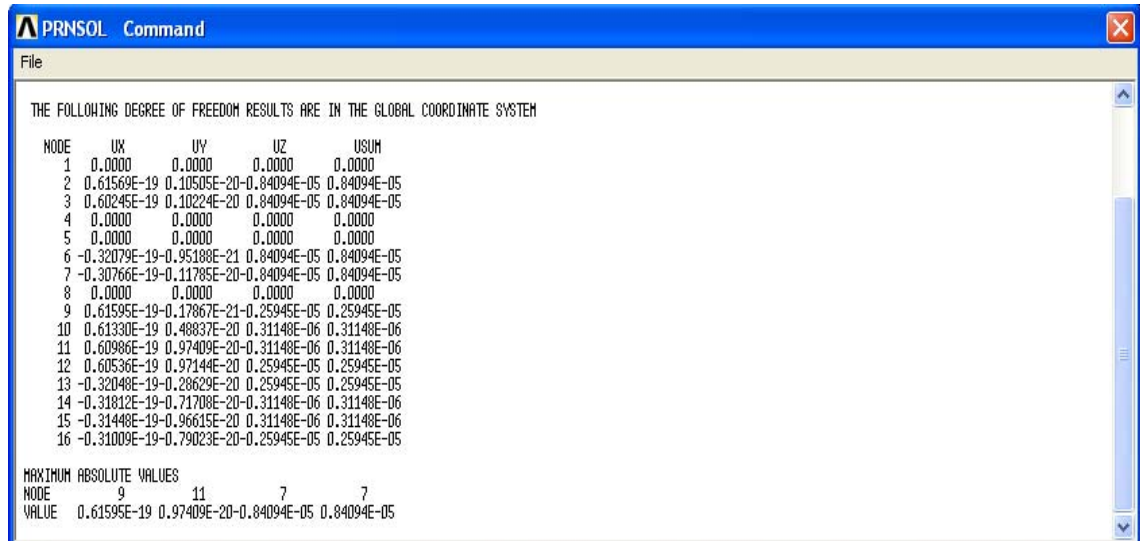
Seleccionar 'Def + undef edge' y hacer clic en "ok" para ver tanto el deforme y el objeto undeformed o (líneas punteadas).

Figura 3.42. Vista deformación del modelo.



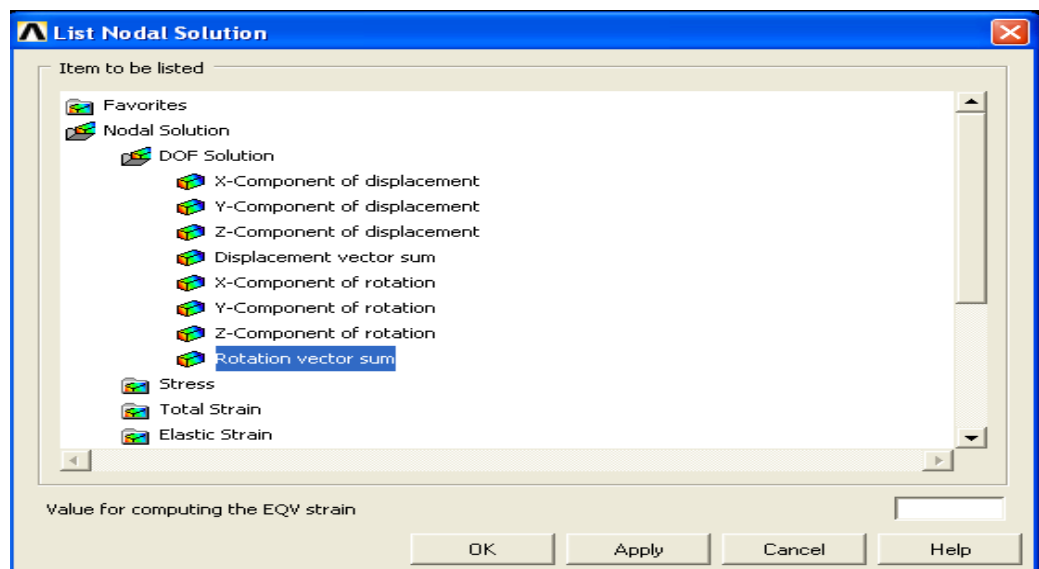
Observe el valor de la máxima deformación en la esquina superior izquierda (DMX = 0.001101). Hay que notar también que en los empotramientos parece haber un desvío de 0 (como era de esperar).

Figura 3.43. Deformaciones.



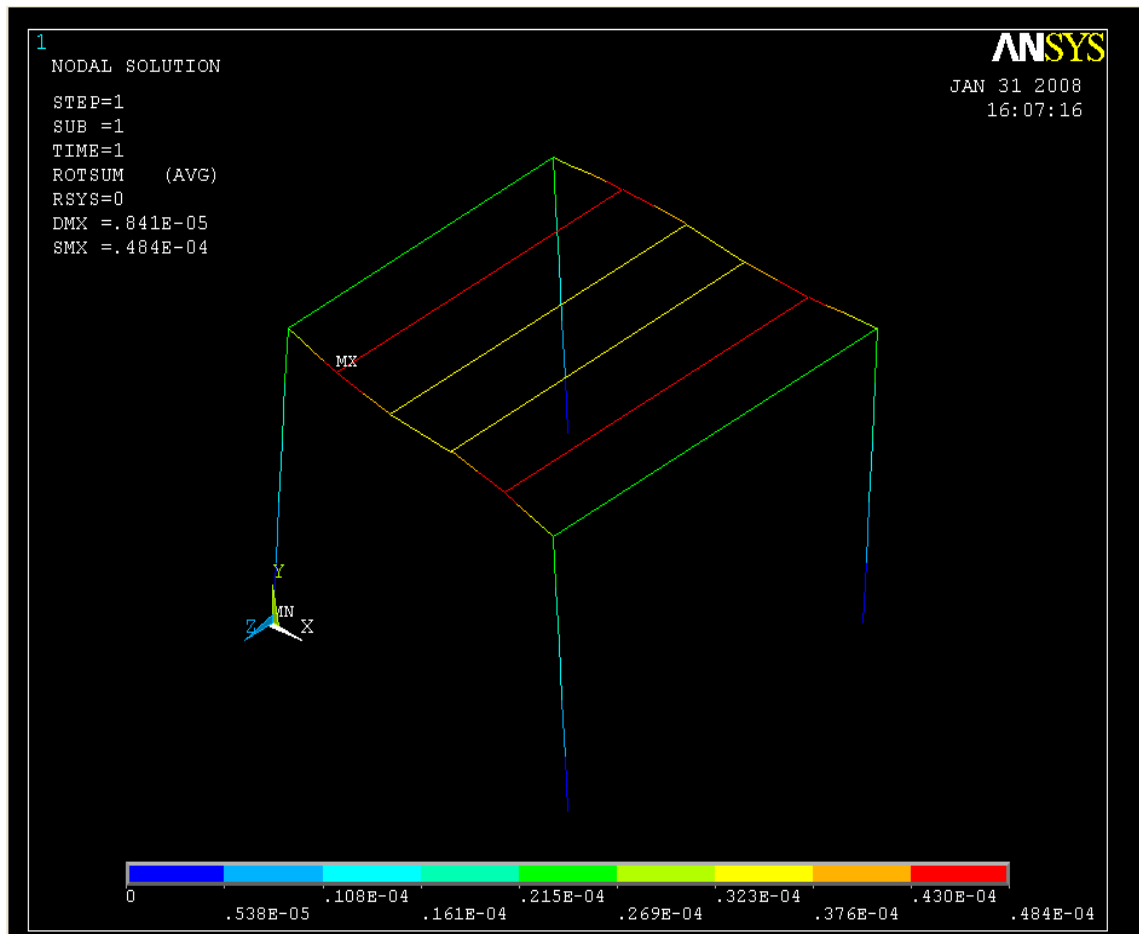
- **Deflexiones.** Para una versión más detallada de la deformación del pórtico, ir a 'General Postproc' seleccione el menú: **Plot results > Contour Plot > Nodal Solution**. La siguiente ventana aparecerá

Figura 3.44. Ventana auxiliar obtención de resultados deflexiones.



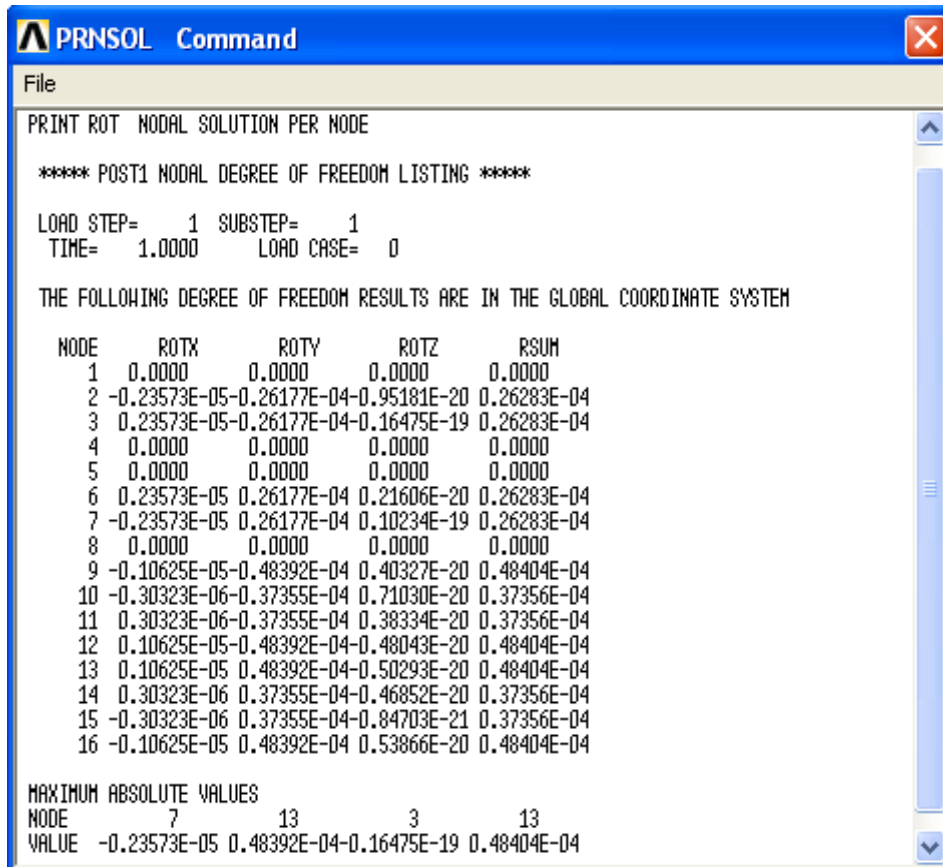
Seleccionar "DOF solución 'y'displacement vector sum 'como se muestra en la ventana de arriba. Las demás selecciones pueden ser observadas como los valores por defecto. Hacer clic en 'Aceptar'. Ahora la ventana estará de la siguiente manera:

Figura 3.45. Vista deflexiones del modelo.



El desvío también se puede obtener en forma de lista como se muestra a continuación. **General Postproc > List Results > Nodal Solution**. Seleccionar 'DOF Solución ' como se hizo anteriormente y haga clic en 'Aceptar'. Esto significa que se quiere ver el listado de todos los grados de libertad de la solución. Por tanto aparecerá la siguiente ventana de resultados:

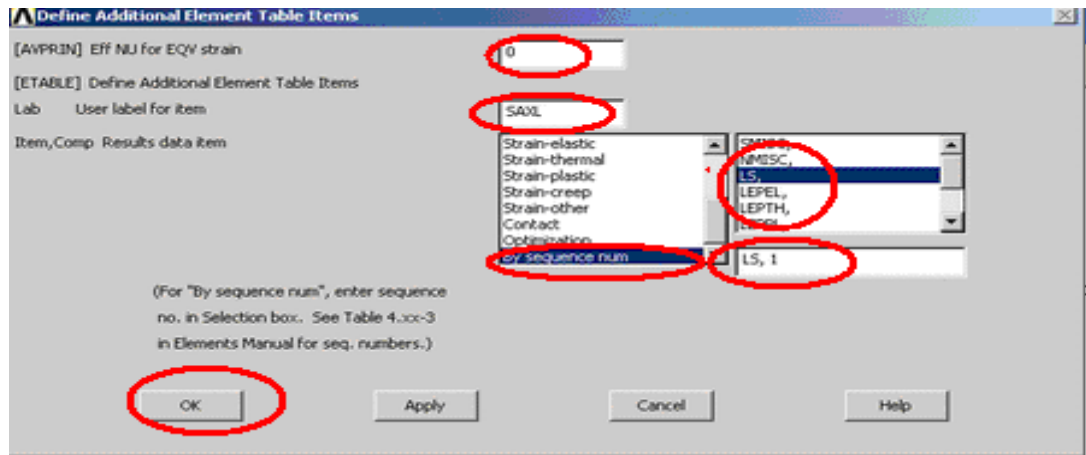
Figura 3.46. Deflexiones.



- **Estrés axial o axial stress.** Elementos para la línea (es decir, enlaces, vigas, mástiles, y las tuberías) a menudo hay la necesidad de utilizar el cuadro de elemento para obtener acceso a los datos derivados (es decir, las cepas). Para este ejemplo hay que obtener el estrés axial. El cuadro de elemento es diferente para cada elemento, por lo tanto, tenemos que ver el archivo de ayuda para LINK1 (Tipo link1 ayudar en la entrada de línea). De la Tabla 1,2 en el archivo de ayuda, se puede ver que SAXL se obtendrá a través de la ETABLE, utilizando el tema 'LS, 1'
- O Desde el menú **General Postprocessor** seleccione **Element Table > Define Table**.

Hacer clic en "OK..."

Figura 3.47. Ventana estrés axial.

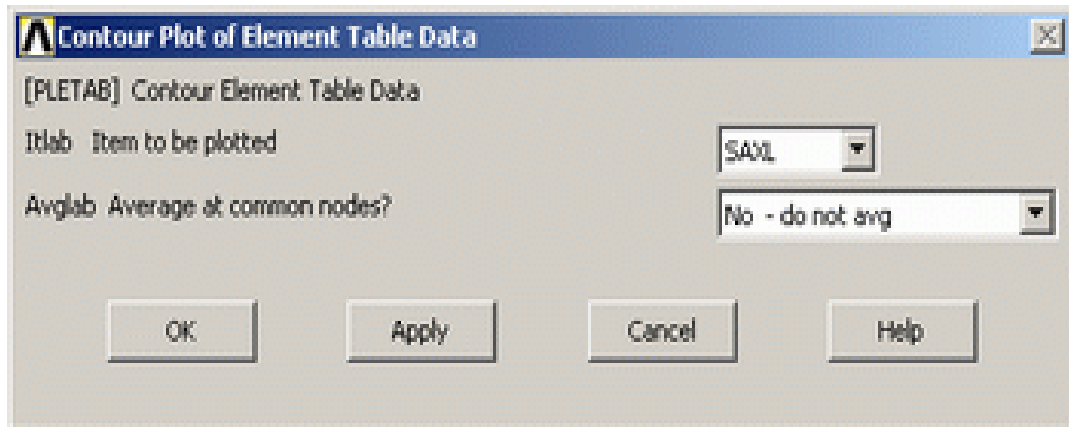


Como se ha indicado anteriormente, introducir "SAXL" en el laboratorio en el cuadro. Esta especifica el nombre del artículo que está definiendo. A continuación, en el 'Tema, Trans' cajas, seleccione 'By sequence num' y 'LS, '. A continuación, introduzca 1 después de LS, en el cuadro de selección. Haga clic en "Aceptar" y cerrar el "Cuadro de elemento de datos'.

Destaca la Gráfica mediante la selección de **Element Table > Plot Elem Table**.

La siguiente ventana aparecerá. Asegúrese de que 'SAXL' está seleccionada y haga clic en "OK"

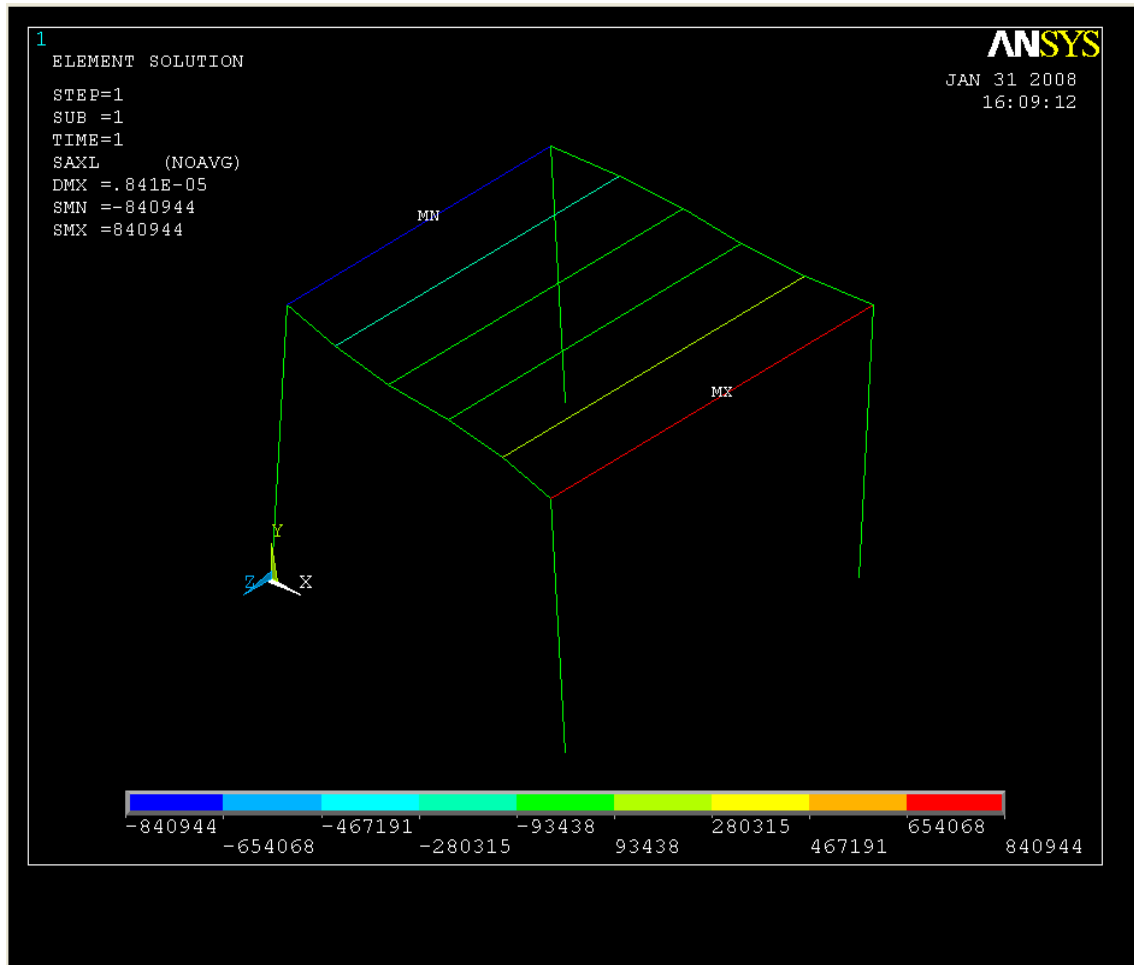
Figura 3.48. Ventana auxiliar estrés axial.



Porque se han cambiado los intervalos para el desplazamiento en la Gráfica. "El usuario está especificando" - lo que necesita para pasar de nuevo a este "Auto calculado" para obtener nuevos valores para VMIN / VMAX.

**Utility Menu > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours ...**

**Figura 3.49. Vista estrés axial del modelo.**

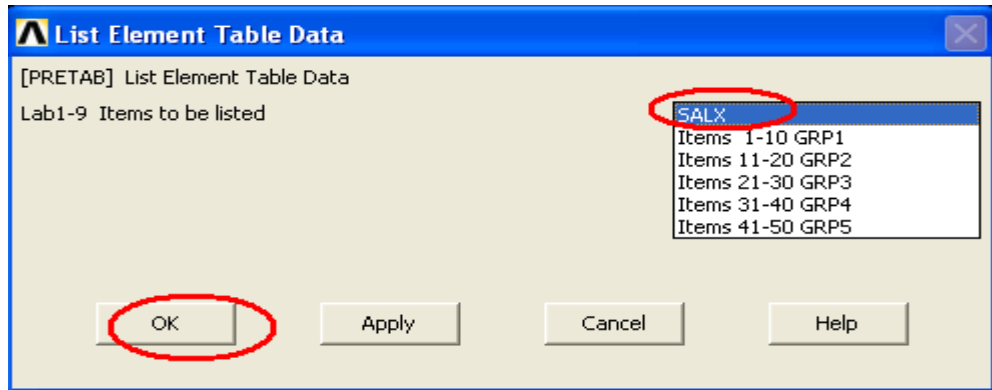


Una vez más, puede que desee seleccionar más intervalos apropiados para el contorno:

- A partir de menú la 'Element Table', seleccione **'List Elem Table'**

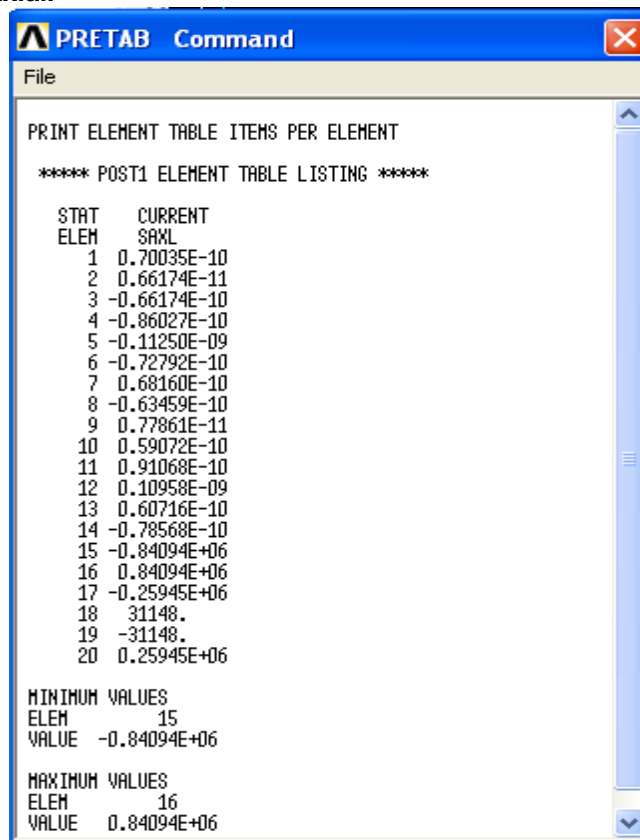
- A partir de 'List Element Table Data' la ventana que aparece asegurar 'SAXL' se pone de relieve  
Haga clic en 'ok'

Figura 3.50. Ventana auxiliar obtención de estrés en listado numérico.



Ahora aparecerá el cuadro con la tabla de resultados

Figura 3.51. Estrés axial.



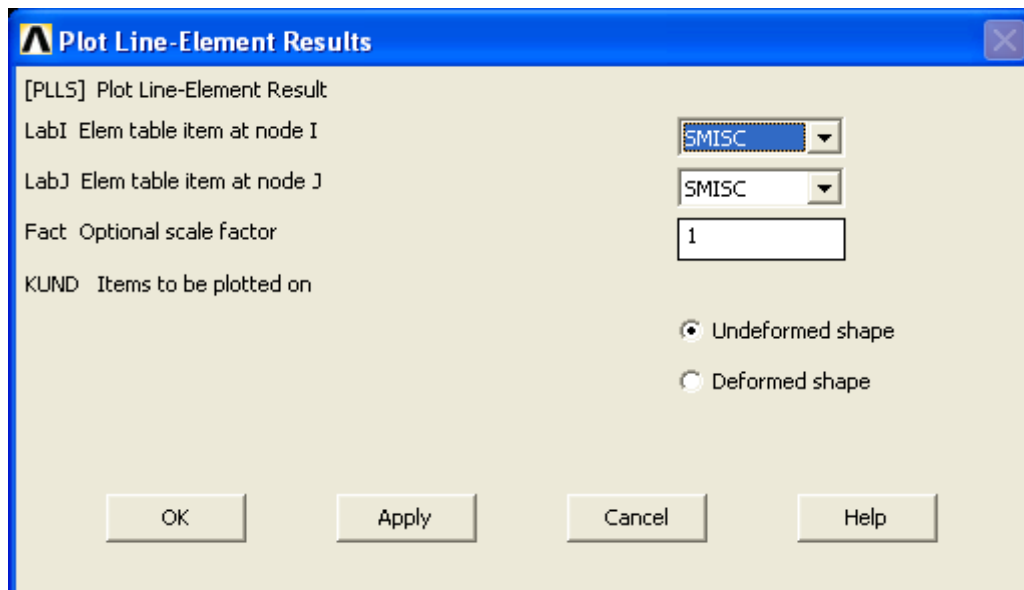
- **Diagramas de momentos de flexión.** Para verificar que el modelo simplificado, un diagrama de los momentos de flexión se pueden crear. Primero, echemos un vistazo a cómo se define cada uno de los elementos ANSYS. Beam 4 tiene 8 nodos.

Para obtener los momentos de flexión de este elemento, el cuadro de elemento debe ser utilizado. El cuadro de elemento que contiene la mayoría de los datos para el elemento incluido el momento de flexión de datos para cada elemento en el Nodo I y J. Node primer lugar, tenemos que conseguir obtener los datos de los momentos de flexión.

**General Postproc > Element Table > Define Table....** Clic 'Add...'

- En la ventana que aparece: Escriba 'SMAXI' en el 'Sello de usuario Tema »
- En la primera ventana en la 'Resultados de datos Tema sección hacia abajo y seleccione' Al secuencia num'
- En la segunda ventana de la misma sección, seleccione 'NMISC,'
- En la tercera ventana entrará '1' en cualquier lugar después de la coma

**Figura 3.52. Ventana auxiliar obtención diagramas de momentos.**

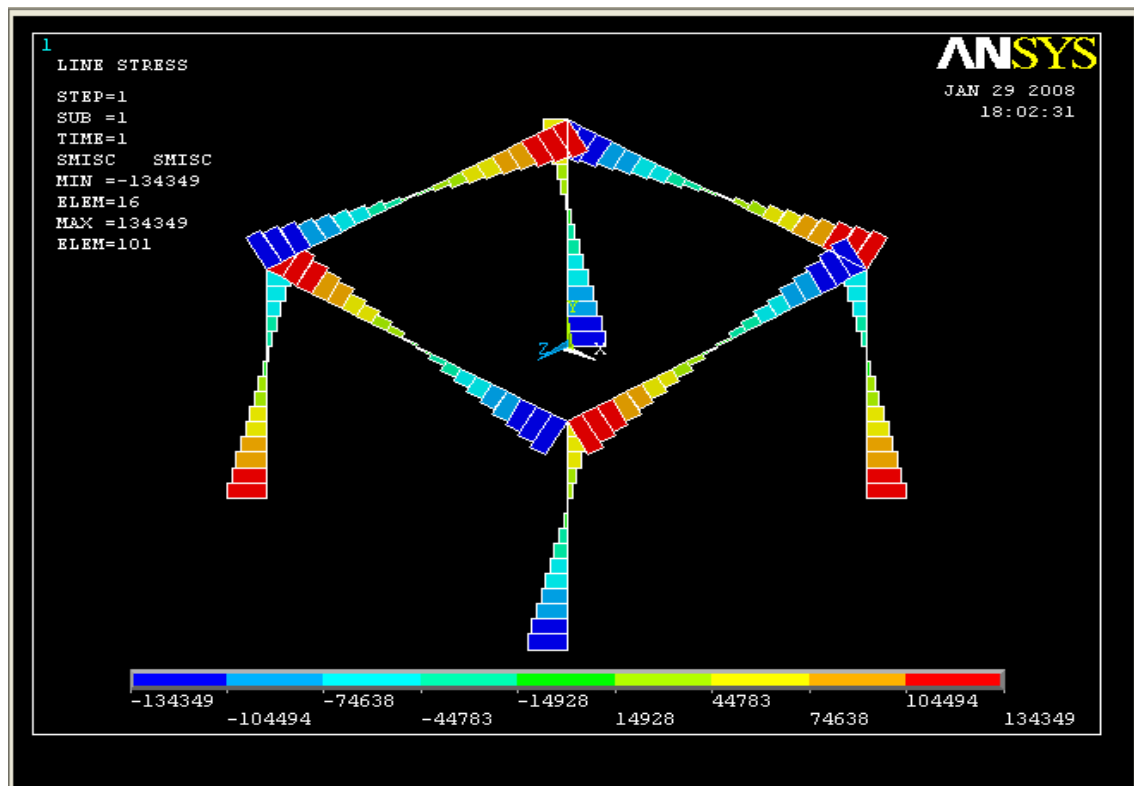


Repita los pasos 2 a 4, pero el cambio 'SMAXI' a 'SMAXJ' en el paso 3 bis y el cambio de «1» a «3» en el paso 3d.

Hacer clic en 'ok'. La ventana del 'Cuadro de elemento de datos' debe tener ahora dos variables en el mismo. Haga clic en 'close' en la ventana 'Cuadro de elemento de datos'.

Seleccione: **General Postproc > Plot Results > Line Elem Res...** Seleccione 'SMAXI' de la 'LabI' aparecen en el menú desplegable y 'SMAXJ' de la 'LabJ' aparecen en el menú desplegable. Ahora aparecerá esto en pantalla:

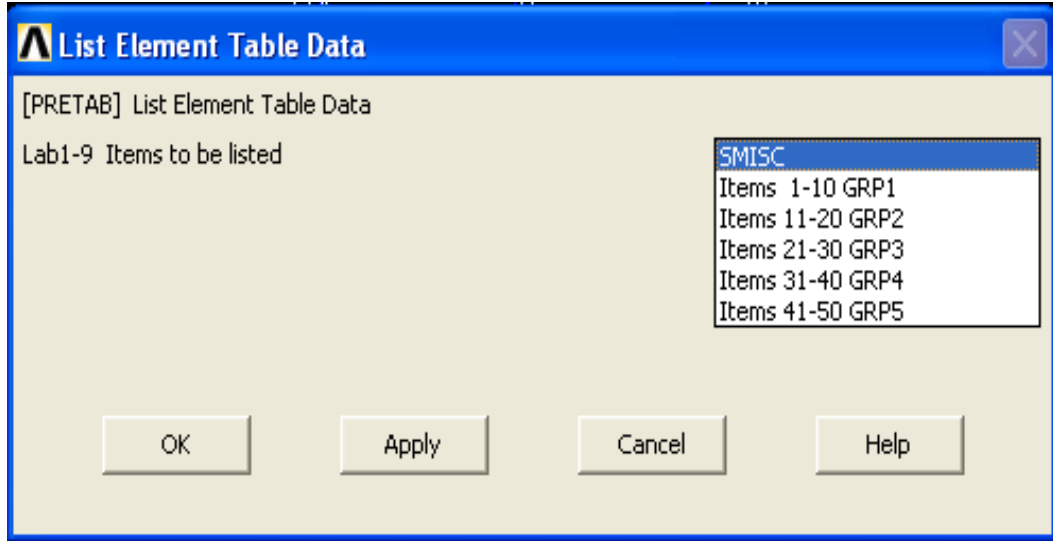
Figura 3.53. Vista diagramas de momentos.



Para obtener los resultados en tabla hacer, **General Postproc > list results > Element Table data**

Aparecerá la siguiente tabla, dar clic en ok. Y aparecerán los resultados.

Figura 3.54. Ventana auxiliar obtención de resultados. Listado de momentos.



## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

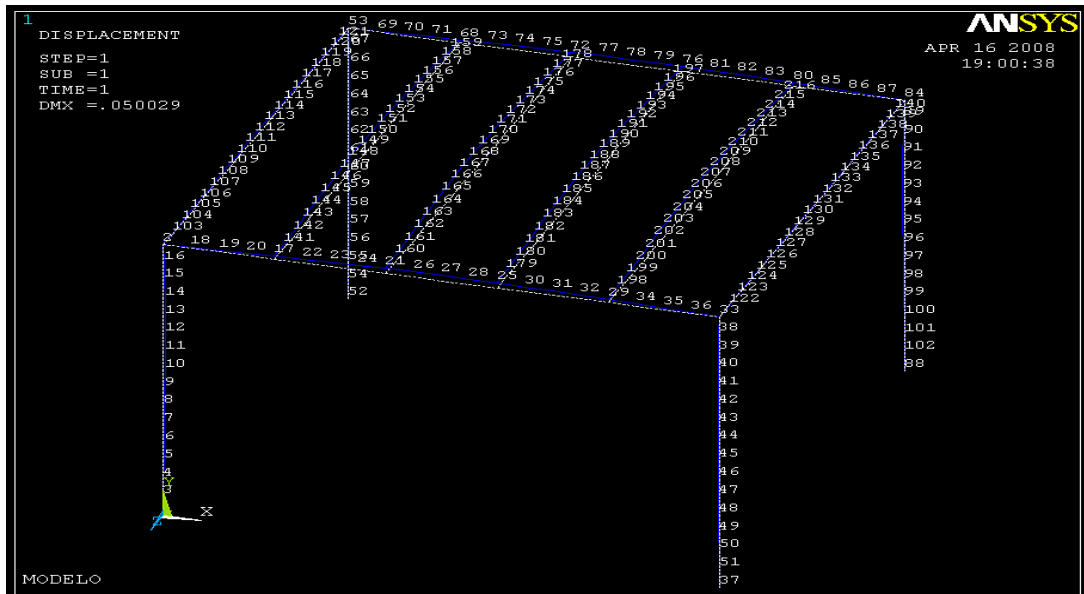
En el presente capítulo se hará la primera fase de análisis de las reacciones, desplazamientos, fuerzas y momentos internos de los modelos hechos en Ansys donde se varió la intensidad de la explosión entre 0.1 MPa 0.6 MPa para observar su comportamiento y definir con mayor claridad el tipo de explosión característico.

Luego se analizará el comportamiento de los materiales en que están elaborados los elementos estructurales (Concreto reforzado) del pórtico tipo por medio de los diagramas de interacción de las columnas y de los diagramas de Momento vs radio de curvatura para las vigas utilizando en el programa SAP 2000 el modulo Section Designer.

Posteriormente y según los resultados que se obtengan de esta fase preliminar se podrán realizar los modelos definitivos que se ajustan de una manera más real al comportamiento de los elementos estructurales sometidos a las presiones debidas a las explosiones internas de gas natural.

## REACCIONES Y SUS COMPARACIONES

Figura 4.1 numeración modelos ansys



**Tabla 4.1. Cargas asignadas para cada tipo de explosion**

	SIN EXPLOSION	EXPLOSION 0,1 Mpa	EXPLOSION 0,2 Mpa	EXPLOSION 0,4 Mpa	EXPLOSION 0,6 Mpa
	1,4D+1,7L	1,05D+1,28L+1,05T	1,05D+1,28L+1,05T	1,05D+1,28L+1,05T	1,05D+1,28L+1,05T
<b>FUERZA 1</b>	10702,4 N/m	8026,8 N/m	8026,8 N/m	8026,8 N/m	8026,8 N/m
<b>FUERZA 2</b>	5351,2 N/m	4013,4 N/m	4013,4 N/m	4013,4 N/m	4013,4 N/m
<b>FUERZA 3</b>	0 N/m	31495,24 N/m	62990,5 N/m	125980,97 N/m	188971,46 N/m
<b>FUERZA 4</b>	0 N/m	31495,24 N/m	62990,5 N/m	125980,97 N/m	188971,46 N/m
<b>FUERZA 5</b>	0 N/m	24717,04 N/m	49934,08 N/m	98868,16 N/m	148302,24 N/m
<b>FUERZA 6</b>	0 N/m	37061,67 N/m	74123,33 N/m	148246,66 N/m	222369,99 N/m
<b>FUERZA 7</b>	0 N/m	84000 N/m	168000 N/m	336000 N/m	504000 N/m

**Tabla 4.2 tabla de convenciones en furzas**

<b>FUERZA 1</b>	Carga distribuida en viguetas internas de la placa
<b>FUERZA 2</b>	Carga distribuida en vigas externas de la placa
<b>FUERZA 3</b>	Presion ejercida por la explosion sobre las columnas en direccion X
<b>FUERZA 4</b>	Presion ejercida por la explosion sobre las columnas en direccion Z
<b>FUERZA 5</b>	Presion ejercida por la explosion sobre las vigas en direccion X
<b>FUERZA 6</b>	Presion ejercida por la explosion sobre las vigas en direccion Y
<b>FUERZA 7</b>	Presion ejercida por la explosion sobre las viguetas en direccion Y
<b>T</b>	Explosion

**Tabla 4.3. Reaciones Para Modelo De Carga 1.4d+1.7l**

NODO	SIN EXPLOSION		
	FX (N)	FY(N)	FZ(N)
1	12416	53512	10805
2	12416	53512	10805
3	12416	53512	10805
4	12416	53512	10805

**Tabla 4.4. % de aumento explosión 0.1 mpa**

NODO	SIN EXPLOSION			EXPLOSION 0,1 MPA			DIFERENCIA			% DE AUMENTO		
	FX (N)	FY(N)	FZ(N)	FX1(N)	FY1(N)	FZ1(N)	FXd	FYd	FZd	FX	FY	FZ
1	12416	53512	10805	56797	4,72E+05	25602	4,44E+04	4,19E+05	14797	357,45	782,5123	136,946
2	12416	53512	10805	56797	4,72E+05	25602	4,44E+04	4,19E+05	14797	357,45	782,5123	136,946
3	12416	53512	10805	56797	4,72E+05	25602	4,44E+04	4,19E+05	14797	357,45	782,5123	136,946
4	12416	53512	10805	56797	4,72E+05	25602	4,44E+04	4,19E+05	14797	357,45	782,5123	136,946

**Tabla 4.5. % de aumento explosion 0.2 mpa**

NODO	SIN EXPLOSION			EXPLOSION 0,2 MPA			DIFERENCIA			% DE AUMENTO		
	FX(N)	FY(N)	FZ(N)	FX2(N)	FY2(N)	FZ2(N)	FXd	FYd	FZd	FX	FY	FZ
1	12416	53512	10805	-1,19E+05	-9,68E+05	53931	-1,31E+05	-1,02E+06	4,31E+04	1054,66	1909,856	399,13
2	12416	53512	10805	1,19E+05	-9,68E+05	53931	1,06E+05	-1,02E+06	4,31E+04	854,655	1909,856	399,13
3	12416	53512	10805	-1,19E+05	-9,68E+05	-53931	-1,31E+05	-1,02E+06	-6,47E+04	1054,66	1909,856	599,13
4	12416	53512	10805	1,19E+05	-9,68E+05	-53931	1,06E+05	-1,02E+06	-6,47E+04	854,655	1909,856	599,13

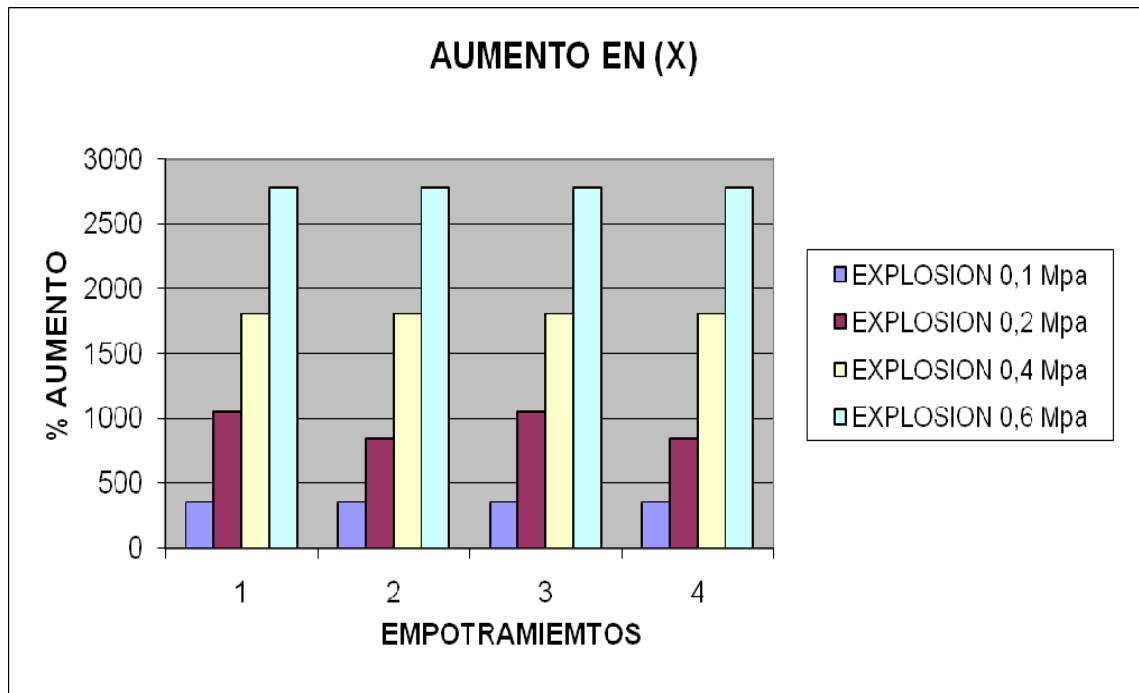
**Tabla 4.6. % de aumento explosion 0.4 mpa**

NODO	SIN EXPLOSION			EXPLOSION 0,4 MPA			DIFERENCIA			% DE AUMENTO		
	FX(N)	FY(N)	FZ(N)	FX4(N)	FY4(N)	FZ4(N)	FXd	FYd	FZd	FX	FY	FZ
1	12416	53512	10805	2,37E+05	1,94E+06	1,08E+05	2,25E+05	1,88E+06	9,71E+04	1809,39	3519,749	898,334
2	12416	53512	10805	2,37E+05	1,94E+06	1,08E+05	2,25E+05	1,88E+06	9,71E+04	1809,39	3519,749	898,334
3	12416	53512	10805	2,37E+05	1,94E+06	1,08E+05	2,25E+05	1,88E+06	9,71E+04	1809,39	3519,749	898,334
4	12416	53512	10805	2,37E+05	1,94E+06	1,08E+05	2,25E+05	1,88E+06	9,71E+04	1809,39	3519,749	898,334

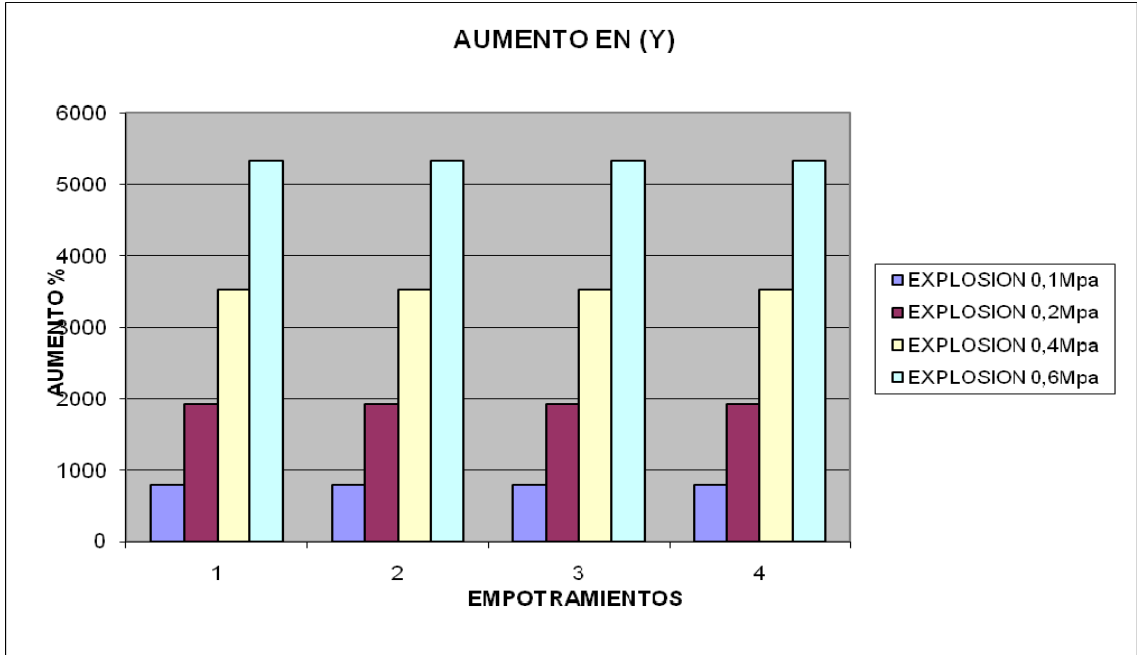
**Tabla 4.7. % de aumento explosion 0.6 mpa**

NODO	SIN EXPLOSION			EXPLOSION 0,6 MPA			DIFERENCIA			% DE AUMENTO		
	FX(N)	FY(N)	FZ(N)	FX4(N)	FY4(N)	FZ4(N)	FXd	FYd	FZd	FX	FY	FZ
1	12416	53512	10805	3,58E+05	2,90E+06	1,47E+05	3,46E+05	2,85E+06	1,36E+05	2783,38	5319,345	1260,48
2	12416	53512	10805	3,58E+05	2,90E+06	1,47E+05	3,46E+05	2,85E+06	1,36E+05	2783,38	5319,345	1260,48
3	12416	53512	10805	3,58E+05	2,90E+06	1,47E+05	3,46E+05	2,85E+06	1,36E+05	2783,38	5319,345	1260,48
4	12416	53512	10805	3,58E+05	2,90E+06	1,47E+05	3,46E+05	2,85E+06	1,36E+05	2783,38	5319,345	1260,48

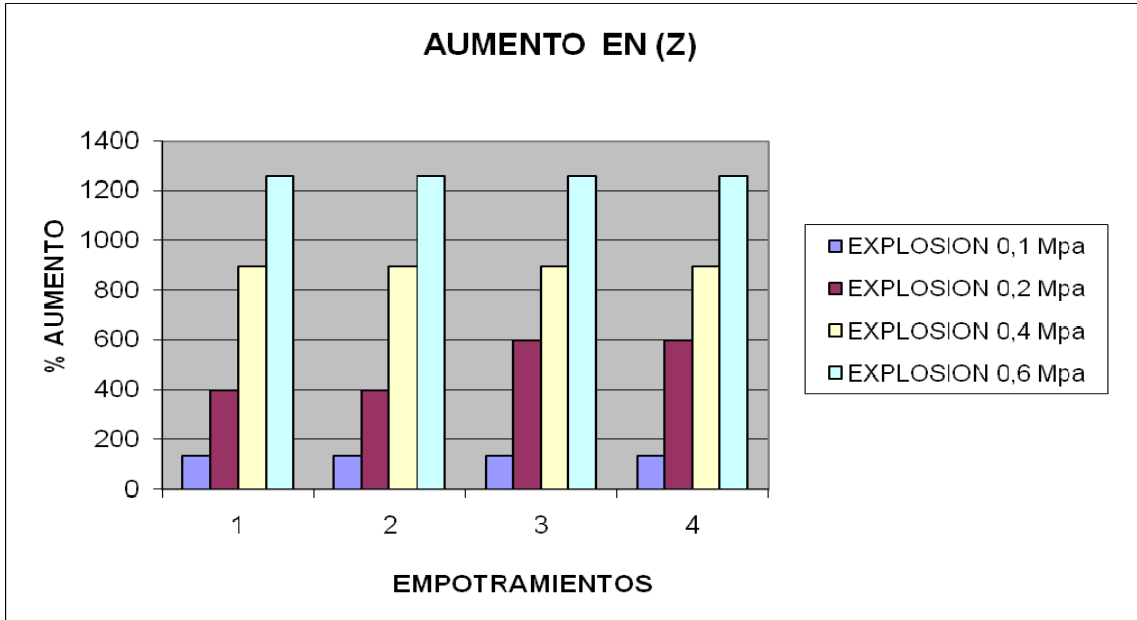
**Gráfica 4.1. % Aumentos En Empotramientos En (X)**



**Gráfica 4.2. % Aumentos En Empotramientos En (Y)**



**Gráfica 4.3. % Aumentos En Empotramientos En (Z)**

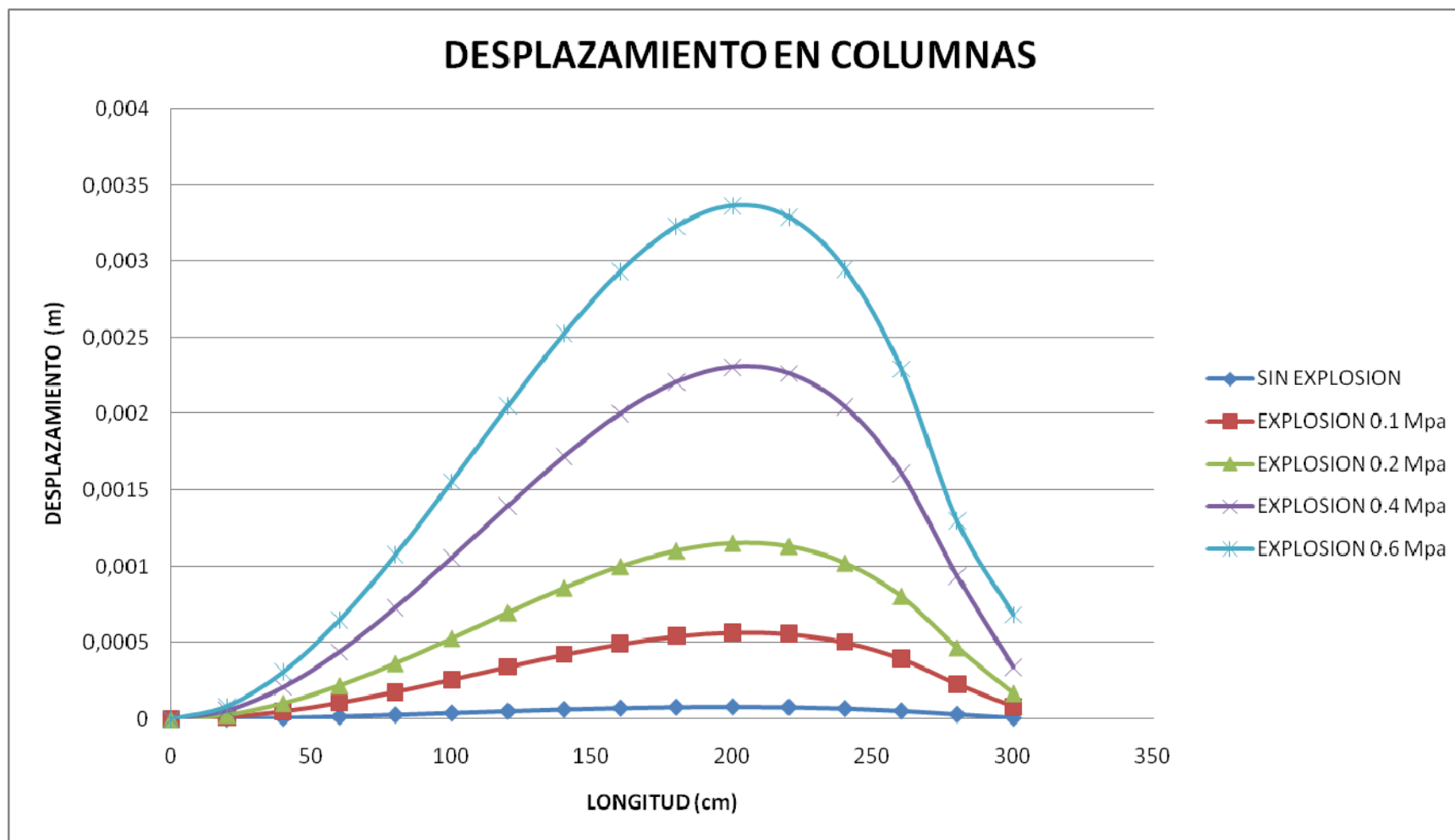


## DESPLAZAMIENTOS

Tabla 4.8. Desplazamientos Para Todos Los Modelos. Columna Tipo.

	L(m)	NODO	DESPLAZAMIENTOS SIN EXPLOSION				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,1 Mpa				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,2Mpa				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,4Mpa				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,6Mpa			
			UX	UY	UZ	USUM	UX1	UY1	UZ1	USUM1	UX2	UY2	UZ2	USUM2	UX4	UY4	UZ4	USUM4	UX6	UY6	UZ6	USUM6
empotramiento	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COLUMNA	20	3	-1,71E-06	-5,95E-07	1,49E-06	2,34E-06	1,14E-05	5,25E-06	-6,95E-06	1,43E-05	2,32E-05	1,08E-05	-1,43E-05	2,93E-05	4,63E-05	2,15E-05	-2,85E-05	5,85E-05	7,00E-05	3,22E-05	-3,91E-05	8,64E-05
COLUMNA	40	4	-6,35E-06	-1,19E-06	5,53E-06	8,50E-06	4,30E-05	1,05E-05	-2,66E-05	5,16E-05	8,76E-05	2,15E-05	-5,46E-05	1,05E-04	1,75E-04	4,30E-05	-1,09E-04	2,11E-04	2,65E-04	6,44E-05	-1,49E-04	3,11E-04
COLUMNA	60	5	-1,32E-05	-1,78E-06	1,15E-05	1,76E-05	9,09E-05	1,57E-05	-5,68E-05	1,08E-04	1,85E-04	3,23E-05	-1,17E-04	2,21E-04	3,70E-04	6,46E-05	-2,33E-04	4,42E-04	5,60E-04	9,66E-05	-3,19E-04	6,51E-04
COLUMNA	80	6	-2,15E-05	-2,38E-06	1,87E-05	2,86E-05	1,51E-04	2,10E-05	-9,53E-05	1,80E-04	3,07E-04	4,30E-05	-1,95E-04	3,66E-04	6,14E-04	8,61E-05	-3,91E-04	7,33E-04	9,28E-04	1,29E-04	-5,33E-04	1,08E-03
COLUMNA	100	7	-3,05E-05	-2,97E-06	2,66E-05	4,05E-05	2,18E-04	2,62E-05	-1,39E-04	2,60E-04	4,43E-04	5,38E-05	-2,85E-04	5,30E-04	8,86E-04	1,08E-04	-5,70E-04	1,06E-03	1,34E-03	1,61E-04	-7,76E-04	1,56E-03
COLUMNA	120	8	-3,95E-05	-3,57E-06	3,44E-05	5,25E-05	2,87E-04	3,15E-05	-1,85E-04	3,43E-04	5,84E-04	6,46E-05	-3,79E-04	6,99E-04	1,17E-03	1,29E-04	-7,57E-04	1,40E-03	1,77E-03	1,93E-04	-1,03E-03	2,05E-03
COLUMNA	140	9	-4,78E-05	-4,16E-06	4,16E-05	6,35E-05	3,53E-04	3,67E-05	-2,29E-04	4,23E-04	7,17E-04	7,53E-05	-4,69E-04	8,61E-04	1,43E-03	1,51E-04	-9,39E-04	1,72E-03	2,17E-03	2,25E-04	-1,27E-03	2,53E-03
COLUMNA	160	10	-5,45E-05	-4,76E-06	4,75E-05	7,25E-05	4,10E-04	4,20E-05	-2,69E-04	4,92E-04	8,32E-04	8,61E-05	-5,49E-04	1,00E-03	1,66E-03	1,72E-04	-1,10E-03	2,00E-03	2,52E-03	2,58E-04	-1,47E-03	2,93E-03
COLUMNA	180	11	-5,91E-05	-5,35E-06	5,14E-05	7,85E-05	4,51E-04	4,72E-05	-2,98E-04	5,42E-04	9,15E-04	9,68E-05	-6,09E-04	1,10E-03	1,83E-03	1,94E-04	-1,22E-03	2,21E-03	2,78E-03	2,90E-04	-1,62E-03	3,23E-03
COLUMNA	200	12	-6,07E-05	-5,95E-06	5,28E-05	8,07E-05	4,70E-04	5,25E-05	-3,13E-04	5,67E-04	9,54E-04	1,08E-04	-6,39E-04	1,15E-03	1,91E-03	2,15E-04	-1,28E-03	2,31E-03	2,90E-03	3,22E-04	-1,68E-03	3,36E-03
COLUMNA	220	13	-5,86E-05	-6,54E-06	5,10E-05	7,80E-05	4,60E-04	5,77E-05	-3,09E-04	5,57E-04	9,34E-04	1,18E-04	-6,30E-04	1,13E-03	1,87E-03	2,37E-04	-1,26E-03	2,27E-03	2,84E-03	3,54E-04	-1,62E-03	3,29E-03
COLUMNA	240	14	-5,21E-05	-7,13E-06	4,54E-05	6,94E-05	4,14E-04	6,30E-05	-2,79E-04	5,03E-04	8,40E-04	1,29E-04	-5,70E-04	1,02E-03	1,68E-03	2,58E-04	-1,14E-03	2,05E-03	2,56E-03	3,86E-04	-1,41E-03	2,95E-03
COLUMNA	260	15	-4,04E-05	-7,73E-06	3,52E-05	5,41E-05	3,23E-04	6,82E-05	-2,20E-04	3,97E-04	6,56E-04	1,40E-04	-4,48E-04	8,07E-04	1,31E-03	2,80E-04	-8,96E-04	1,61E-03	2,02E-03	4,19E-04	-1,01E-03	2,30E-03
COLUMNA	280	16	-2,28E-05	-8,32E-06	1,99E-05	3,14E-05	1,81E-04	7,35E-05	-1,23E-04	2,30E-04	3,67E-04	1,51E-04	-2,50E-04	4,69E-04	7,34E-04	3,01E-04	-5,01E-04	9,38E-04	1,15E-03	4,51E-04	-3,97E-04	1,30E-03
nodo union VC	300	2	1,38E-06	-8,92E-06	-1,16E-06	9,10E-06	-2,26E-05	7,87E-05	1,74E-05	8,37E-05	-4,53E-05	1,61E-04	3,53E-05	1,71E-04	-9,03E-05	3,23E-04	7,04E-05	3,43E-04	-8,09E-05	4,83E-04	4,79E-04	6,85E-04

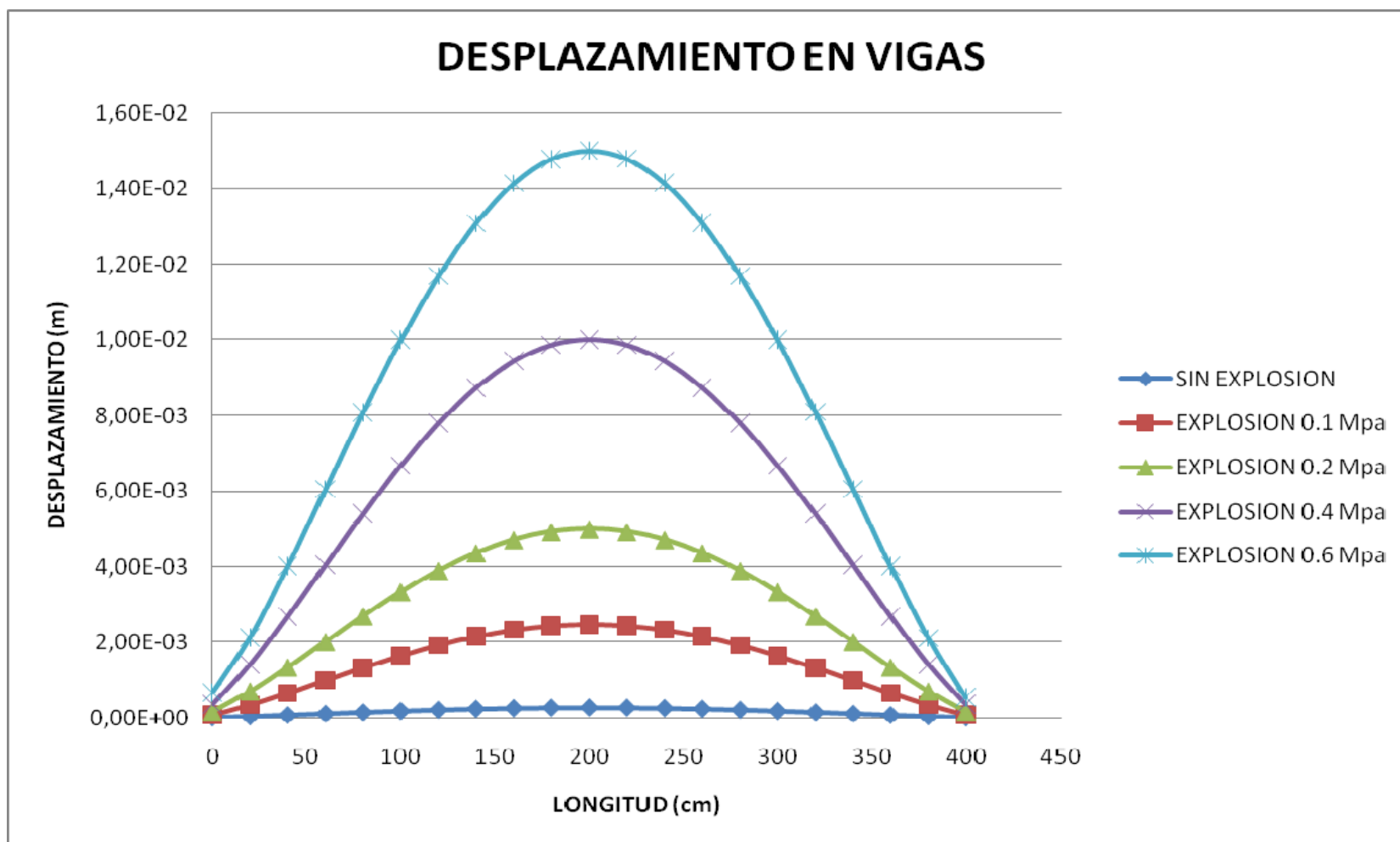
Gráfica 4.4. Desplazamientos Totales En Columna Tipo



**Tabla 4.9. Desplazamientos Para Todos Los Modelos. Viga Tipo.**

	LONG	NODO	DESPLAZAMIENTOS SIN EXPLOSION				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,1 Mpa				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,2Mpa				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,4Mpa				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,6Mpa			
			UX	UY	UZ	USUM	UX1	UY1	UZ1	USUM1	UX2	UY2	UZ2	USUM2	UX4	UY4	UZ4	USUM4	UX6	UY6	UZ6	USUM6
nodo union VC	0	2	1,38E-06	-8,92E-06	-1,16E-06	9,10E-06	-2,26E-05	7,87E-05	1,74E-05	8,37E-05	-4,53E-05	1,61E-04	3,53E-05	1,71E-04	-9,03E-05	3,23E-04	7,04E-05	3,43E-04	-8,09E-05	4,83E-04	4,79E-04	6,85E-04
viga	20	18	1,24E-06	-4,00E-05	-9,26E-07	4,00E-05	-2,03E-05	3,46E-04	6,31E-06	3,47E-04	-4,07E-05	7,03E-04	1,28E-05	7,04E-04	-8,13E-05	1,41E-03	2,58E-05	1,41E-03	-6,73E-05	2,11E-03	4,02E-04	2,14E-03
viga	40	19	1,10E-06	-7,58E-05	-6,83E-07	7,58E-05	-1,81E-05	6,59E-04	7,10E-07	6,59E-04	-3,62E-05	1,34E-03	1,48E-06	1,34E-03	-7,22E-05	2,67E-03	3,23E-06	2,68E-03	-5,38E-05	4,01E-03	3,57E-04	4,02E-03
viga	60	20	9,66E-07	-1,14E-04	-4,53E-07	1,14E-04	-1,58E-05	9,94E-04	-1,13E-06	9,94E-04	-3,17E-05	2,02E-03	-2,24E-06	2,02E-03	-6,32E-05	4,03E-03	-4,24E-06	4,03E-03	-4,02E-05	6,04E-03	3,33E-04	6,05E-03
UNION V.V	80	17	8,28E-07	-1,52E-04	-2,57E-07	1,52E-04	-1,36E-05	1,33E-03	-6,54E-07	1,33E-03	-2,72E-05	2,70E-03	-1,30E-06	2,70E-03	-5,42E-05	5,39E-03	-2,46E-06	5,39E-03	-2,67E-05	8,08E-03	3,22E-04	8,08E-03
viga	100	22	6,90E-07	-1,87E-04	-1,14E-07	1,87E-04	-1,14E-05	1,64E-03	9,75E-07	1,64E-03	-2,26E-05	3,33E-03	1,98E-06	3,33E-03	-4,52E-05	6,66E-03	3,98E-06	6,66E-03	-1,31E-05	9,98E-03	3,17E-04	9,99E-03
viga	120	23	5,52E-07	-2,19E-04	-1,61E-08	2,19E-04	-9,11E-06	1,92E-03	2,96E-06	1,92E-03	-1,81E-05	3,89E-03	5,99E-06	3,89E-03	-3,61E-05	7,79E-03	1,19E-05	7,79E-03	4,18E-07	1,17E-02	3,13E-04	1,17E-02
viga	140	24	4,14E-07	-2,45E-04	4,57E-08	2,45E-04	-6,87E-06	2,15E-03	4,80E-06	2,15E-03	-1,36E-05	4,36E-03	9,71E-06	4,36E-03	-2,71E-05	8,72E-03	1,92E-05	8,72E-03	1,40E-05	1,31E-02	3,08E-04	1,31E-02
UNION V.V	160	21	2,76E-07	-2,64E-04	8,26E-08	2,64E-04	-4,63E-06	2,32E-03	6,30E-06	2,32E-03	-9,05E-06	4,71E-03	1,27E-05	4,71E-03	-1,81E-05	9,42E-03	2,52E-05	9,42E-03	2,75E-05	1,41E-02	3,00E-04	1,41E-02
viga	180	26	1,38E-07	-2,76E-04	1,04E-07	2,76E-04	-2,39E-06	2,43E-03	7,41E-06	2,43E-03	-4,53E-06	4,92E-03	1,50E-05	4,92E-03	-9,03E-06	9,85E-03	2,96E-05	9,85E-03	4,11E-05	1,48E-02	2,90E-04	1,48E-02
viga	200	27	-8,83E-17	-2,80E-04	1,11E-07	2,80E-04	-1,43E-07	2,46E-03	7,83E-06	2,46E-03	1,22E-15	5,00E-03	1,58E-05	5,00E-03	2,44E-15	9,99E-03	3,13E-05	9,99E-03	5,46E-05	1,50E-02	2,75E-04	1,50E-02
viga	220	28	-1,38E-07	-2,76E-04	1,04E-07	2,76E-04	2,10E-06	2,43E-03	7,42E-06	2,43E-03	4,53E-06	4,92E-03	1,50E-05	4,92E-03	9,03E-06	9,85E-03	2,96E-05	9,85E-03	6,81E-05	1,48E-02	2,55E-04	1,48E-02
UNION V.V	240	25	-2,76E-07	-2,64E-04	8,26E-08	2,64E-04	4,34E-06	2,32E-03	6,31E-06	2,32E-03	9,05E-06	4,71E-03	1,27E-05	4,71E-03	1,81E-05	9,42E-03	2,52E-05	9,42E-03	8,17E-05	1,41E-02	2,31E-04	1,41E-02
viga	260	30	-4,14E-07	-2,45E-04	4,57E-08	2,45E-04	6,58E-06	2,15E-03	4,81E-06	2,15E-03	1,36E-05	4,36E-03	9,71E-06	4,36E-03	2,71E-05	8,72E-03	1,92E-05	8,72E-03	9,52E-05	1,31E-02	2,05E-04	1,31E-02
viga	280	31	-5,52E-07	-2,19E-04	-1,61E-08	2,19E-04	8,82E-06	1,92E-03	2,97E-06	1,92E-03	1,81E-05	3,89E-03	5,99E-06	3,89E-03	3,61E-05	7,79E-03	1,19E-05	7,79E-03	1,09E-04	1,17E-02	1,78E-04	1,17E-02
viga	300	32	-6,90E-07	-1,87E-04	-1,14E-07	1,87E-04	1,11E-05	1,64E-03	9,88E-07	1,64E-03	2,26E-05	3,33E-03	1,98E-06	3,33E-03	4,52E-05	6,66E-03	3,98E-06	6,66E-03	1,22E-04	9,99E-03	1,50E-04	9,99E-03
UNION V.V	320	29	-8,28E-07	-1,52E-04	-2,57E-07	1,52E-04	1,33E-05	1,33E-03	-6,38E-07	1,33E-03	2,72E-05	2,70E-03	-1,30E-06	2,70E-03	5,42E-05	5,39E-03	-2,46E-06	5,39E-03	1,36E-04	8,09E-03	1,26E-04	8,09E-03
viga	340	34	-9,66E-07	-1,14E-04	-4,53E-07	1,14E-04	1,55E-05	9,94E-04	-1,11E-06	9,94E-04	3,17E-05	2,02E-03	-2,24E-06	2,02E-03	6,32E-05	4,03E-03	-4,24E-06	4,03E-03	1,49E-04	6,05E-03	1,09E-04	6,05E-03
viga	360	35	-1,10E-06	-7,58E-05	-6,83E-07	7,58E-05	1,78E-05	6,59E-04	7,34E-07	6,59E-04	3,62E-05	1,34E-03	1,48E-06	1,34E-03	7,22E-05	2,67E-03	3,23E-06	2,68E-03	1,63E-04	4,01E-03	1,07E-04	4,02E-03
viga	380	36	-1,24E-06	-4,00E-05	-9,26E-07	4,00E-05	2,00E-05	3,46E-04	6,34E-06	3,47E-04	4,07E-05	7,03E-04	1,28E-05	7,04E-04	8,13E-05	1,41E-03	2,58E-05	1,41E-03	1,76E-04	2,11E-03	1,29E-04	2,12E-03
nodo union V,C	400	33	-1,38E-06	-8,92E-06	-1,16E-06	9,10E-06	2,23E-05	7,87E-05	1,75E-05	8,36E-05	4,53E-05	1,61E-04	3,53E-05	1,71E-04	9,03E-05	3,23E-04	7,04E-05	3,43E-04	1,90E-04	4,84E-04	1,86E-04	5,52E-04

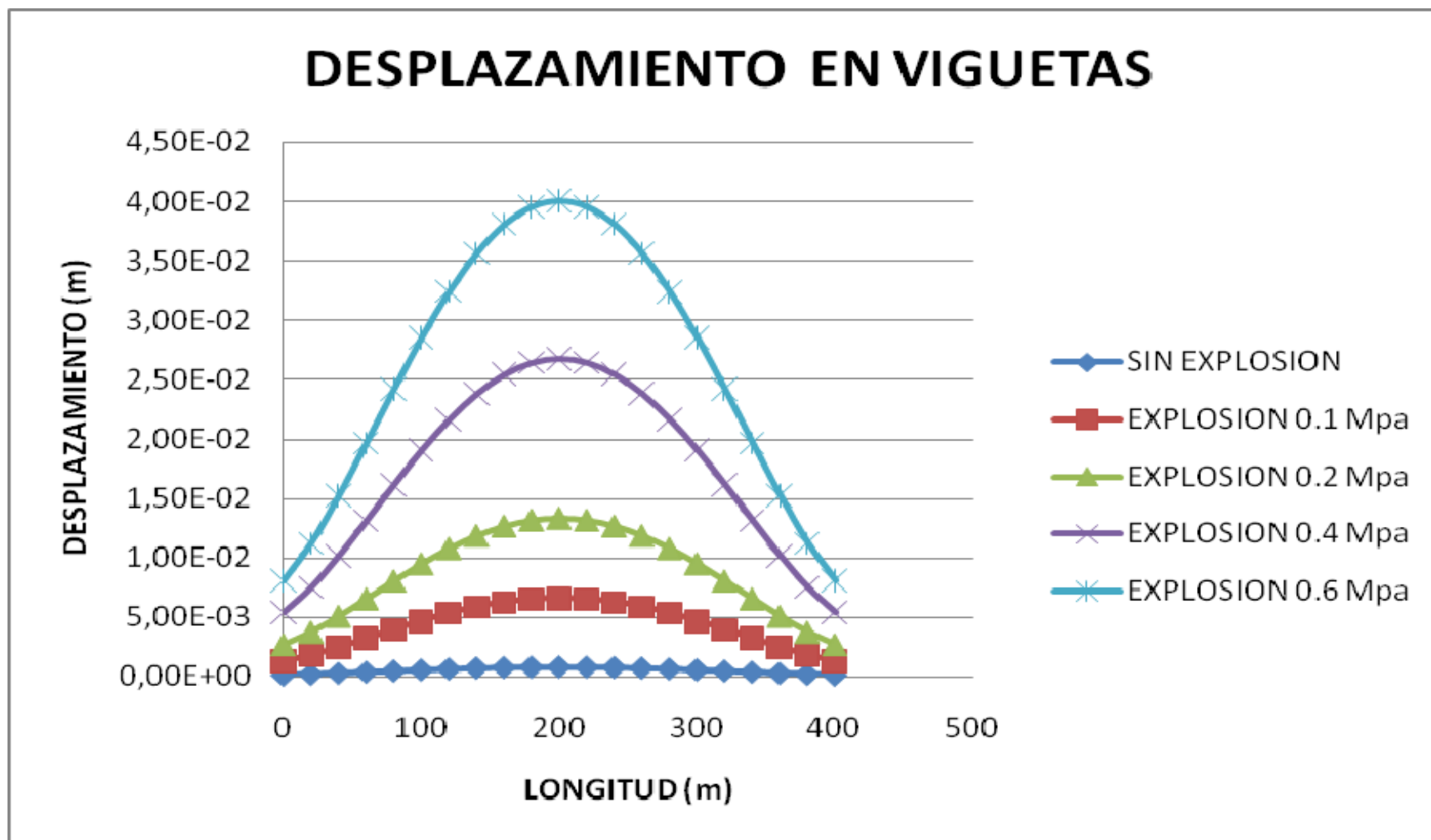
Gráfica 4.5. Desplazamientos Totales En Viga Tipo



**Tabla 4.10. Desplazamientos Para Todos Los Modelos. Vigueta Tipo.**

	DESPLAZAMIENTOS SIN EXPLOSION					DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,1 Mpa				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,2Mpa				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,4Mpa				DESPLAZAMIENTOS EXPLOSION 0,6Mpa				
	LONG	NODO	UX	UY	UZ	USUM	UX1	UY1	UZ1	USUM1	UX2	UY2	UZ2	USUM2	UX4	UY4	UZ4	USUM4	UX6	UY6	UZ6	USUM6
UNION V.V	0	17	8,28E-07	-1,52E-04	-2,57E-07	1,52E-04	-1,36E-05	1,33E-03	-6,54E-07	1,33E-03	-2,72E-05	2,70E-03	-1,30E-06	2,70E-03	-5,42E-05	5,39E-03	-2,46E-06	5,39E-03	-1,16E-04	8,08E-03	-3,22E-06	8,08E-03
vigueta A	20	141	9,90E-07	-2,22E-04	-2,32E-07	2,22E-04	-1,24E-05	1,85E-03	-5,89E-07	1,85E-03	-2,48E-05	3,75E-03	-1,17E-06	3,75E-03	-4,97E-05	7,50E-03	-2,21E-06	7,50E-03	-9,86E-05	1,13E-02	-3,20E-06	1,13E-02
vigueta A	40	142	1,13E-06	-3,08E-04	-2,06E-07	3,08E-04	-1,14E-05	2,52E-03	-5,25E-07	2,52E-03	-2,28E-05	5,08E-03	-1,04E-06	5,08E-03	-4,56E-05	1,02E-02	-1,97E-06	1,02E-02	-8,44E-05	1,53E-02	-2,92E-06	1,53E-02
vigueta A	60	143	1,26E-06	-4,04E-04	-1,80E-07	4,04E-04	-1,05E-05	3,25E-03	-4,60E-07	3,25E-03	-2,09E-05	6,56E-03	-9,10E-07	6,56E-03	-4,21E-05	1,31E-02	-1,72E-06	1,31E-02	-7,29E-05	1,97E-02	-2,36E-06	1,97E-02
vigueta A	80	144	1,37E-06	-5,02E-04	-1,54E-07	5,02E-04	-9,70E-06	4,01E-03	-3,95E-07	4,01E-03	-1,93E-05	8,07E-03	-7,80E-07	8,07E-03	-3,90E-05	1,61E-02	-1,47E-06	1,61E-02	-6,38E-05	2,42E-02	-2,06E-06	2,42E-02
vigueta A	100	145	1,47E-06	-5,96E-04	-1,29E-07	5,96E-04	-9,03E-06	4,73E-03	-3,31E-07	4,73E-03	-1,80E-05	9,51E-03	-6,50E-07	9,51E-03	-3,63E-05	1,90E-02	-1,23E-06	1,90E-02	-5,68E-05	2,86E-02	-1,86E-06	2,86E-02
vigueta A	120	146	1,54E-06	-6,79E-04	-1,03E-07	6,79E-04	-8,48E-06	5,37E-03	-2,66E-07	5,37E-03	-1,69E-05	1,08E-02	-5,20E-07	1,08E-02	-3,42E-05	2,16E-02	-9,83E-07	2,16E-02	-5,16E-05	3,24E-02	-1,46E-06	3,24E-02
vigueta A	140	147	1,60E-06	-7,49E-04	-7,72E-08	7,49E-04	-8,05E-06	5,91E-03	-2,01E-07	5,91E-03	-1,60E-05	1,19E-02	-3,90E-07	1,19E-02	-3,25E-05	2,38E-02	-7,37E-07	2,38E-02	-4,79E-05	3,57E-02	-4,60E-07	3,57E-02
vigueta A	160	148	1,65E-06	-8,01E-04	-5,15E-08	8,01E-04	-7,75E-06	6,31E-03	-1,37E-07	6,31E-03	-1,54E-05	1,27E-02	-2,60E-07	1,27E-02	-3,13E-05	2,54E-02	-4,91E-07	2,54E-02	-4,55E-05	3,81E-02	-2,50E-07	3,81E-02
vigueta A	180	149	1,67E-06	-8,33E-04	-2,57E-08	8,33E-04	-7,56E-06	6,56E-03	-7,20E-08	6,56E-03	-1,51E-05	1,32E-02	-1,30E-07	1,32E-02	-3,06E-05	2,64E-02	-2,46E-07	2,64E-02	-4,42E-05	3,96E-02	-1,66E-06	3,96E-02
vigueta A	200	150	1,68E-06	-8,44E-04	-5,95E-17	8,44E-04	-7,49E-06	6,65E-03	-7,30E-09	6,65E-03	-1,50E-05	1,34E-02	9,00E-16	1,34E-02	-3,04E-05	2,67E-02	1,80E-15	2,67E-02	-4,36E-05	4,01E-02	3,26E-15	4,01E-02
vigueta A	220	151	1,67E-06	-8,33E-04	2,57E-08	8,33E-04	-7,55E-06	6,56E-03	5,74E-08	6,56E-03	-1,51E-05	1,32E-02	1,30E-07	1,32E-02	-3,06E-05	2,64E-02	2,46E-07	2,64E-02	-4,42E-05	3,96E-02	1,66E-06	3,96E-02
vigueta A	240	152	1,65E-06	-8,01E-04	5,15E-08	8,01E-04	-7,72E-06	6,31E-03	1,22E-07	6,31E-03	-1,54E-05	1,27E-02	2,60E-07	1,27E-02	-3,13E-05	2,54E-02	4,91E-07	2,54E-02	-4,55E-05	3,81E-02	2,50E-07	3,81E-02
vigueta A	260	153	1,60E-06	-7,49E-04	7,72E-08	7,49E-04	-8,02E-06	5,91E-03	1,87E-07	5,91E-03	-1,60E-05	1,19E-02	3,90E-07	1,19E-02	-3,25E-05	2,38E-02	7,37E-07	2,38E-02	-4,79E-05	3,56E-02	4,60E-07	3,56E-02
vigueta A	280	154	1,54E-06	-6,79E-04	1,03E-07	6,79E-04	-8,44E-06	5,37E-03	2,51E-07	5,37E-03	-1,69E-05	1,08E-02	5,20E-07	1,08E-02	-3,42E-05	2,16E-02	9,83E-07	2,16E-02	-5,16E-05	3,24E-02	1,46E-06	3,24E-02
vigueta A	300	155	1,47E-06	-5,96E-04	1,29E-07	5,96E-04	-8,97E-06	4,73E-03	3,16E-07	4,73E-03	-1,80E-05	9,51E-03	6,50E-07	9,51E-03	-3,63E-05	1,90E-02	1,23E-06	1,90E-02	-5,68E-05	2,85E-02	1,86E-06	2,85E-02
vigueta A	320	156	1,37E-06	-5,02E-04	1,54E-07	5,02E-04	-9,64E-06	4,01E-03	3,81E-07	4,01E-03	-1,93E-05	8,07E-03	7,80E-07	8,07E-03	-3,90E-05	1,61E-02	1,47E-06	1,61E-02	-6,38E-05	2,42E-02	2,06E-06	2,42E-02
vigueta A	340	157	1,26E-06	-4,04E-04	1,80E-07	4,04E-04	-1,04E-05	3,25E-03	4,45E-07	3,25E-03	-2,09E-05	6,56E-03	9,10E-07	6,56E-03	-4,21E-05	1,31E-02	1,72E-06	1,31E-02	-7,29E-05	1,97E-02	2,36E-06	1,97E-02
vigueta A	360	158	1,13E-06	-3,08E-04	2,06E-07	3,08E-04	-1,13E-05	2,52E-03	5,10E-07	2,52E-03	-2,28E-05	5,08E-03	1,04E-06	5,08E-03	-4,56E-05	1,02E-02	1,97E-06	1,02E-02	-8,44E-05	1,52E-02	2,92E-06	1,52E-02
vigueta A	380	159	9,90E-07	-2,22E-04	2,32E-07	2,22E-04	-1,23E-05	1,85E-03	5,75E-07	1,85E-03	-2,48E-05	3,75E-03	1,17E-06	3,75E-03	-4,97E-05	7,50E-03	2,21E-06	7,50E-03	-9,86E-05	1,13E-02	3,20E-06	1,13E-02
UNION V.V	400	68	8,28E-07	-1,52E-04	2,57E-07	1,52E-04	-1,35E-05	1,33E-03	6,39E-07	1,33E-03	-2,72E-05	2,70E-03	1,30E-06	2,70E-03	-5,42E-05	5,39E-03	2,46E-06	5,39E-03	-1,16E-04	8,09E-03	3,22E-06	8,10E-03

Gráfica 4.6. Desplazamientos Totales En Viga Tipo



## FUERZAS INTERNAS EN LOS ELEMENTOS

Tabla 4.11. Fuerzas Internas En Los Elementos. Columna Tipo

		FUERZAS INTERNAS SIN EXPLOSION			FUERZAS INTERNAS EXPLOSION 0,1Mpa			FUERZAS INTERNAS EXPLOSION 0,2Mpa			FUERZAS INTER. EXPLOSION 0,4MPa			FUERZAS INTER. EXPLOSION 0,6Mpa		
	<b>ELEM=1</b>															
COLUMNA	1	-12416	-53512	10805	62080	4,69E+05	-32895	1,13E+05	9,22E+05	-51365	2,26E+05	1,84E+06	-1,03E+05	3,39E+05	2,77E+06	-1,54E+05
COLUMNA	3	12416	53512	-10805	-68079	-4,69E+05	38894	-1,25E+05	-9,22E+05	63363	-2,50E+05	-1,84E+06	1,27E+05	-3,75E+05	-2,77E+06	1,90E+05
	<b>ELEM=2</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNA	3	-12416	-53512	10805	68079	4,69E+05	-38894	1,25E+05	9,22E+05	-63363	2,50E+05	1,84E+06	-1,27E+05	3,75E+05	2,77E+06	-1,90E+05
COLUMNA	4	12416	53512	-10805	-74079	-4,69E+05	44893	-1,37E+05	-9,22E+05	75361	-2,74E+05	-1,84E+06	1,51E+05	-4,11E+05	-2,77E+06	2,26E+05
	<b>ELEM=3</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNA	4	-12416	-53512	10805	74079	4,69E+05	-44893	1,37E+05	9,22E+05	-75361	2,74E+05	1,84E+06	-1,51E+05	4,11E+05	2,77E+06	-2,26E+05
COLUMNA	5	12416	53512	-10805	-80078	-4,69E+05	50892	-1,49E+05	-9,22E+05	87359	-2,98E+05	-1,84E+06	1,75E+05	-4,47E+05	-2,77E+06	2,62E+05
	<b>ELEM=4</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNA	5	-12416	-53512	10805	80078	4,69E+05	-50892	1,49E+05	9,22E+05	-87359	2,98E+05	1,84E+06	-1,75E+05	4,47E+05	2,77E+06	-2,62E+05
COLUMNA	6	12416	53512	-10805	-86077	-4,69E+05	56891	-1,61E+05	-9,22E+05	99357	-3,22E+05	-1,84E+06	1,99E+05	-4,83E+05	-2,77E+06	2,98E+05
	<b>ELEM=5</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNA	6	-12416	-53512	10805	86077	4,69E+05	-56891	1,61E+05	9,22E+05	-99357	3,22E+05	1,84E+06	-1,99E+05	4,83E+05	2,77E+06	-2,98E+05
COLUMNA	7	12416	53512	-10805	-92076	-4,69E+05	62890	-1,73E+05	-9,22E+05	1,11E+05	-3,46E+05	-1,84E+06	2,23E+05	-5,19E+05	-2,77E+06	3,34E+05
	<b>ELEM=6</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNA	7	-12416	-53512	10805	92076	4,69E+05	-62890	1,73E+05	9,22E+05	-1,11E+05	3,46E+05	1,84E+06	-2,23E+05	5,19E+05	2,77E+06	-3,34E+05
COLUMNA	8	12416	53512	-10805	-98075	-4,69E+05	68889	-1,85E+05	-9,22E+05	1,23E+05	-3,70E+05	-1,84E+06	2,47E+05	-5,55E+05	-2,77E+06	3,70E+05
	<b>ELEM=7</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNA	8	-12416	-53512	10805	98075	4,69E+05	-68889	1,85E+05	9,22E+05	-1,23E+05	3,70E+05	1,84E+06	-2,47E+05	5,55E+05	2,77E+06	-3,70E+05
COLUMNA	9	12416	53512	-10805	-1,04E+05	-4,69E+05	74888	-1,97E+05	-9,22E+05	1,35E+05	-3,94E+05	-1,84E+06	2,71E+05	-5,91E+05	-2,77E+06	4,06E+05
	<b>ELEM=8</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNA	9	-12416	-53512	10805	1,04E+05	4,69E+05	-74888	1,97E+05	9,22E+05	-1,35E+05	3,94E+05	1,84E+06	-2,71E+05	5,91E+05	2,77E+06	-4,06E+05
COLUMNA	10	12416	53512	-10805	-1,10E+05	-4,69E+05	80887	-2,09E+05	-9,22E+05	1,47E+05	-4,18E+05	-1,84E+06	2,95E+05	-6,27E+05	-2,77E+06	4,42E+05
	<b>ELEM=9</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNA	10	-12416	-53512	10805	1,10E+05	4,69E+05	-80887	2,09E+05	9,22E+05	-1,47E+05	4,18E+05	1,84E+06	-2,95E+05	6,27E+05	2,77E+06	-4,42E+05
COLUMNA	11	12416	53512	-10805	-1,16E+05	-4,69E+05	86886	-2,21E+05	-9,22E+05	1,59E+05	-4,42E+05	-1,84E+06	3,19E+05	-6,63E+05	-2,77E+06	4,78E+05
	<b>ELEM=10</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNA	11	-12416	-53512	10805	1,16E+05	4,69E+05	-86886	2,21E+05	9,22E+05	-1,59E+05	4,42E+05	1,84E+06	-3,19E+05	6,63E+05	2,77E+06	-4,78E+05
COLUMNA	12	12416	53512	-10805	-1,22E+05	-4,69E+05	92885	-2,33E+05	-9,22E+05	1,71E+05	-4,66E+05	-1,84E+06	3,43E+05	-6,99E+05	-2,77E+06	5,14E+05

	<b>ELEM=11</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNNA	12	-12416	-53512	10805	1,22E+05	4,69E+05	-92885	2,33E+05	9,22E+05	-1,71E+05	4,66E+05	1,84E+06	-3,43E+05	6,99E+05	2,77E+06	-5,14E+05
COLUMNNA	13	12416	53512	-10805	-1,28E+05	-4,69E+05	98885	-2,45E+05	-9,22E+05	1,83E+05	-4,90E+05	-1,84E+06	3,67E+05	-7,35E+05	-2,77E+06	5,50E+05
	<b>ELEM=12</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNNA	13	-12416	-53512	10805	1,28E+05	4,69E+05	-98885	2,45E+05	9,22E+05	-1,83E+05	4,90E+05	1,84E+06	-3,67E+05	7,35E+05	2,77E+06	-5,50E+05
COLUMNNA	14	12416	53512	-10805	-1,34E+05	-4,69E+05	1,05E+05	-2,57E+05	-9,22E+05	1,95E+05	-5,14E+05	-1,84E+06	3,91E+05	-7,71E+05	-2,77E+06	5,86E+05
	<b>ELEM=13</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNNA	14	-12416	-53512	10805	1,34E+05	4,69E+05	-1,05E+05	2,57E+05	9,22E+05	-1,95E+05	5,14E+05	1,84E+06	-3,91E+05	7,71E+05	2,77E+06	-5,86E+05
COLUMNNA	15	12416	53512	-10805	-1,40E+05	-4,69E+05	1,11E+05	-2,69E+05	-9,22E+05	2,07E+05	-5,38E+05	-1,84E+06	4,15E+05	-8,07E+05	-2,77E+06	6,22E+05
	<b>ELEM=14</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNNA	15	-12416	-53512	10805	1,40E+05	4,69E+05	-1,11E+05	2,69E+05	9,22E+05	-2,07E+05	5,38E+05	1,84E+06	-4,15E+05	8,07E+05	2,77E+06	-6,22E+05
COLUMNNA	16	12416	53512	-10805	-1,46E+05	-4,69E+05	1,17E+05	-2,81E+05	-9,22E+05	2,19E+05	-2406430	4,39E+05		-3609690	6,58E+05	
	<b>ELEM=15</b>	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
COLUMNNA	16	-12416	-53512	10805	1,46E+05	4,69E+05	-1,17E+05	2,81E+05	9,22E+05	-2,19E+05	5,62E+05	1,84E+06	-4,39E+05	8,43E+05	2,77E+06	-6,58E+05
COLUMNNA	2	12416	53512	-10805	-1,52E+05	-4,69E+05	1,23E+05	-2,93E+05	-9,22E+05	2,31E+05	-5,86E+05	-1,84E+06	4,63E+05	-8,79E+05	-2,77E+06	6,94E+05

	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
<b>MAX</b>	12416	53512	10805	146070	469090	122880	280860	922370	231340	561730	1844700	462670	842590	2767100	694010
<b>MIN</b>	-12416	-53512	-10805	-152070	-469090	-116880	-292860	-922370	-219340	-2406430	-1844700	-438680	-3609690	-2767100	-658020

Tabla 4.12. Fuerzas Internas En Los Elementos Dirección (X), Columna Tipo.

	FX	FX1	FX2	FX4	FX6
MAX	12416	1,46E+05	280860	561730	842590
MIN	-12416	-152070	-292860	-2406430	-3609690

Gráfica 4.7. Fuerzas Internas En Los Elementos Dirección (X), Columna Tipo.

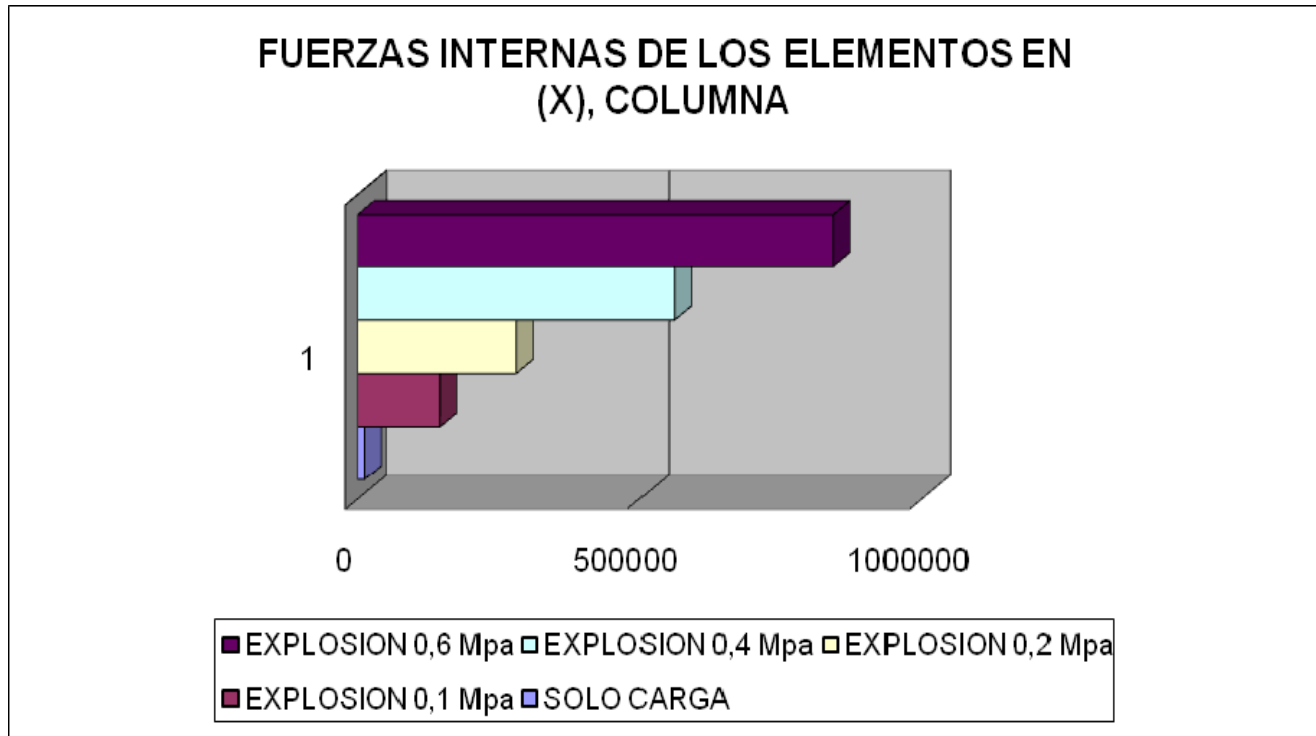


Tabla 4.12. Fuerzas Internas En Los Elementos Dirección (Y), Columna Tipo.

	FY	FY1	FY2	FY4	FY6
MAX	53512	4,69E+05	922370	1844700	2767100
MIN	-53512	4,69E+05	-922370	-1844700	-2767100

Gráfica 4.8. Fuerzas Internas En Los Elementos Dirección (Y), Columna Tipo.

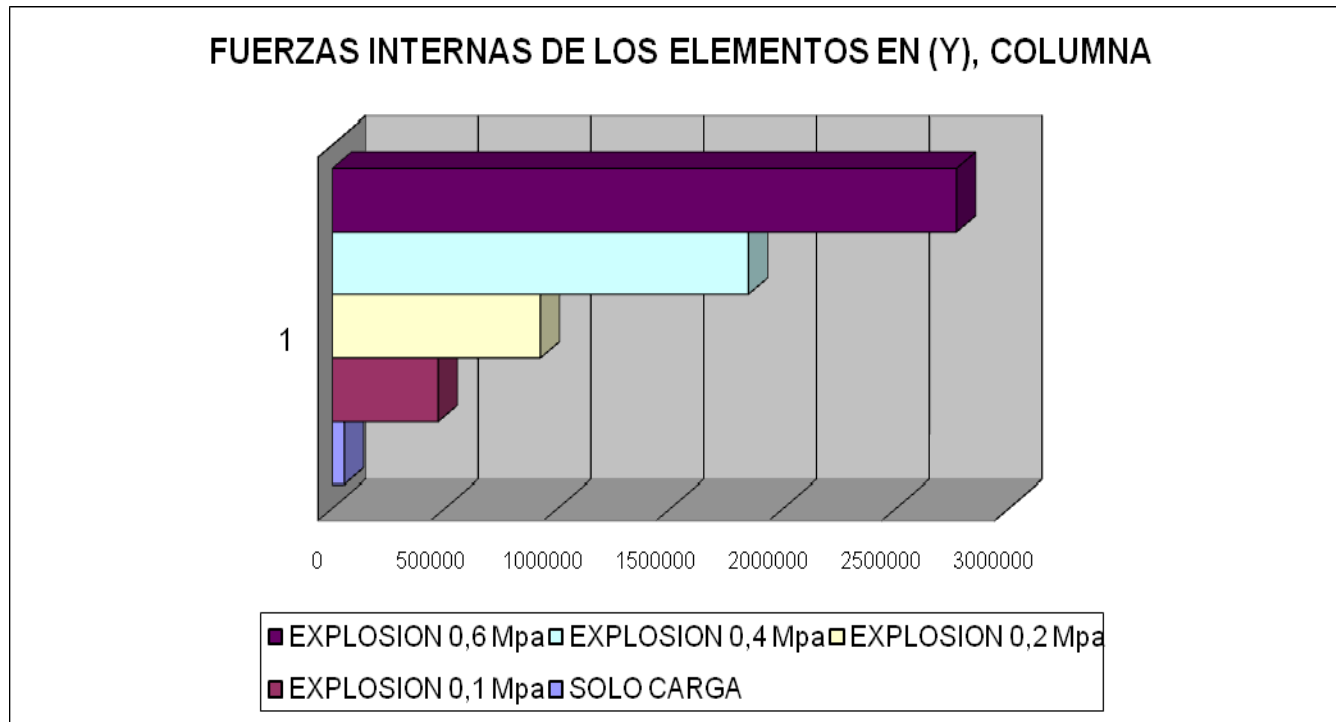
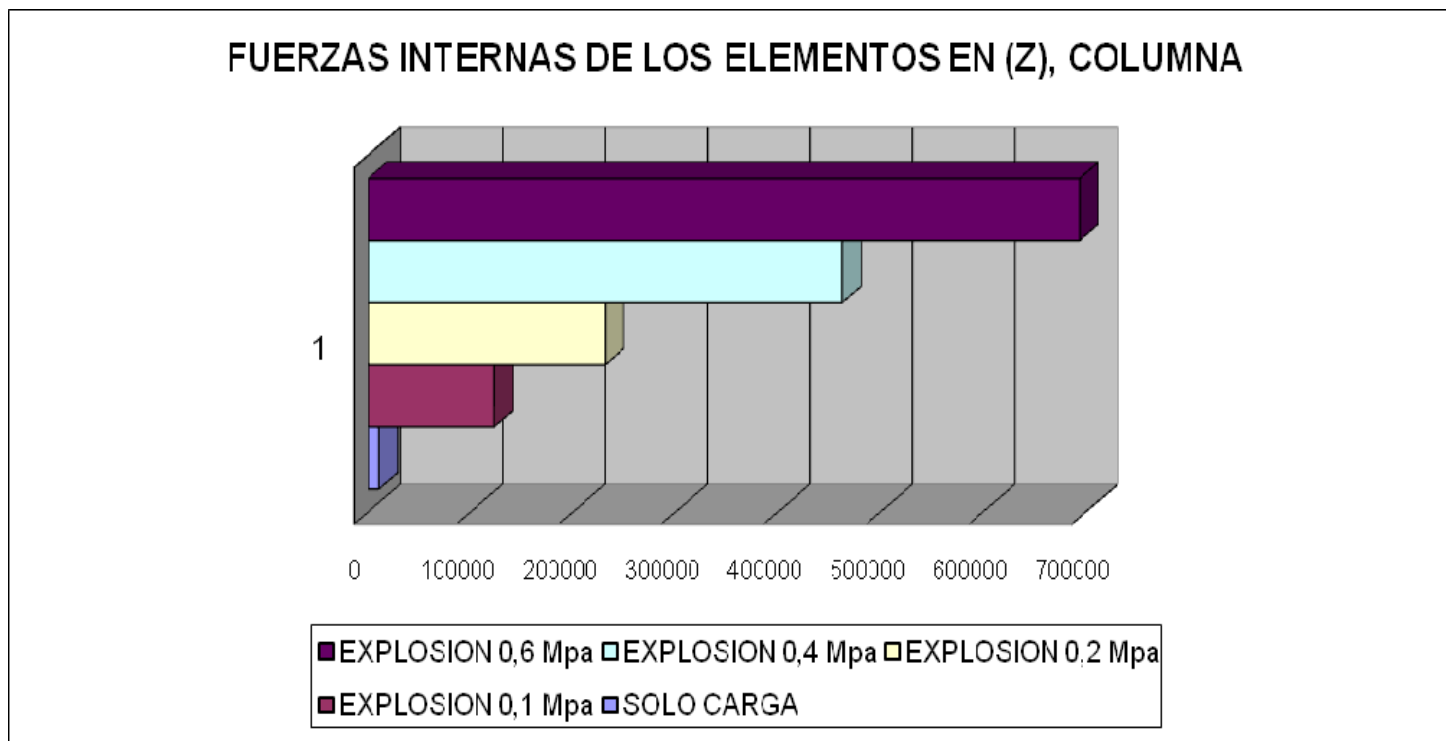


Tabla 4.13. Fuerzas Internas En Los Elementos Dirección (Z), Columna Tipo.

	FZ	FZ1	FZ2	FZ4	FZ6
MAX	10805	1,23E+05	231340	462670	694010
MIN	-10805	-	-219340	-438680	-658020

Gráfica 4.9. Fuerzas Internas En Los Elementos Dirección (Z), Columna Tipo.



**Tabla 4.14. Fuerzas Internas En Los Elementos. Viga Tipo.**

		FUERZAS INTERNAS SIN EXPLOSION			FUERZAS INTERNAS EXPLOSION 0,1Mpa			FUERZAS INTERNAS EXPLOSION 0,2Mpa			FUERZAS INTER. EXPLOSION 0,4Mpa			FUERZAS INTER. EXPLOSION 0,6Mpa		
		FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
	<b>ELEM=16</b>															
VIGA	2	-12416	-42810	384,37	1,95E+05	3,95E+05	28437	3,87E+05	7,81E+05	70359	7,74E+05	1,56E+06	1,41E+05	1,16E+06	2,34E+06	2,11E+05
VIGA	18	12416	42810	-384,37	-1,95E+05	-3,87E+05	-23729	-3,87E+05	-7,67E+05	-60943	-7,74E+05	-1,53E+06	-1,22E+05	-1,16E+06	-2,30E+06	-1,83E+05
	<b>ELEM=17</b>															
VIGA	18	-12416	-42810	384,37	1,95E+05	3,87E+05	23729	3,87E+05	7,67E+05	60943	7,74E+05	1,53E+06	1,22E+05	1,16E+06	2,30E+06	1,83E+05
VIGA	19	12416	42810	-384,37	-1,95E+05	-3,80E+05	-19021	-3,87E+05	-7,53E+05	-51527	-7,74E+05	-1,51E+06	-1,03E+05	-1,16E+06	-2,26E+06	-1,55E+05
	<b>ELEM=18</b>															
VIGA	19	-12416	-42810	384,37	1,95E+05	3,80E+05	19021	3,87E+05	7,53E+05	51527	7,74E+05	1,51E+06	1,03E+05	1,16E+06	2,26E+06	1,55E+05
VIGA	20	12416	42810	-384,37	-1,95E+05	-3,73E+05	-14313	-3,87E+05	-7,39E+05	-42111	-7,74E+05	-1,48E+06	-84222	-1,16E+06	-2,22E+06	-1,26E+05
	<b>ELEM=19</b>															
VIGA	20	-12416	-42810	384,37	1,95E+05	3,73E+05	14313	3,87E+05	7,39E+05	42111	7,74E+05	1,48E+06	84222	1,16E+06	2,22E+06	1,26E+05
VIGA	17	12416	42810	-384,37	-1,95E+05	-3,66E+05	-9605,5	-3,87E+05	-7,25E+05	-32695	-7,74E+05	-1,45E+06	-65390	-1,16E+06	-2,17E+06	-98085
	<b>ELEM=20</b>															
VIGA	17	-12416	-21405	-181,69	1,95E+05	2,06E+05	8375,2	3,87E+05	4,05E+05	30121	7,74E+05	8,09E+05	60242	1,16E+06	1,21E+06	90363
VIGA	22	12416	21405	181,69	-1,95E+05	-1,99E+05	-3667,2	-3,87E+05	-3,91E+05	-20705	-7,74E+05	-7,81E+05	-41410	-1,16E+06	-1,17E+06	-62115
	<b>ELEM=21</b>															
VIGA	22	-12416	-21405	-181,69	1,95E+05	1,99E+05	3667,2	3,87E+05	3,91E+05	20705	7,74E+05	7,81E+05	41410	1,16E+06	1,17E+06	62115
VIGA	23	12416	21405	181,69	-1,95E+05	-1,92E+05	1040,8	-3,87E+05	-3,76E+05	-11289	-7,74E+05	-7,53E+05	-22578	-1,16E+06	-1,13E+06	-33867
	<b>ELEM=22</b>															
VIGA	23	-12416	-21405	-181,69	1,95E+05	1,92E+05	-1040,8	3,87E+05	3,76E+05	11289	7,74E+05	7,53E+05	22578	1,16E+06	1,13E+06	33867
VIGA	24	12416	21405	181,69	-1,95E+05	-1,85E+05	5748,8	-3,87E+05	-3,62E+05	-1873	-7,74E+05	-7,25E+05	-3746	-1,16E+06	-1,09E+06	-5619
	<b>ELEM=23</b>															
VIGA	24	-12416	-21405	-181,69	1,95E+05	1,85E+05	-5748,8	3,87E+05	3,62E+05	1873	7,74E+05	7,25E+05	3746	1,16E+06	1,09E+06	5619
VIGA	21	12416	21405	181,69	-1,95E+05	-1,78E+05	10457	-3,87E+05	-3,48E+05	7543	-7,74E+05	-6,96E+05	15086	-1,16E+06	-1,04E+06	22629
	<b>ELEM=24</b>															
VIGA	21	-12416	-5,79E-09	-5,51E-10	1,94E+05	16958	2989,3	3,87E+05	28237	18832	7,74E+05	56475	37664	1,16E+06	84712	56496
VIGA	26	12416	5,24E-09	5,51E-10	-1,94E+05	-9898,4	1718,7	-3,87E+05	-14119	-9416	-7,74E+05	-28237	-18832	-1,16E+06	-42356	-28248
	<b>ELEM=25</b>															
VIGA	26	-12416	-2,42E-08	-5,58E-10	1,94E+05	9898,4	-1718,7	3,87E+05	14119	9416	7,74E+05	28237	18832	1,16E+06	42356	28248
VIGA	27	12416	2,37E-08	5,58E-10	-1,94E+05	-2839	6426,7	-3,87E+05	-4,76E-07	-7,63E-09	-7,74E+05	-9,51E-07	-1,35E-08	-1,16E+06	-9,73E-07	-2,20E-08
	<b>ELEM=26</b>															
VIGA	27	-12416	-4,16E-08	-5,43E-10	1,94E+05	2839	-6426,7	3,87E+05	6,20E-07	8,05E-09	7,74E+05	1,24E-06	1,59E-08	1,16E+06	1,90E-06	2,35E-08
VIGA	28	12416	4,11E-08	5,43E-10	-1,94E+05	4220,3	11135	-3,87E+05	14119	9416	-7,74E+05	28237	18832	-1,16E+06	42356	28248

	ELEM=27	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGA	28	-12416	-2,99E-08	-5,57E-10	1,94E+05	-4220,3	-11135	3,87E+05	-14119	-9416	7,74E+05	-28237	-18832	1,16E+06	-42356	-28248
VIGA	25	12416	2,93E-08	5,57E-10	-1,94E+05	11280	15843	-3,87E+05	28237	18832	-7,74E+05	56475	37664	-1,16E+06	84712	56496
	ELEM=28	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGA	25	-12416	21405	181,69	1,94E+05	-1,72E+05	-2288,7	3,87E+05	-3,48E+05	7543	7,74E+05	-6,96E+05	15086	1,16E+06	-1,04E+06	22629
VIGA	30	12416	-21405	-181,69	-1,94E+05	1,79E+05	6996,7	-3,87E+05	3,62E+05	1873	-7,74E+05	7,25E+05	3746	-1,16E+06	1,09E+06	5619
	ELEM=29	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGA	30	-12416	21405	181,69	1,94E+05	-1,79E+05	-6996,7	3,87E+05	-3,62E+05	-1873	7,74E+05	-7,25E+05	-3746	1,16E+06	-1,09E+06	-5619
VIGA	31	12416	-21405	0	-1,94E+05	1,86E+05	11705	-3,87E+05	3,76E+05	11289	-7,74E+05	7,53E+05	22578	-1,16E+06	1,13E+06	33867
	ELEM=30	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGA	31	-12416	21405	181,69	1,94E+05	-1,86E+05	-11705	3,87E+05	-3,76E+05	-11289	7,74E+05	-7,53E+05	-22578	1,16E+06	-1,13E+06	-33867
VIGA	32	12416	-21405	-181,69	-1,94E+05	1,93E+05	16413	-3,87E+05	3,91E+05	20705	-7,74E+05	7,81E+05	41410	-1,16E+06	1,17E+06	62115
	ELEM=31	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGA	32	-12416	21405	181,69	1,94E+05	-1,93E+05	-16413	3,87E+05	-3,91E+05	-20705	7,74E+05	-7,81E+05	-41410	1,16E+06	-1,17E+06	-62115
VIGA	29	12416	-21405	-181,69	-1,94E+05	2,00E+05	21121	-3,87E+05	4,05E+05	30121	-7,74E+05	8,09E+05	60242	-1,16E+06	1,21E+06	90363
	ELEM=32	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGA	29	-12416	42810	-384,37	1,94E+05	-3,61E+05	-24412	3,87E+05	-7,25E+05	-32695	7,74E+05	-1,45E+06	-65390	1,16E+06	-2,17E+06	-98085
VIGA	34	12416	-42810	384,37	-1,94E+05	3,68E+05	29120	-3,87E+05	7,39E+05	42111	-7,74E+05	1,48E+06	84222	-1,16E+06	2,22E+06	1,26E+05
	ELEM=33	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGA	34	-12416	42810	-384,37	1,94E+05	-3,68E+05	-29120	3,87E+05	-7,39E+05	-42111	7,74E+05	-1,48E+06	-84222	1,16E+06	-2,22E+06	-1,26E+05
VIGA	35	12416	-42810	384,37	-1,94E+05	3,75E+05	33828	-3,87E+05	7,53E+05	51527	-7,74E+05	1,51E+06	1,03E+05	-1,16E+06	2,26E+06	1,55E+05
	ELEM=34	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGA	35	-12416	42810	-384,37	1,94E+05	-3,75E+05	-33828	3,87E+05	-7,53E+05	-51527	7,74E+05	-1,51E+06	-1,03E+05	0,22588E+07	-1,55E+05	
VIGA	36	12416	-42810	384,37	-1,94E+05	3,82E+05	38536	-3,87E+05	7,67E+05	60943	-7,74E+05	1,53E+06	1,22E+05	-1,16E+06	2,30E+06	1,83E+05
	ELEM=35	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGA	36	-12416	42810	-384,37	1,94E+05	-3,82E+05	-38536	3,87E+05	-7,67E+05	-60943	7,74E+05	-1,53E+06	-1,22E+05	1,16E+06	-2,30E+06	-1,83E+05
VIGA	33	12416	-42810	384,37	-1,94E+05	3,89E+05	43244	-3,87E+05	7,81E+05	70359	-7,74E+05	1,56E+06	1,41E+05	-1,16E+06	2,34E+06	2,11E+05

	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
MAX	12416	42810	384,37	194910	394520	43244	387020	781190	70359	774040	1562400	140720	1161100	2343600	211080
MIN	-12416	-42810	-384,37	-194910	-387460	-38536	-387020	-767070	-60943	-774040	-1534100	-121890	-1161100	-2301200	-182830

Tabla 4.15. Gráfica. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (X), Viga Tipo.

	FX	FX1	FX2	FX4	FX6
MAX	12416	1,95E+05	387020	774040	1161100
MIN	-12416	-194910	-387020	-774040	-1161100

Gráfica 4.10. Gráfica. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (X), Viga Tipo.

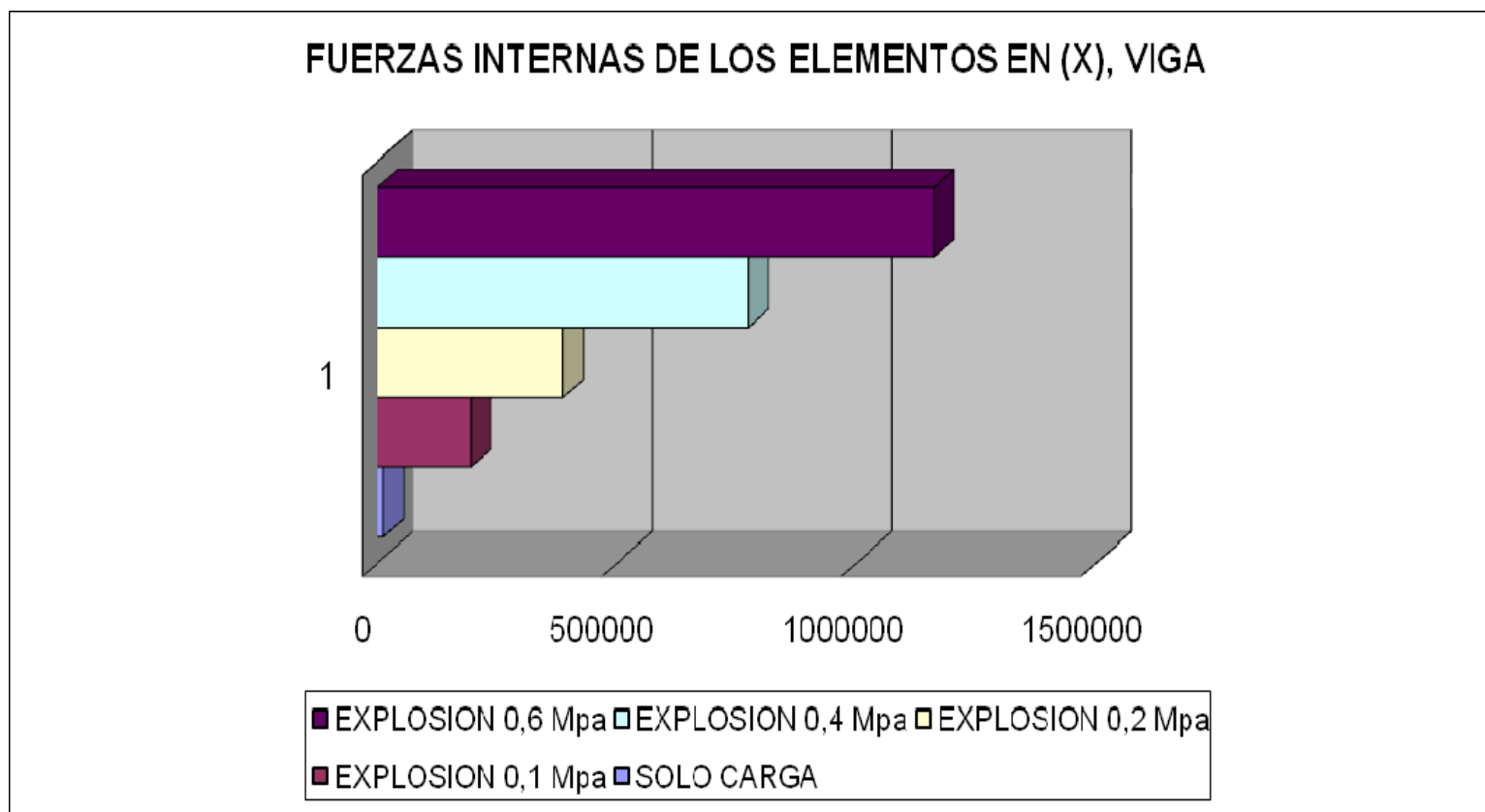


Tabla 4.16. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (Y), Viga Tipo.

	FY	FY1	FY2	FY4	FY6
MAX	42810	3,95E+05	781190	1562400	2343600
MIN	-42810	-	-767070	-1534100	-2301200

Gráfica 4.11. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (Y), Viga Tipo.

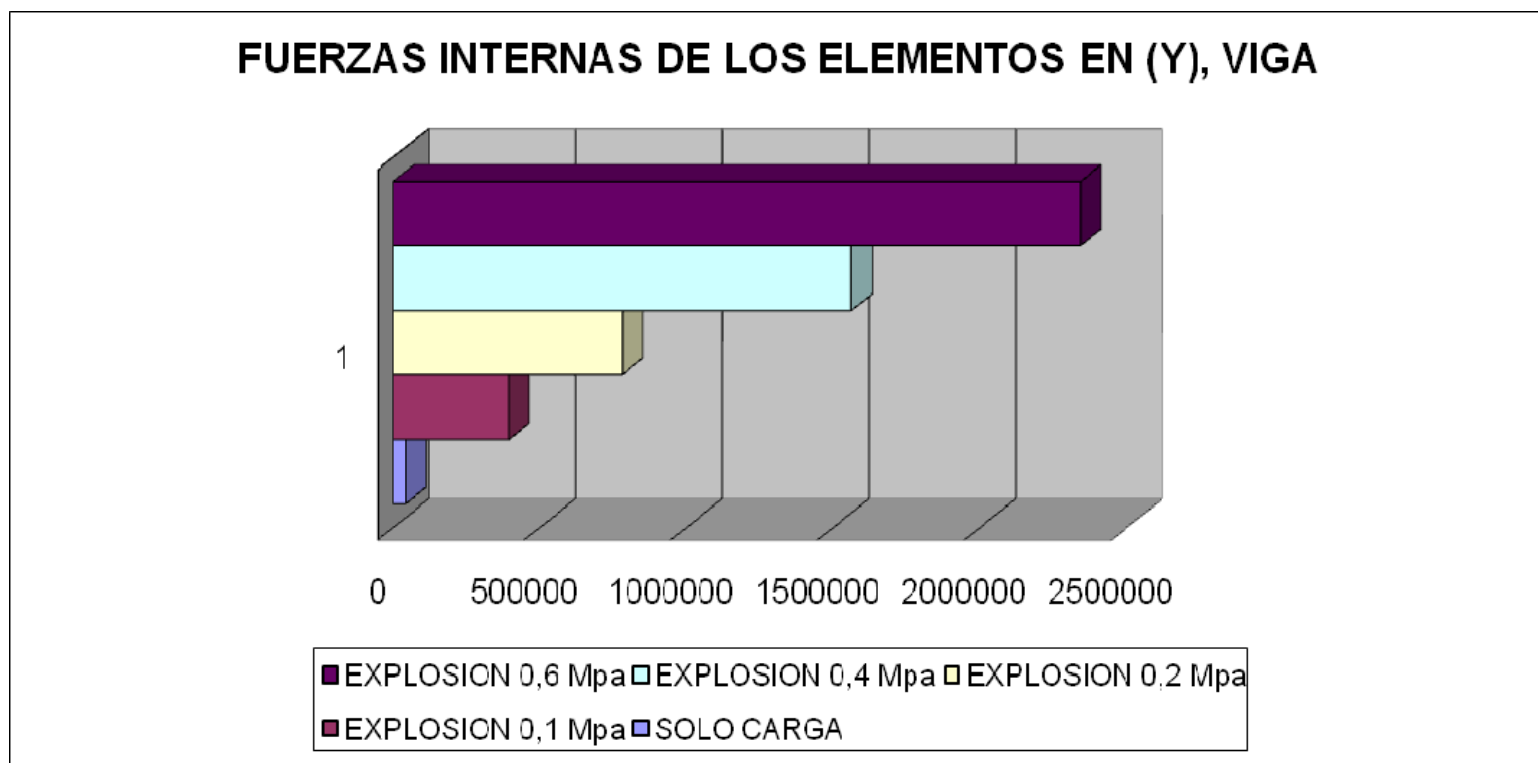
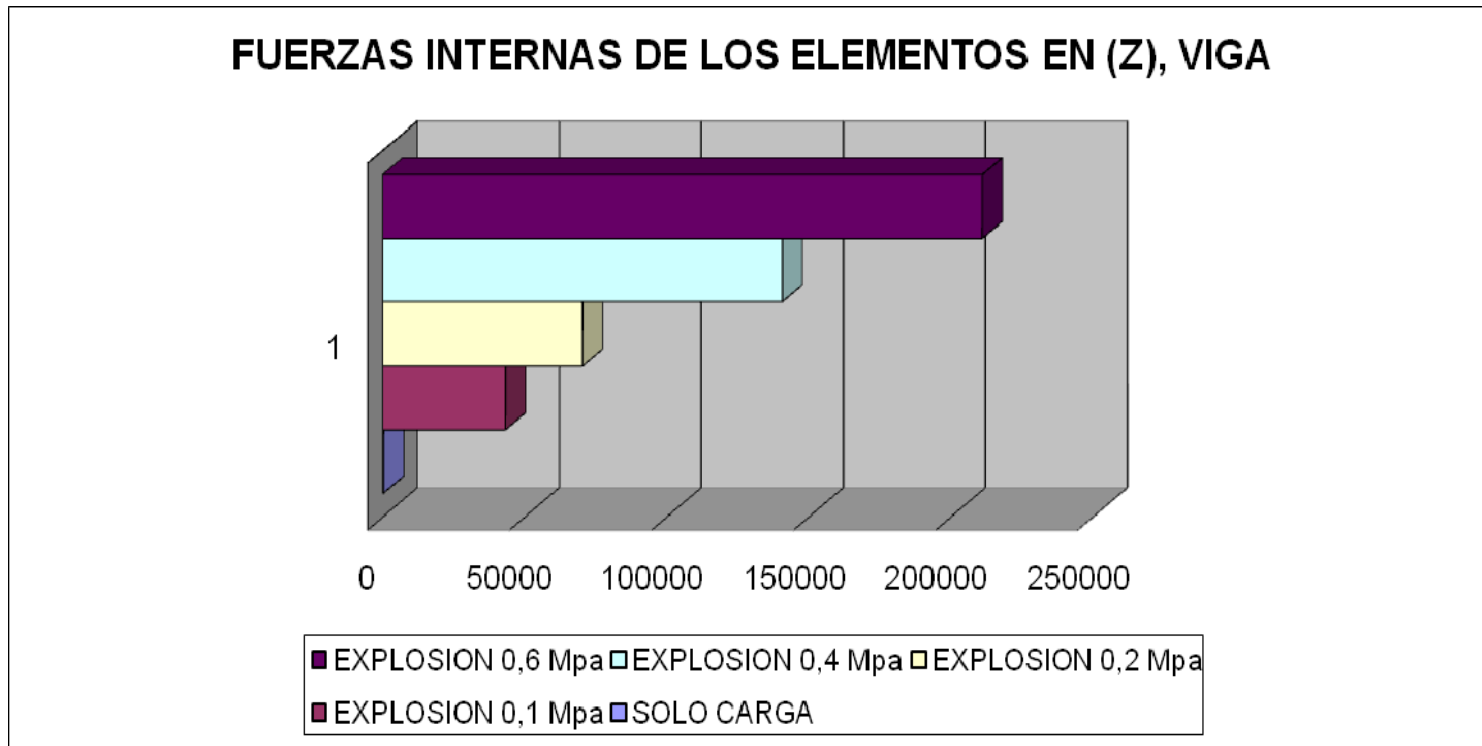


Tabla 4.17. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (Z), Viga Tipo.

	FYZ	FZ1	FZ2	FZ4	FZ6
MAX	384,37	4,32E+04	70359	140720	211080
MIN	-384,37	3,85E+04	-60943	-121890	-182830

Gráfica 4.12. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (Z), Viga Tipo.



**Tabla 4.18. Fuerzas Internas En Los Elementos. Vigueta Tipo.**

		FUERZAS INTERNAS SIN EXPLOSION			FUERZAS INTERNAS EXPLOSION 0,1Mpa			FUERZAS INTERNAS EXPLOSION 0,2Mpa			FUERZAS INTER. EXPLOSION 0,4MPa			FUERZAS INTER. EXPLOSION 0,6Mpa		
	ELEM=	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	17	2,83E-11	-21405	566,07	2,69E-10	1,61E+05	1230,3	-2,77E-10	3,20E+05	2573,9	-5,84E-10	6,40E+05	5147,7	-8,62E-10	9,60E+05	7721,6
VIGUETA	141	-2,83E-11	19264	-566,07	2,69E-10	-1,45E+05	-1230,3	2,77E-10	-2,88E+05	-2573,9	5,84E-10	-5,76E+05	-5147,7	8,62E-10	-8,64E+05	-7721,6
	ELEM=142	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	141	2,68E-11	-19264	566,07	2,69E-10	1,45E+05	1230,3	-2,66E-10	2,88E+05	2573,9	-5,37E-10	5,76E+05	5147,7	-6,97E-10	8,64E+05	7721,6
VIGUETA	142	-2,68E-11	17124	-566,07	2,69E-10	-1,29E+05	-1230,3	2,66E-10	-2,56E+05	-2573,9	5,37E-10	-5,12E+05	-5147,7	6,97E-10	-7,68E+05	-7721,6
	ELEM=143	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	142	2,67E-11	-17124	566,07	2,69E-10	1,29E+05	1230,3	-2,41E-10	2,56E+05	2573,9	-5,40E-10	5,12E+05	5147,7	-7,88E-10	7,68E+05	7721,6
VIGUETA	143	-2,67E-11	14983	-566,07	2,69E-10	-1,13E+05	-1230,3	2,41E-10	-2,24E+05	-2573,9	5,40E-10	-4,48E+05	-5147,7	7,88E-10	-6,72E+05	-7721,6
	ELEM=144	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	143	2,76E-11	-14983	566,07	2,69E-10	1,13E+05	1230,3	-2,76E-10	2,24E+05	2573,9	-5,01E-10	4,48E+05	5147,7	-8,51E-10	6,72E+05	7721,6
VIGUETA	144	-2,76E-11	12843	-566,07	2,69E-10	-96534	-1230,3	2,76E-10	-1,92E+05	-2573,9	5,01E-10	-3,84E+05	-5147,7	8,51E-10	-5,76E+05	-7721,6
	ELEM=145	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	144	2,65E-11	-12843	566,07	2,69E-10	96534	1230,3	-2,88E-10	1,92E+05	2573,9	-5,23E-10	3,84E+05	5147,7	-7,53E-10	5,76E+05	7721,6
VIGUETA	145	-2,65E-11	10702	-566,07	2,69E-10	-80534	-1230,3	2,88E-10	-1,60E+05	-2573,9	5,23E-10	-3,20E+05	-5147,7	7,53E-10	-4,80E+05	-7721,6
	ELEM=146	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	145	2,59E-11	-10702	566,07	2,69E-10	80534	1230,3	-2,52E-10	1,60E+05	2573,9	-5,53E-10	3,20E+05	5147,7	-7,39E-10	4,80E+05	7721,6
VIGUETA	146	-2,59E-11	8561,9	-566,07	2,69E-10	-64534	-1230,3	2,52E-10	-1,28E+05	-2573,9	5,53E-10	-2,56E+05	-5147,7	7,39E-10	-3,84E+05	-7721,6
	ELEM=147	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	146	2,75E-11	-8561,9	566,07	2,69E-10	64534	1230,3	-2,87E-10	1,28E+05	2573,9	-5,67E-10	2,56E+05	5147,7	-8,37E-10	3,84E+05	7721,6
VIGUETA	147	-2,75E-11	6421,4	-566,07	2,69E-10	-48534	-1230,3	2,87E-10	-96000	-2573,9	5,67E-10	-1,92E+05	-5147,7	8,37E-10	-2,88E+05	-7721,6
	ELEM=148	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	147	2,96E-11	-6421,4	566,07	2,69E-10	48534	1230,3	-2,64E-10	96000	2573,9	-5,21E-10	1,92E+05	5147,7	-8,04E-10	2,88E+05	7721,6
VIGUETA	148	-2,96E-11	4281	-566,07	2,69E-10	-32534	-1230,3	2,64E-10	-64000	-2573,9	5,21E-10	-1,28E+05	-5147,7	8,04E-10	-1,92E+05	-7721,6
	ELEM=149	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	148	2,69E-11	-4281	566,07	2,69E-10	32534	1230,3	-2,66E-10	64000	2573,9	-5,24E-10	1,28E+05	5147,7	-7,77E-10	1,92E+05	7721,6
VIGUETA	149	-2,69E-11	2140,5	-566,07	2,69E-10	-16534	-1230,3	2,66E-10	-32000	-2573,9	5,24E-10	-64000	-5147,7	7,77E-10	-96000	-7721,6
	ELEM=150	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	149	2,90E-11	-2140,5	566,07	2,69E-10	16534	1230,3	-2,71E-10	32000	2573,9	-5,36E-10	64000	5147,7	-8,70E-10	96000	7721,6
VIGUETA	150	-2,90E-11	1,23E-08	-566,07	2,69E-10	-533,66	-1230,3	2,71E-10	-1,88E-07	-2573,9	5,36E-10	-3,77E-07	-5147,7	8,70E-10	-5,57E-07	-7721,6
	ELEM=151	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	150	-0,92650E-08	566,07		2,69E-10	533,66	1230,3	-2,67E-10	1,17E-07	2573,9	-5,30E-10	2,35E-07	5147,7	-7,40E-10	3,76E-07	7721,6
VIGUETA	151	-2,85E-11	-2140,5	-566,07	2,69E-10	15466	-1230,3	2,67E-10	32000	-2573,9	5,30E-10	64000	-5147,7	7,40E-10	96000	-7721,6

	ELEM=152	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	151	2,87E-11	2140,5	566,07	2,69E-10	-15466	1230,3	-2,59E-10	-32000	2573,9	-5,13E-10	-64000	5147,7	-8,25E-10	-96000	7721,6
VIGUETA	152	-2,87E-11	-4281	-566,07	2,69E-10	31466	-1230,3	2,59E-10	64000	-2573,9	5,13E-10	1,28E+05	-5147,7	8,25E-10	1,92E+05	-7721,6
	ELEM=153	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	152	2,96E-11	4281	566,07	2,69E-10	-31466	1230,3	-2,85E-10	-64000	2573,9	-5,79E-10	-1,28E+05	5147,7	-7,80E-10	-1,92E+05	7721,6
VIGUETA	153	-2,96E-11	-6421,4	-566,07	2,69E-10	47466	-1230,3	2,85E-10	96000	-2573,9	5,79E-10	1,92E+05	-5147,7	7,80E-10	2,88E+05	-7721,6
	ELEM=154	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	153	2,93E-11	6421,4	566,07	2,69E-10	-47466	1230,3	-2,68E-10	-96000	2573,9	-5,59E-10	-1,92E+05	5147,7	-8,58E-10	-2,88E+05	7721,6
VIGUETA	154	-2,93E-11	-8561,9	-566,07	2,69E-10	63466	-1230,3	2,68E-10	1,28E+05	-2573,9	5,59E-10	2,56E+05	-5147,7	8,58E-10	3,84E+05	-7721,6
	ELEM=155	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	154	2,77E-11	8561,9	566,07	2,69E-10	-63466	1230,3	-2,79E-10	-1,28E+05	2573,9	-5,40E-10	-2,56E+05	5147,7	-8,02E-10	-3,84E+05	7721,6
VIGUETA	155	-2,77E-11	-10702	-566,07	2,69E-10	79466	-1230,3	2,79E-10	1,60E+05	-2573,9	5,40E-10	3,20E+05	-5147,7	8,02E-10	4,80E+05	-7721,6
	ELEM=156	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	155	2,70E-11	10702	566,07	2,69E-10	-79466	1230,3	-2,71E-10	-1,60E+05	2573,9	-5,78E-10	-3,20E+05	5147,7	-8,51E-10	-4,80E+05	7721,6
VIGUETA	156	-2,70E-11	-12843	-566,07	2,69E-10	95466	-1230,3	2,71E-10	1,92E+05	-2573,9	5,78E-10	3,84E+05	-5147,7	8,51E-10	5,76E+05	-7721,6
	ELEM=157	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	156	2,90E-11	12843	566,07	2,69E-10	-95466	1230,3	-2,72E-10	-1,92E+05	2573,9	-5,53E-10	-3,84E+05	5147,7	-8,31E-10	-5,76E+05	7721,6
VIGUETA	157	-2,90E-11	-14983	-566,07	2,69E-10	1,11E+05	-1230,3	2,72E-10	2,24E+05	-2573,9	5,53E-10	4,48E+05	-5147,7	8,31E-10	6,72E+05	-7721,6
	ELEM=158	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	157	2,96E-11	14983	566,07	2,69E-10	-1,11E+05	1230,3	-2,86E-10	-2,24E+05	2573,9	-5,44E-10	-4,48E+05	5147,7	-7,20E-10	-6,72E+05	7721,6
VIGUETA	158	-2,96E-11	-17124	-566,07	2,69E-10	1,27E+05	-1230,3	2,86E-10	2,56E+05	-2573,9	5,44E-10	5,12E+05	-5147,7	7,20E-10	7,68E+05	-7721,6
	ELEM=159	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	158	2,85E-11	17124	566,07	2,69E-10	-1,27E+05	1230,3	-2,73E-10	-2,56E+05	2573,9	-5,97E-10	-5,12E+05	5147,7	-8,95E-10	-7,68E+05	7721,6
VIGUETA	159	-2,85E-11	-19264	-566,07	2,69E-10	1,43E+05	-1230,3	2,73E-10	2,88E+05	-2573,9	5,97E-10	5,76E+05	-5147,7	8,95E-10	8,64E+05	-7721,6
	ELEM=160	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
VIGUETA	159	3,35E-11	19264	566,07	2,69E-10	-1,43E+05	1230,3	-2,11E-10	-2,88E+05	2573,9	-4,38E-10	-5,76E+05	5147,7	-6,33E-10	-8,64E+05	7721,6
VIGUETA	68	-3,35E-11	-21405	-566,07	-2,69E-10	1,59E+05	-1230,3	2,11E-10	3,20E+05	-2573,9	4,38E-10	6,40E+05	-5147,7	6,33E-10	9,60E+05	-7721,6

	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
MAX	3,35E-11	19264	566,07	2,6946E-10	160530	1230,3	2,8831E-10	320000	2573,9	5,9663E-10	640000	5147,7	8,9494E-10	960000	7721,6
MIN	-3,35E-11	-2,14E+04	-5,66E+02	-2,69E-10	-1,45E+05	-1,23E+03	-2,88E-10	-2,88E+05	-2,57E+03	-5,97E-10	-5,76E+05	-5,15E+03	-8,95E-10	-8,64E+05	-7,72E+03

Tabla 4.19. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (X), Vigueta Tipo.

	FX	FX1	FX2	FX4	FX6
MAX	3,35E-11	2,69E-10	2,8831E-10	5,9663E-10	8,9494E-10
MIN	-3,35E-11	-2,6946E-10	-2,8831E-10	-5,9663E-10	-8,9494E-10

Gráfica 4.13. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (X), Vigueta Tipo.

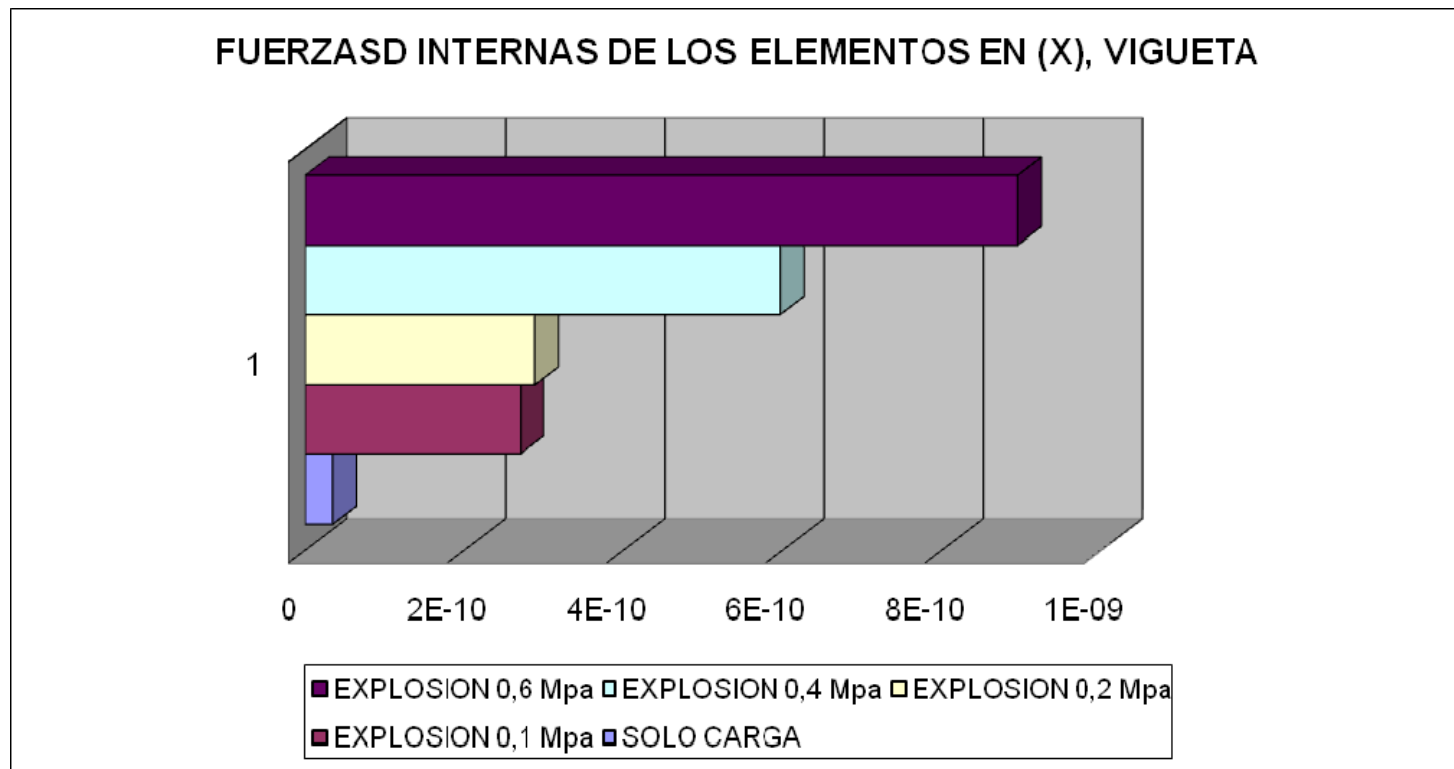


Tabla 4.20. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (Y), Vigueta Tipo.

	FY	FY1	FY2	FY4	FY6
MAX	19264	1,61E+05	320000	640000	960000
MIN	-21405	1,45E+05	-288000	-576000	-864000

Gráfica 4.14. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (Y), Vigueta Tipo.

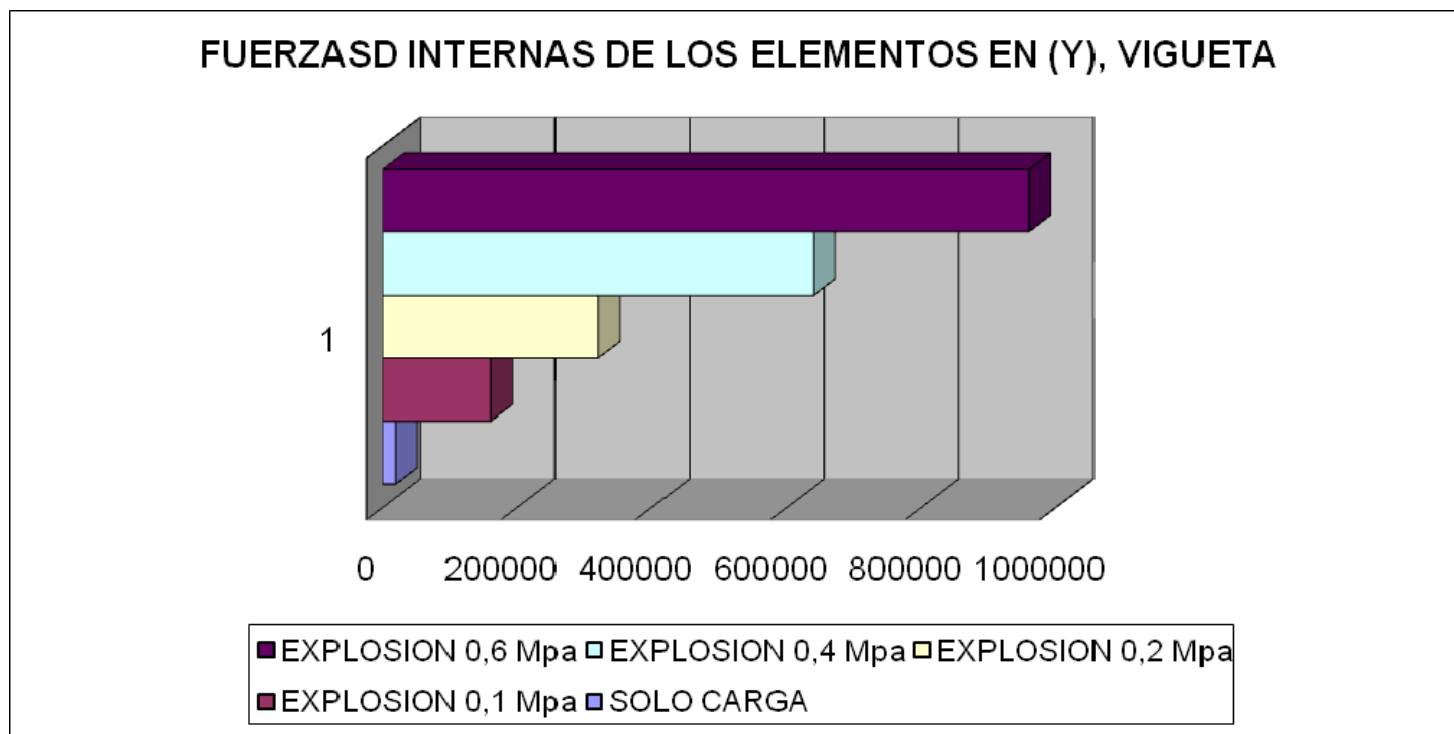
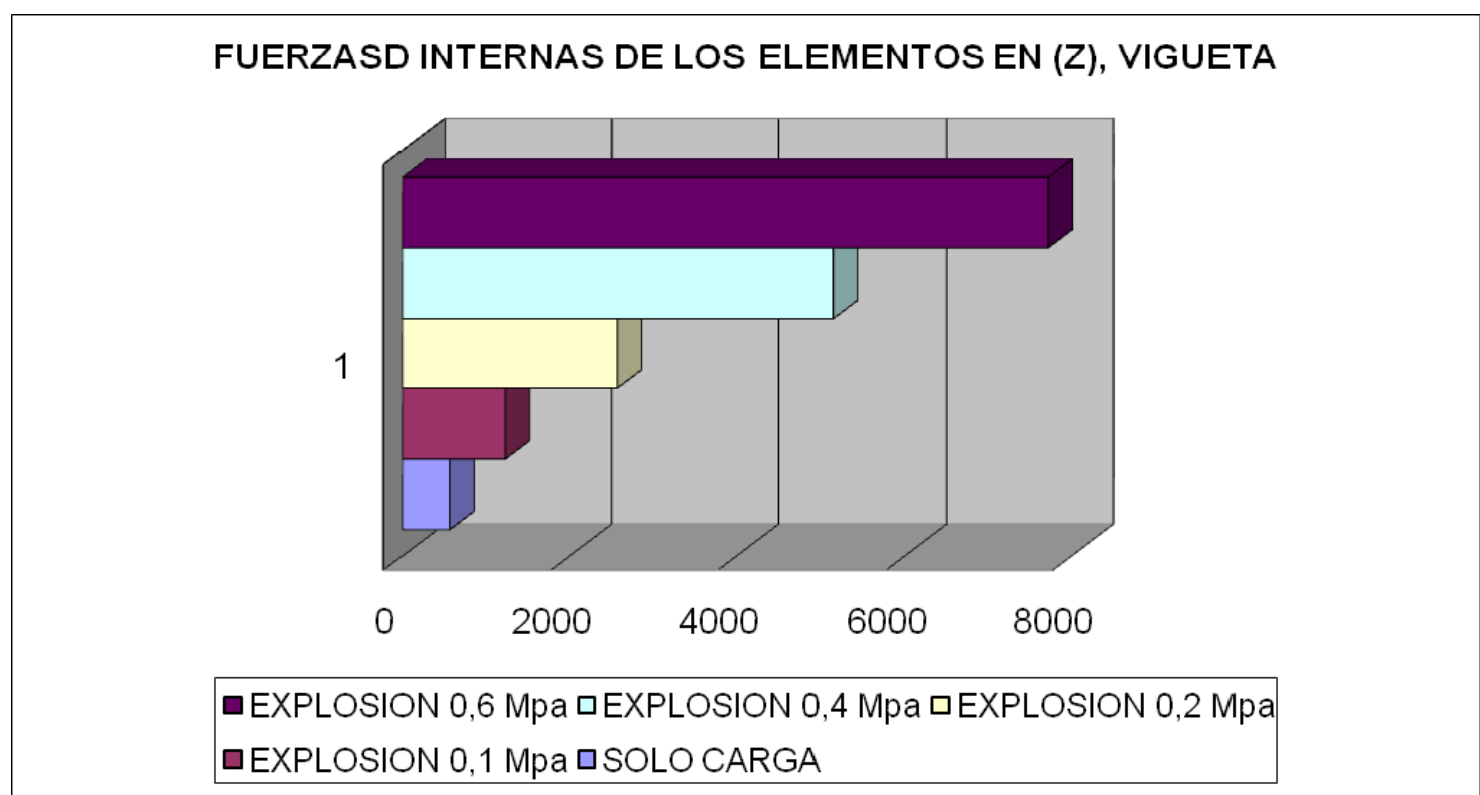


Tabla 21. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (Z), Vigueta Tipo.

	FZ	FZ1	FZ2	FZ4	FZ6
MAX	566,07	1,23E+03	2573,9	5147,7	7721,6
MIN	-566,07	1,23E+03	-2573,9	-5147,7	-7721,6

Gráfica 4.15. Fuerzas Internas En Los Elementos Direccion (Z), Vigueta Tipo.



## MOMENTOS INTERNOS EN LOS ELEMENTOS

Tabla 4.22. Momentos Internos En Los Elementos. Columna Tipo.

		M. ELEMENTOS SIN EXPLOSION			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,1Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,2Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,4Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,6Mpa		
		MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
	<b>ELEM=1</b>															
COLUMNA	1	10770	-39,094	12375	-48700	2596,4	-80580	-1,00E+05	5247,6	-1,64E+05	-2,00E+05	10408	-3,29E+05	-2,74E+05	17213	-4,97E+05
COLUMNA	3	-8609,2	39,094	-9891,5	42950	-2596,4	68540	88069	-5247,6	1,39E+05	1,76E+05	-10408	2,79E+05	2,41E+05	-17213	4,22E+05
	<b>ELEM=2</b>															
COLUMNA	3	8609,2	-39,094	9891,5	-42950	2596,4	-68540	-88069	5247,6	-1,39E+05	-1,76E+05	10408	-2,79E+05	-2,41E+05	17213	-4,22E+05
COLUMNA	4	-6448,2	39,094	-7408,3	35940	-2596,4	55137	73504	-5247,6	1,12E+05	1,47E+05	-10408	2,24E+05	2,00E+05	-17213	3,39E+05
	<b>ELEM=3</b>															
COLUMNA	4	6448,2	-39,094	7408,3	-35940	2596,4	-55137	-73504	5247,6	-1,12E+05	-1,47E+05	10408	-2,24E+05	-2,00E+05	17213	-3,39E+05
COLUMNA	5	-4287,2	39,094	-4925	27670	-2596,4	40422	56418	-5247,6	81959	1,13E+05	-10408	1,64E+05	1,52E+05	-17213	2,48E+05
	<b>ELEM=4</b>															
COLUMNA	5	4287,2	-39,094	4925	-27670	2596,4	-40422	-56418	5247,6	-81959	-1,13E+05	10408	-1,64E+05	-1,52E+05	17213	-2,48E+05
COLUMNA	6	-2126,3	39,094	-2441,8	18140	-2596,4	24448	36813	-5247,6	49434	73633	-10408	98876	96231	-17213	1,50E+05
	<b>ELEM=5</b>															
COLUMNA	6	2126,3	-39,094	2441,8	-18140	2596,4	-24448	-36813	5247,6	-49434	-73633	10408	-98876	-96231	17213	-1,50E+05
COLUMNA	7	34,735	39,094	41,387	7350,7	-2596,4	7214,7	14689	-5247,6	14390	29383	-10408	28786	32879	-17213	44817
	<b>ELEM=6</b>															
COLUMNA	7	-34,735	-39,094	-41,387	-7350,7	2596,4	-7214,7	-14689	5247,6	-14390	-29383	10408	-28786	-32879	17213	-44817
COLUMNA	8	2195,7	39,094	2524,6	-4698,6	-2596,4	-11279	-9955,2	-5247,6	-23174	-19906	-10408	-46343	-38032	-17213	-68290
	<b>ELEM=7</b>															
COLUMNA	8	-2195,7	-39,094	-2524,6	4698,6	2596,4	11279	9955,2	5247,6	23174	19906	10408	46343	38032	17213	68290
COLUMNA	9	4356,7	39,094	5007,8	-18008	-2596,4	-31032	-37119	-5247,6	-63258	-74235	-10408	-1,27E+05	-1,17E+05	-17213	-1,89E+05
	<b>ELEM=8</b>															
COLUMNA	9	-4356,7	-39,094	-5007,8	18008	2596,4	31032	37119	5247,6	63258	74235	10408	1,27E+05	1,17E+05	17213	1,89E+05
COLUMNA	10	6517,7	39,094	7491	-32577	-2596,4	-52046	-66802	-5247,6	-1,06E+05	-1,34E+05	-10408	-2,12E+05	-2,03E+05	-17213	-3,17E+05
	<b>ELEM=9</b>															
COLUMNA	10	-6517,7	-39,094	-7491	32577	2596,4	52046	66802	5247,6	1,06E+05	1,34E+05	10408	2,12E+05	2,03E+05	17213	3,17E+05
COLUMNA	11	8678,7	39,094	9974,2	-48405	-2596,4	-74319	-99005	-5247,6	-1,51E+05	-1,98E+05	-10408	-3,02E+05	-2,96E+05	-17213	-4,53E+05

	<b>ELEM=10</b>	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
COLUMNA	11	-8678,7	-39,094	-9974,2	48405	2596,4	74319	99005	5247,6	1,51E+05	1,98E+05	10408	3,02E+05	2,96E+05	17213	4,53E+05
COLUMNA	12	10840	39,094	12457	-65494	-2596,4	-97851	-1,34E+05	-5247,6	-1,99E+05	-2,67E+05	-10408	-3,97E+05	-3,97E+05	-17213	-5,96E+05
	<b>ELEM=11</b>	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
COLUMNA	12	-10840	-39,094	-12457	65494	2596,4	97851	1,34E+05	5247,6	1,99E+05	2,67E+05	10408	3,97E+05	3,97E+05	17213	5,96E+05
COLUMNA	13	13001	39,094	14941	-83842	-2596,4	-1,23E+05	-1,71E+05	-5247,6	-2,49E+05	-3,42E+05	-10408	-4,98E+05	-5,06E+05	-17213	-7,47E+05
	<b>ELEM=12</b>	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
COLUMNA	13	-13001	-39,094	-14941	83842	2596,4	1,23E+05	1,71E+05	5247,6	2,49E+05	3,42E+05	10408	4,98E+05	5,06E+05	17213	7,47E+05
COLUMNA	14	15162	39,094	17424	-1,03E+05	-2596,4	-1,49E+05	-2,11E+05	-5247,6	-3,01E+05	-4,21E+05	-10408	-6,03E+05	-6,22E+05	-17213	-9,06E+05
	<b>ELEM=13</b>	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
COLUMNA	14	-15162	-39,094	-17424	1,03E+05	2596,4	1,49E+05	2,11E+05	5247,6	3,01E+05	4,21E+05	10408	6,03E+05	6,22E+05	17213	9,06E+05
COLUMNA	15	17323	39,094	19907	-1,24E+05	-2596,4	-1,76E+05	-2,53E+05	-5247,6	-3,57E+05	-5,06E+05	-10408	-7,13E+05	-7,46E+05	-17213	-1,07E+06
	<b>ELEM=14</b>	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
COLUMNA	15	-17323	-39,094	-19907	1,24E+05	2596,4	1,76E+05	2,53E+05	5247,6	3,57E+05	5,06E+05	10408	7,13E+05	7,46E+05	17213	1,07E+06
COLUMNA	16	19484	39,094	22390	-1,46E+05	-2596,4	-2,05E+05	-2,98E+05	-5247,6	-4,14E+05	-5,96E+05	-10408	-8,29E+05	-8,77E+05	-17213	-1,25E+06
	<b>ELEM=15</b>	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
COLUMNA	16	-19484	-39,094	-22390	1,46E+05	2596,4	2,05E+05	2,98E+05	5247,6	4,14E+05	5,96E+05	10408	8,29E+05	8,77E+05	17213	1,25E+06
COLUMNA	2	21645	39,094	24874	-1,70E+05	-2596,4	-2,34E+05	-3,45E+05	-5247,6	-4,75E+05	-6,90E+05	-10408	-9,49E+05	-1,02E+06	-17213	-1,43E+06

	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
<b>MAX</b>	21645	39,094	24874	146450	2596,4	204580	297810	5247,6	414390	595630	10408	828790	8,77E+05	17213	1245300
<b>MIN</b>	-19484	-39,094	-22390	-169830	-2596,4	-234410	-345140	-5247,6	-474630	-690280	-10408	-949270	-1016400	-17213	-1426400

Tabla 4.23. Momentos Internos En (X) De Los Elementos. Columna Tipo.

	MX	MX1	MX2	MX4	MX6
MAX	21645	1,46E+05	297810	595630	877440
MIN	-19484	-1,70E+05	-345140	-690280	-1016400

Gráfica 4.16. Momentos Internos En (X) De Los Elementos. Columna Tipo.

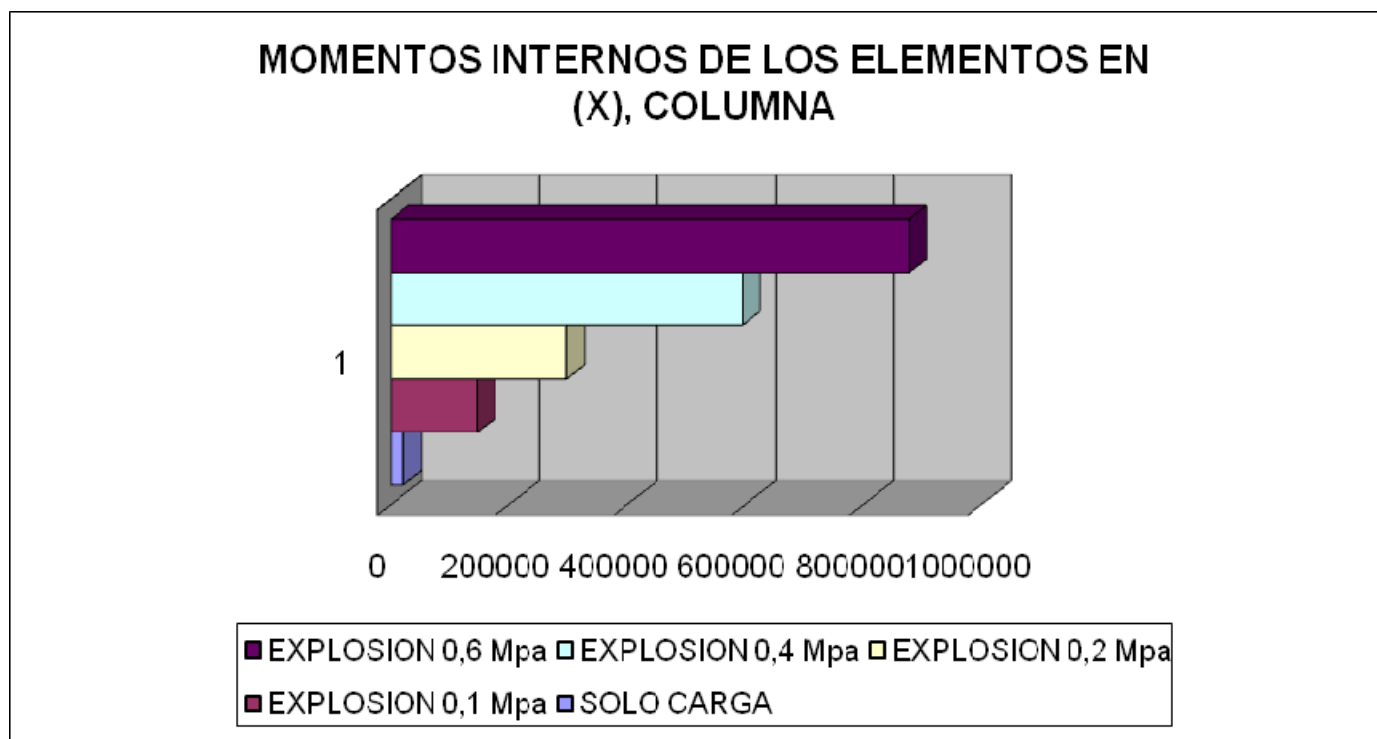


Tabla 4.24. Momentos Internos En (Y) De Los Elementos. Columna Tipo

	MY	MY1	MY2	MY4	MY6
MAX	39,094	2,60E+03	5247,6	10408	17213
MIN	-39,094	2,60E+03	-5247,6	-10408	-17213

Gráfica 4.17. Momentos Internos En (Y) De Los Elementos. Columna Tipo

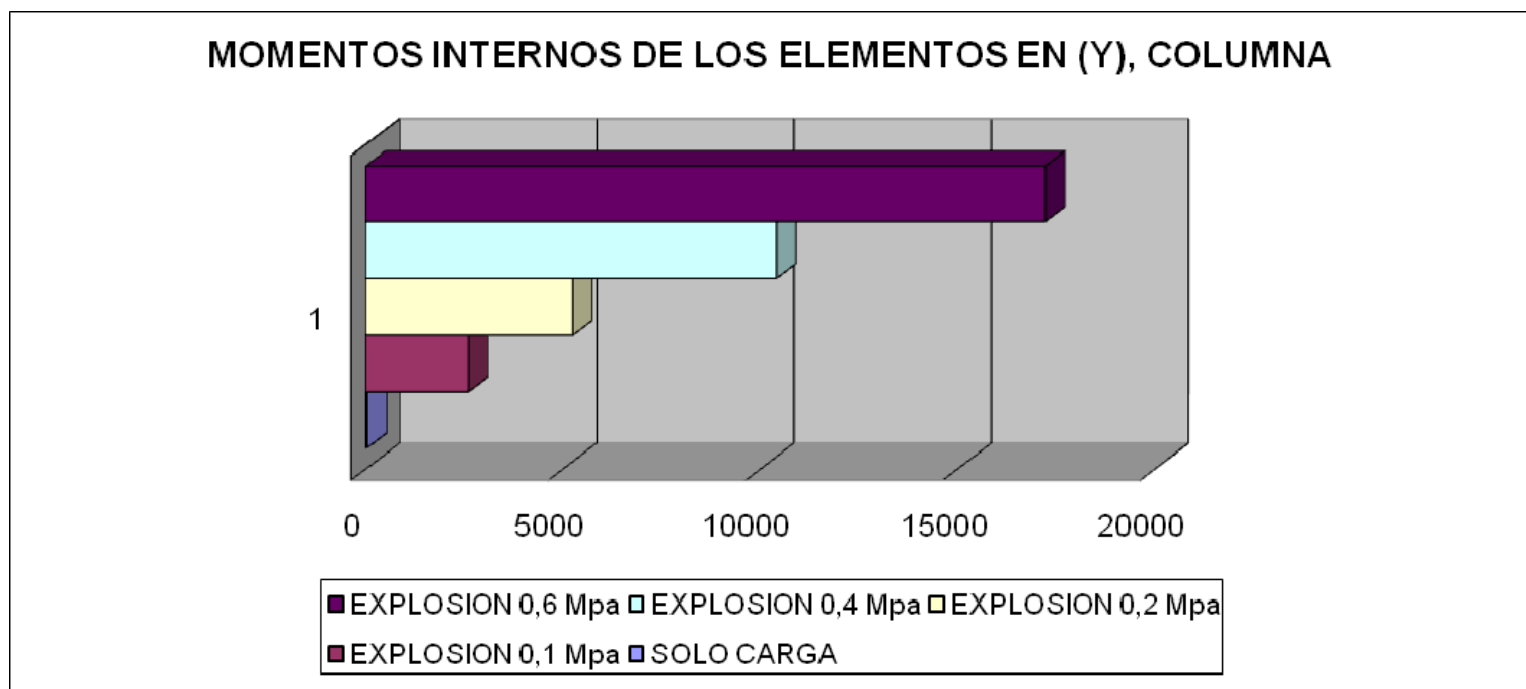


Tabla 4.25. Momentos Internos En (Z) De Los Elementos. Columna Tipo

	MZ	MZ1	MZ2	MZ4	MZ6
MAX	24874	2,05E+05	414390	828790	1245300
MIN	-22390	-	-	-949270	-1426400

Gráfica 4.18. Momentos Internos En (Z) De Los Elementos. Columna Tipo

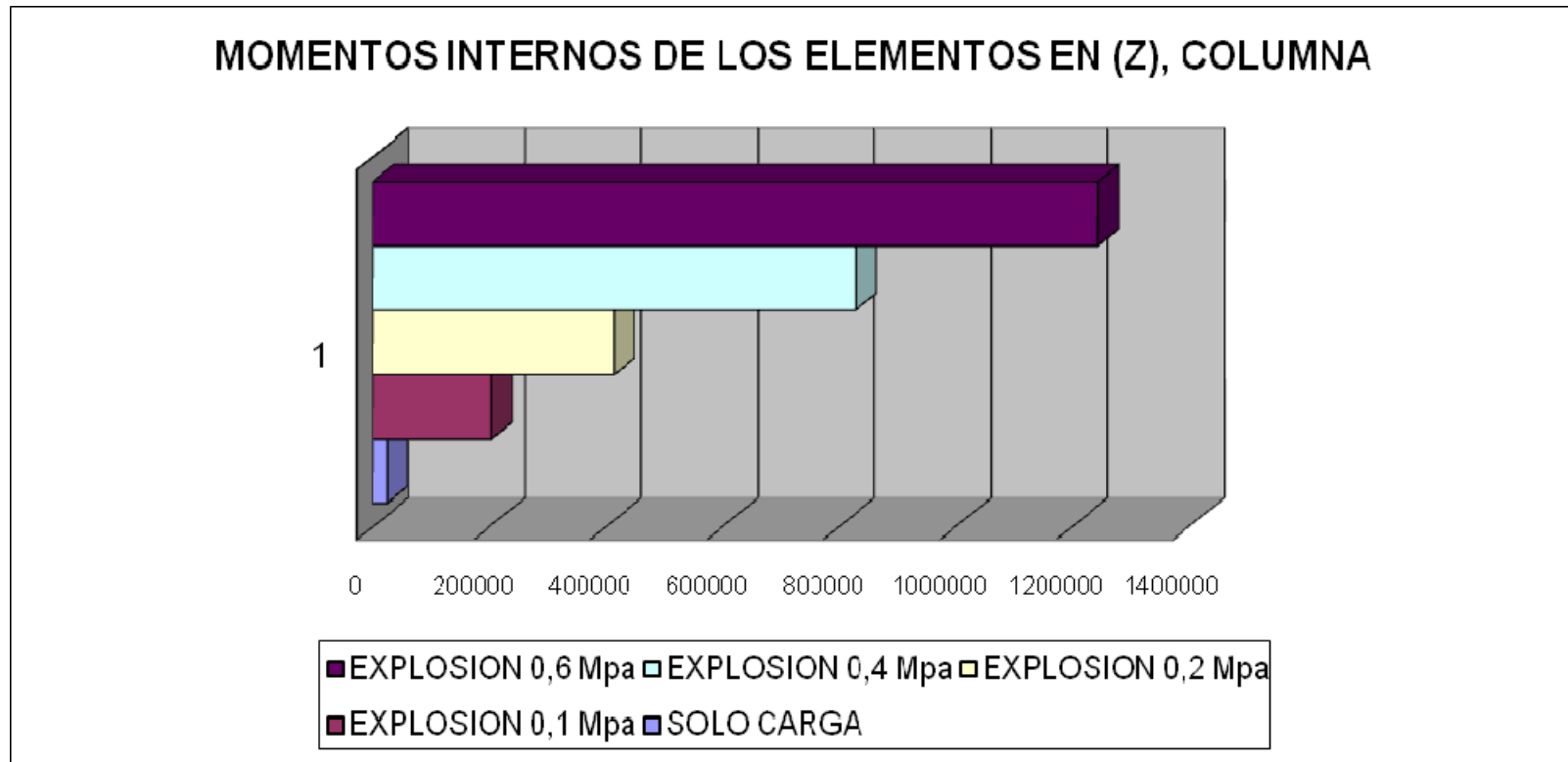


Tabla 4.26. Momentos Internos En Los Elementos. Viga Tipo.

		M. ELEMENTOS SIN EXPLOSION			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,1Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,2Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,4Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,6Mpa		
	ELEM=	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	2	-22666	-112,98	-24874	1,80E+05	-25450	2,34E+05	3,59E+05	-51413	4,75E+05	7,18E+05	-1,02E+05	9,49E+05	1,07E+06	-1,47E+05	1,43E+06
VIGA	18	22666	36,102	16312	-1,80E+05	18547	-1,54E+05	-3,59E+05	37470	-3,12E+05	-7,18E+05	74172	-6,24E+05	-1,07E+06	1,06E+05	-9,38E+05
	ELEM=17	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	18	-22666	-36,102	-16312	1,80E+05	-18547	1,54E+05	3,59E+05	-37470	3,12E+05	7,18E+05	-74172	6,24E+05	1,07E+06	-1,06E+05	9,38E+05
VIGA	19	22666	-40,778	7749,7	-1,80E+05	12632	-75488	-3,59E+05	25523	-1,52E+05	-7,18E+05	50554	-3,05E+05	-1,07E+06	71397	-4,59E+05
	ELEM=18	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	19	-22666	40,778	-7749,7	1,80E+05	-12632	75488	3,59E+05	-25523	1,52E+05	7,18E+05	-50554	3,05E+05	1,07E+06	-71397	4,59E+05
VIGA	20	22666	-117,66	-812,22	-1,80E+05	7706,7	1930,1	-3,59E+05	15574	4173,4	-7,18E+05	30890	8341,4	-1,07E+06	42386	10866
	ELEM=19	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	20	-22666	117,66	812,22	1,80E+05	-7706,7	-1930,1	3,59E+05	-15574	-4173,4	7,18E+05	-30890	-8341,4	1,07E+06	-42386	-10866
VIGA	17	22666	-194,54	-9374,1	-1,80E+05	3769,8	77986	-3,59E+05	7622,6	1,58E+05	-7,18E+05	15180	3,16E+05	-1,07E+06	19307	4,72E+05
	ELEM=20	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	17	-10969	192,94	9374,1	87035	-3781	-77986	1,74E+05	-7645,5	-1,58E+05	3,48E+05	-15225	-3,16E+05	5,19E+05	-19122	-4,72E+05
VIGA	22	10969	-156,61	-13655	-87035	1117,3	1,19E+05	-1,74E+05	2262,9	2,41E+05	-3,48E+05	4551,1	4,83E+05	-5,19E+05	3790,3	7,23E+05
	ELEM=21	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	22	-10969	156,61	13655	87035	-1117,3	-1,19E+05	1,74E+05	-2262,9	-2,41E+05	3,48E+05	-4551,1	-4,83E+05	5,19E+05	-3790,3	-7,23E+05
VIGA	23	10969	-120,27	-17936	-87035	557,67	1,59E+05	-1,74E+05	-1122,3	3,22E+05	-3,48E+05	-2167,9	6,44E+05	-5,19E+05	-5609,5	9,64E+05
	ELEM=22	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	23	-10969	120,27	17936	87035	557,67	-1,59E+05	1,74E+05	1122,3	-3,22E+05	3,48E+05	2167,9	-6,44E+05	5,19E+05	5609,5	-9,64E+05
VIGA	24	10969	-83,937	-22217	-87035	-1244	1,97E+05	-1,74E+05	-2510,1	3,99E+05	-3,48E+05	-4932,2	7,99E+05	-5,19E+05	-9077,1	1,20E+06
	ELEM=23	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	24	-10969	83,937	22217	87035	1244	-1,97E+05	1,74E+05	2510,1	-3,99E+05	3,48E+05	4932,2	-7,99E+05	5,19E+05	9077,1	-1,20E+06
VIGA	21	10969	-47,602	-26498	-87035	-941,64	2,34E+05	-1,74E+05	-1900,6	4,74E+05	-3,48E+05	-3741,7	9,48E+05	-5,19E+05	-6612,7	1,42E+06
	ELEM=24	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	21	-3,87E-09	47,34	26498	0,16446	929,27	-2,34E+05	6,94E-08	1875,4	-4,74E+05	1,39E-07	3691,9	-9,48E+05	-1413,1	6863,3	-1,42E+06
VIGA	26	3,87E-09	-47,34	-26498	-0,16446	-2412,1	2,36E+05	-6,94E-08	-4871,5	4,79E+05	-1,39E-07	-9624	9,57E+05	1413,1	-15118	1,43E+06
	ELEM=25	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	26	-3,93E-09	47,34	26498	0,16446	2412,1	-2,36E+05	6,98E-08	4871,5	-4,79E+05	1,41E-07	9624	-9,57E+05	-1413,1	15118	-1,43E+06
VIGA	27	3,93E-09	-47,34	-26498	-0,16446	-2906,3	2,37E+05	-6,98E-08	-5870,1	4,80E+05	-1,41E-07	-11601	9,60E+05	1413,1	-17441	1,44E+06
	ELEM=26	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	27	-3,96E-09	47,34	26498	0,16446	2906,3	-2,37E+05	7,08E-08	5870,1	-4,80E+05	1,42E-07	11601	-9,60E+05	-1413,1	17441	-1,44E+06
VIGA	28	3,96E-09	-47,34	-26498	-0,16446	-2411,8	2,36E+05	-7,08E-08	-4871,5	4,79E+05	-1,42E-07	-9624	9,57E+05	1413,1	-13832	1,44E+06

	ELEM=27	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	28	-4,05E-09	47,34	26498	0,16446	2411,8	-2,36E+05	7,17E-08	4871,5	-4,79E+05	1,43E-07	9624	-9,57E+05	-1413,1	13832	-1,44E+06
VIGA	25	4,05E-09	-47,34	-26498	-0,16446	-928,68	2,34E+05	-7,17E-08	-1875,4	4,74E+05	-1,43E-07	-3691,9	9,48E+05	1413,1	-4291,2	1,42E+06
	ELEM=28	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	25	10969	47,602	26498	-87034	941,25	-2,34E+05	-1,74E+05	1900,6	-4,74E+05	-3,48E+05	3741,7	-9,48E+05	-5,22E+05	4691,5	-1,42E+06
VIGA	30	-10969	-83,937	-22217	87034	-1243,3	1,97E+05	1,74E+05	-2510,1	3,99E+05	3,48E+05	-4932,2	7,99E+05	5,22E+05	-5859,6	1,20E+06
	ELEM=29	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	30	10969	83,937	22217	-87034	1243,3	-1,97E+05	-1,74E+05	2510,1	-3,99E+05	-3,48E+05	4932,2	-7,99E+05	-5,22E+05	5859,6	-1,20E+06
VIGA	31	-10969	-120,27	-17936	87034	-556,7	1,59E+05	1,74E+05	-1122,3	3,22E+05	3,48E+05	-2167,9	6,44E+05	5,22E+05	-1095,6	9,66E+05
	ELEM=30	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	31	10969	120,27	17936	-87034	556,7	-1,59E+05	-1,74E+05	1122,3	-3,22E+05	-3,48E+05	2167,9	-6,44E+05	-5,22E+05	1095,6	-9,66E+05
VIGA	32	-10969	-156,61	-13655	87034	1118,6	1,19E+05	1,74E+05	2262,9	2,41E+05	3,48E+05	4551,1	4,83E+05	5,22E+05	9600,5	7,25E+05
	ELEM=31	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	32	10969	156,61	13655	-87034	-1118,6	-1,19E+05	-1,74E+05	-2262,9	-2,41E+05	-3,48E+05	-4551,1	-4,83E+05	-5,22E+05	-9600,5	-7,25E+05
VIGA	29	-10969	-192,94	-9374,1	87034	3782,6	77983	1,74E+05	7645,5	1,58E+05	3,48E+05	15225	3,16E+05	5,22E+05	26229	4,75E+05
	ELEM=32	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	29	22666	194,54	9374,1	-1,80E+05	-3771,1	-77983	-3,59E+05	-7622,6	-1,58E+05	-7,18E+05	-15180	-3,16E+05	-1,08E+06	-25908	-4,75E+05
VIGA	34	-22666	-117,66	-812,22	1,80E+05	7708,4	1926,7	3,59E+05	15574	4173,4	7,18E+05	30890	8341,4	1,08E+06	50086	14156
	ELEM=33	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	34	22666	117,66	812,22	-1,80E+05	-7708,4	-1926,7	-3,59E+05	-15574	-4173,4	-7,18E+05	-30890	-8341,4	-1,08E+06	-50086	-14156
VIGA	35	-22666	-40,778	7749,7	1,80E+05	12634	-75492	3,59E+05	25523	-1,52E+05	7,18E+05	50554	-3,05E+05	1,08E+06	80197	-4,55E+05
	ELEM=34	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	35	22666	40,778	-7749,7	-1,80E+05	-12634	75492	-3,59E+05	-25523	1,52E+05	-7,18E+05	-50554	3,05E+05	-1,08E+06	-80197	4,55E+05
VIGA	36	-22666	36,102	16312	1,80E+05	18549	-1,54E+05	3,59E+05	37470	-3,12E+05	7,18E+05	74172	-6,24E+05	1,08E+06	1,16E+05	-9,34E+05
	ELEM=35	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGA	36	22666	-36,102	-16312	-1,80E+05	-18549	1,54E+05	-3,59E+05	-37470	3,12E+05	-7,18E+05	-74172	6,24E+05	-1,08E+06	-1,16E+05	9,34E+05
VIGA	33	-22666	112,98	24874	1,80E+05	25452	-2,34E+05	3,59E+05	51413	-4,75E+05	7,18E+05	1,02E+05	-9,49E+05	1,08E+06	1,58E+05	-1,42E+06

	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
MAX	2,27E+04	1,95E+02	2,65E+04	1,80E+05	2,55E+04	2,37E+05	3,59E+05	5,14E+04	4,80E+05	7,18E+05	1,02E+05	9,60E+05	1,08E+06	1,58E+05	1,44E+06
MIN	-2,27E+04	-1,95E+02	-2,65E+04	-1,80E+05	-2,55E+04	-2,37E+05	-3,59E+05	-5,14E+04	-4,80E+05	-7,18E+05	-1,02E+05	-9,60E+05	-1,08E+06	-1,47E+05	-1,44E+06

Tabla 4.27. Momentos Internos En (X) De Los Elementos. Viga Tipo

	MX	MX1	MX2	MX4	MX6
MAX	2,27E+04	1,80E+05	3,59E+05	7,18E+05	1077800
MIN	-2,27E+04	-1,80E+05	-359200	-718410	-1077800

Gráfica 4.19. Momentos Internos En (X) De Los Elementos. Viga Tipo

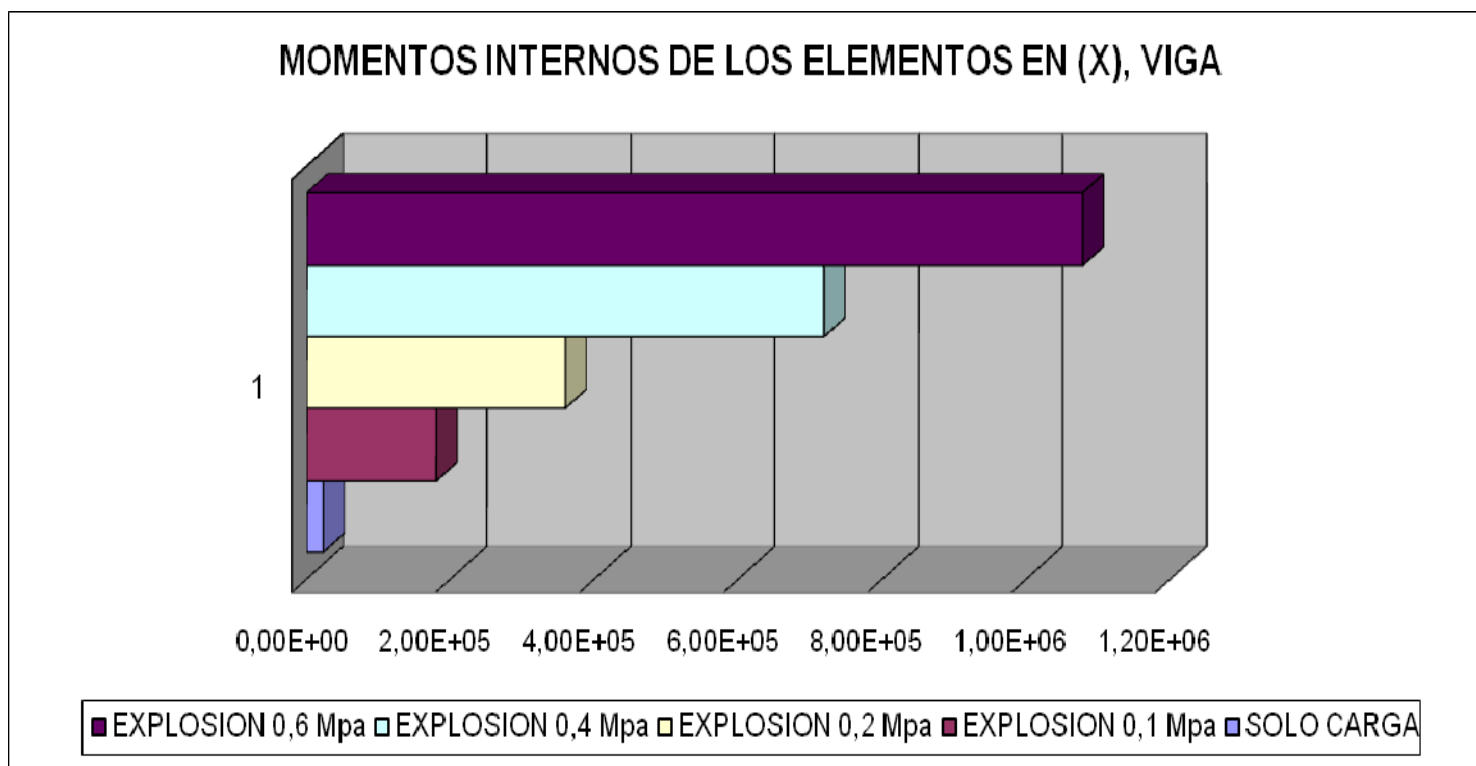


Tabla 4.28. Momentos Internos En (Y) De Los Elementos. Viga Tipo

	MY	MY1	MY2	MY4	MY6
MAX	1,95E+02	2,55E+04	5,14E+04	1,02E+05	1,58E+05
MIN	-1,95E+02	-2,55E+04	-5,14E+04	-1,02E+05	-1,47E+05

Gráfica 4.20. Momentos Internos En (Y) De Los Elementos. Viga Tipo

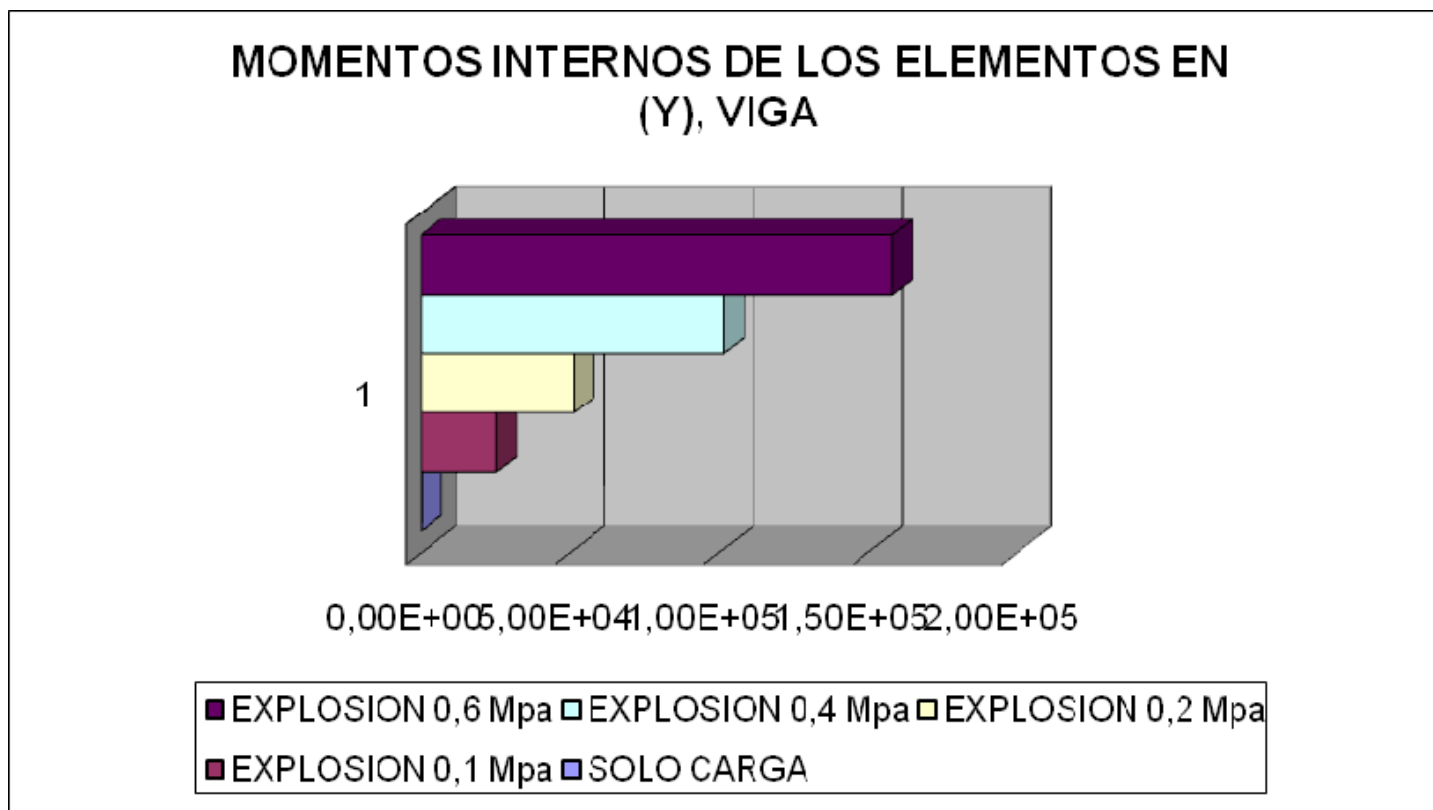


Tabla 29. Momentos Internos En (Z) De Los Elementos. Viga Tipo

	MZ	MZ1	MZ2	MZ4	MZ6
MAX	2,65E+04	2,37E+05	4,80E+05	9,60E+05	1,44E+06
MIN	-2,65E+04	-2,37E+05	-4,80E+05	-9,60E+05	-1,44E+06

Gráfica 21. Momentos Internos En (Z) De Los Elementos. Viga Tipo

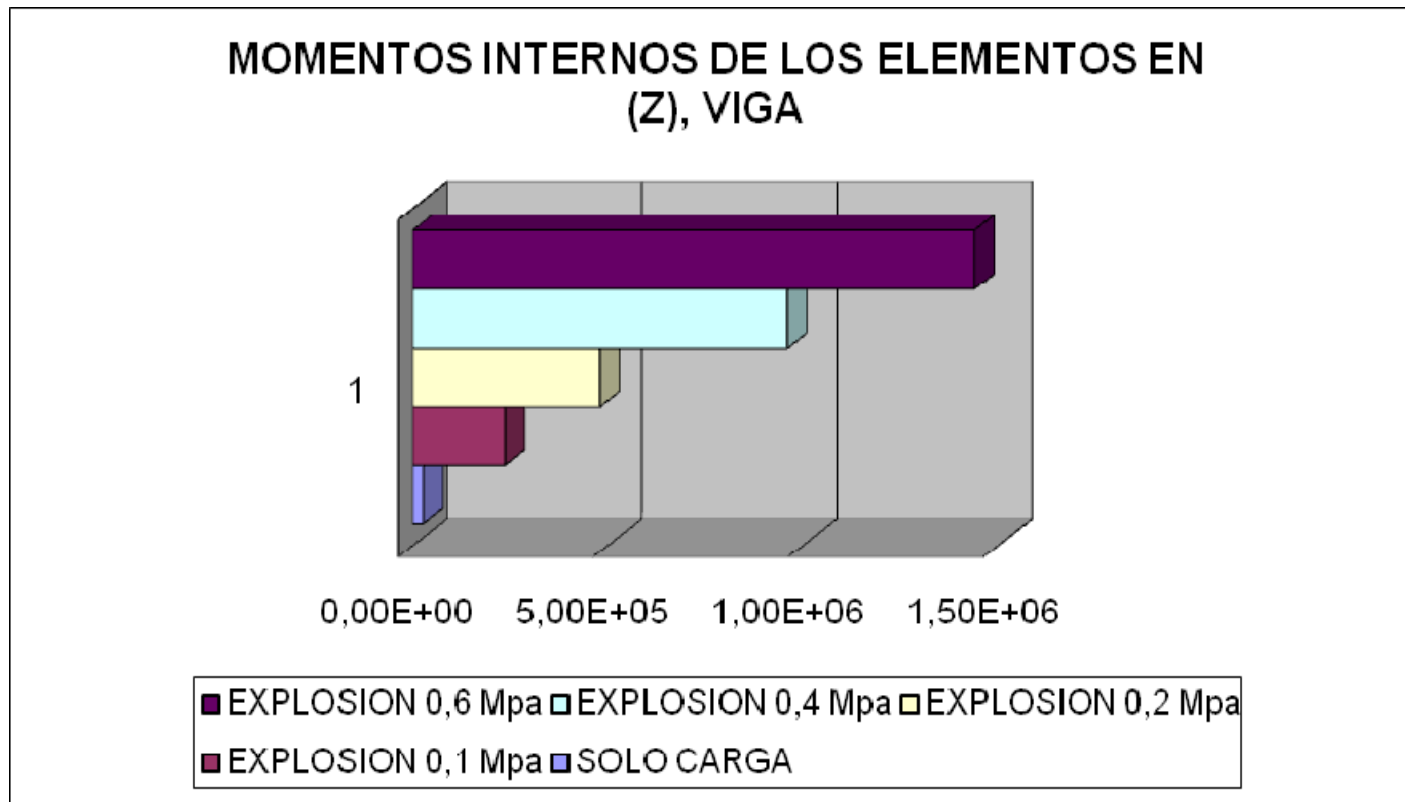


Tabla 4.30. Momentos Internos En Los Elementos. Vigueta Tipo.

		M. ELEMENTOS SIN EXPLOSION			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,1Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,2Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,4Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,6Mpa		
	ELEM=141	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGUETA	17	-11696	1,5976	1,10E-08	92801	11,256	2,79E-08	1,85E+05	22,864	-1,78E-07	3,71E+05	44,551	-3,56E-07	5,55E+05	-184,67	1,46E-06
VIGUETA	141	7629,2	-1,5976	-1,11E-08	-60881	-11,265	-2,79E-08	-1,22E+05	-22,864	1,78E-07	-2,43E+05	-44,551	3,57E-07	-3,63E+05	159,25	-1,46E-06
	ELEM=142	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGUETA	141	-7629,2	1,5976	1,11E-08	60881	11,265	2,79E-08	1,22E+05	22,864	-1,78E-07	2,43E+05	44,551	-3,56E-07	3,63E+05	-159,25	1,46E-06
VIGUETA	142	3990,4	-1,5976	-1,11E-08	-32321	-11,273	-2,79E-08	-64401	-22,864	1,78E-07	-1,29E+05	-44,551	3,57E-07	-1,92E+05	133,84	-1,46E-06
	ELEM=143	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGUETA	142	-3990,4	1,5976	9,75E-09	32321	11,273	2,79E-08	64401	22,864	-1,56E-07	1,29E+05	44,551	-3,13E-07	1,92E+05	-133,84	1,46E-06
VIGUETA	143	779,69	-1,5976	-9,75E-09	-7120,8	-11,281	-2,79E-08	-14001	-22,864	1,56E-07	-28003	-44,551	3,13E-07	-41103	108,43	-1,46E-06
	ELEM=144	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGUETA	143	-779,69	1,5976	9,75E-09	7120,8	11,281	2,79E-08	14001	22,864	-1,56E-07	28003	44,551	-3,12E-07	41103	-108,43	1,46E-06
VIGUETA	144	-2002,9	-1,5976	-9,76E-09	14719	-11,29	-2,79E-08	29679	-22,864	1,56E-07	59357	-44,551	3,13E-07	89814	83,016	-1,46E-06
	ELEM=145	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGUETA	144	2002,9	1,5976	7,29E-09	-14719	11,29	2,79E-08	-29679	22,864	-1,16E-07	-59357	44,551	-2,33E-07	-89814	-83,016	1,46E-06
VIGUETA	145	-4357,5	-1,5976	-7,29E-09	33199	-11,298	-2,79E-08	66639	-22,864	1,16E-07	1,33E+05	-44,551	2,33E-07	2,01E+05	57,603	-1,46E-06
	ELEM=146	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGUETA	145	4357,5	1,5976	4,23E-09	-33199	11,298	2,79E-08	-66639	22,864	-6,72E-08	-1,33E+05	44,551	-1,34E-07	-2,01E+05	-57,603	1,46E-06
VIGUETA	146	-6283,9	-1,5976	-4,23E-09	48319	-11,306	-2,79E-08	96879	-22,864	6,72E-08	1,94E+05	-44,551	1,34E-07	2,91E+05	32,191	-1,46E-06
	ELEM=147	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGUETA	146	6283,9	1,5976	6,05E-10	-48319	11,306	2,79E-08	-96879	22,864	-9,28E-09	-1,94E+05	44,551	-1,86E-08	-2,91E+05	-32,191	1,46E-06
VIGUETA	147	-7782,2	-1,5976	-6,07E-10	60079	-11,315	-2,79E-08	1,20E+05	-22,864	9,34E-09	2,41E+05	-44,551	1,87E-08	3,62E+05	6,7785	-1,46E-06
	ELEM=148	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGUETA	147	7782,2	1,5976	-3,54E-09	-60079	11,315	2,79E-08	-1,20E+05	22,864	5,66E-08	-2,41E+05	44,551	1,13E-07	-3,62E+05	-6,7785	1,46E-06
VIGUETA	148	-8852,5	-1,5976	3,54E-09	68479	-11,323	-2,79E-08	1,37E+05	-22,864	-5,66E-08	2,74E+05	-44,551	-1,13E-07	4,12E+05	-18,634	-1,46E-06
	ELEM=149	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGUETA	148	8852,5	1,5976	-3,54E-09	-68479	11,323	2,79E-08	-1,37E+05	22,864	5,66E-08	-2,74E+05	44,551	1,13E-07	-4,12E+05	18,634	1,46E-06
VIGUETA	149	-9494,6	-1,5976	3,54E-09	73519	-11,331	-2,79E-08	1,47E+05	-22,864	-5,66E-08	2,95E+05	-44,551	-1,13E-07	4,42E+05	-44,046	-1,46E-06
	ELEM=150	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
VIGUETA	149	9494,6	1,5976	-3,54E-09	-73519	11,331	2,79E-08	-1,47E+05	22,864	5,67E-08	-2,95E+05	44,551	1,13E-07	-4,42E+05	44,046	1,46E-06
VIGUETA	150	-9708,7	-1,5976	3,54E-09	75199	-11,34	-2,79E-08	1,51E+05	-22,864	-5,67E-08	3,01E+05	-44,551	-1,13E-07	4,52E+05	-69,459	-1,46E-06

	<b>ELEM=151</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
VIGUETA	150	9708.7	1,5976	-3,54E-09	-75199	11,34	2,79E-08	-1,51E+05	22,864	5,66E-08	-3,01E+05	44,551	1,13E-07	-4,52E+05	69,459	1,46E-06
VIGUETA	151	-9494.6	-1,5976	3,54E-09	73519	-11,348	-2,79E-08	1,47E+05	-22,864	-5,66E-08	2,95E+05	-44,551	-1,13E-07	4,42E+05	-94,871	-1,46E-06
	<b>ELEM=152</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
VIGUETA	151	9494.6	1,5976	-3,54E-09	-73519	11,348	2,79E-08	-1,47E+05	22,864	5,66E-08	-2,95E+05	44,551	1,13E-07	-4,42E+05	94,871	1,46E-06
VIGUETA	152	-8852.5	-1,5976	3,54E-09	68479	-11,356	-2,79E-08	1,37E+05	-22,864	-5,66E-08	2,74E+05	-44,551	-1,13E-07	4,11E+05	-120,28	-1,46E-06
	<b>ELEM=153</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
VIGUETA	152	8852.5	1,5976	-3,54E-09	-68479	11,356	2,79E-08	-1,37E+05	22,864	5,66E-08	-2,74E+05	44,551	1,13E-07	-4,11E+05	120,28	1,46E-06
VIGUETA	153	-7782.2	-1,5976	3,54E-09	60079	-11,365	-2,79E-08	1,20E+05	-22,864	-5,66E-08	2,41E+05	-44,551	-1,13E-07	3,61E+05	-145,7	-1,46E-06
	<b>ELEM=154</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
VIGUETA	153	7782.2	1,5976	-3,54E-09	-60079	11,365	2,79E-08	-1,20E+05	22,864	5,66E-08	-2,41E+05	44,551	1,13E-07	-3,61E+05	145,7	1,46E-06
VIGUETA	154	-6283.9	-1,5976	3,54E-09	48319	-11,373	-2,79E-08	96879	-22,864	-5,66E-08	1,94E+05	-44,551	-1,13E-07	2,90E+05	-171,11	-1,46E-06
	<b>ELEM=155</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
VIGUETA	154	6283.9	1,5976	-3,54E-09	-48319	11,373	2,79E-08	-96879	22,864	5,66E-08	-1,94E+05	44,551	1,13E-07	-2,90E+05	171,11	1,46E-06
VIGUETA	155	-4357.5	-1,5976	3,54E-09	33199	-11,381	-2,79E-08	66639	-22,864	-5,66E-08	1,33E+05	-44,551	-1,13E-07	1,99E+05	-196,52	-1,46E-06
	<b>ELEM=156</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
VIGUETA	155	4357.5	1,5976	-3,54E-09	-33199	11,381	2,79E-08	-66639	22,864	5,66E-08	-1,33E+05	44,551	1,13E-07	-1,99E+05	196,52	1,46E-06
VIGUETA	156	-2002.9	-1,5976	3,54E-09	14719	-11,39	-2,79E-08	29679	-22,864	-5,66E-08	59357	-44,551	-1,13E-07	88331	-221,93	-1,46E-06
	<b>ELEM=157</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
VIGUETA	156	2002.9	1,5976	-3,54E-09	-14719	11,39	2,79E-08	-29679	22,864	5,66E-08	-59357	44,551	1,13E-07	-88331	221,93	1,46E-06
VIGUETA	157	779.69	-1,5976	3,54E-09	-7120,7	-11,398	-2,79E-08	-14001	-22,864	-5,66E-08	-28003	-44,551	-1,13E-07	-42833	-247,35	-1,46E-06
	<b>ELEM=158</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
VIGUETA	157	-779,69	1,5976	-3,54E-09	7120,7	11,398	2,79E-08	14001	22,864	5,66E-08	28003	44,551	1,13E-07	42833	247,35	1,46E-06
VIGUETA	158	3990.4	-1,5976	3,54E-09	-32321	-11,406	-2,79E-08	-64401	-22,864	-5,66E-08	-1,29E+05	-44,551	-1,13E-07	-1,94E+05	-272,76	-1,46E-06
	<b>ELEM=159</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
VIGUETA	158	-3990.4	1,5976	-3,54E-09	32321	11,406	2,79E-08	64401	22,864	5,66E-08	1,29E+05	44,551	1,13E-07	1,94E+05	272,76	1,46E-06
VIGUETA	159	7629.2	-1,5976	3,54E-09	-60881	-11,415	-2,79E-08	-1,22E+05	-22,864	-5,66E-08	-2,43E+05	-44,551	-1,13E-07	-3,66E+05	-298,17	-1,46E-06
	<b>ELEM=160</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
VIGUETA	159	-7629.2	1,5976	-3,54E-09	60881	11,415	2,79E-08	1,22E+05	22,864	5,67E-08	2,43E+05	44,551	1,13E-07	3,66E+05	298,17	1,46E-06
VIGUETA	68	11696	-1,5976	3,54E-09	-92801	-11,423	-2,79E-08	-1,85E+05	-22,864	-5,67E-08	-3,71E+05	-44,551	-1,13E-07	-5,57E+05	-323,58	-1,46E-06

	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
<b>MAX</b>	11696	1,5976	1,11E-08	92801	11,415	2,79E-08	185360	22,864	1,7841E-07	370720	44,551	3,568E-07	554810	298,17	1,458E-06
<b>MIN</b>	-11696	-1,5976	-1,11E-08	-92801	-11,423	-2,79E-08	-185360	-22,864	-1,783E-07	-370720	-44,551	-3,565E-07	-557280	-323,58	-1,458E-06

Tabla 4.31. Momentos Internos En (X) De Los Elementos. Vigueta Tipo

	MX	MX1	MX2	MX4	MX6
MAX	1,17E+04	9,28E+04	1,85E+05	370720	554810
MIN	-11696	-9,28E+04	-185360	-370720	-557280

Gráfica 4.22. Momentos Internos En (X) De Los Elementos. Vigueta Tipo

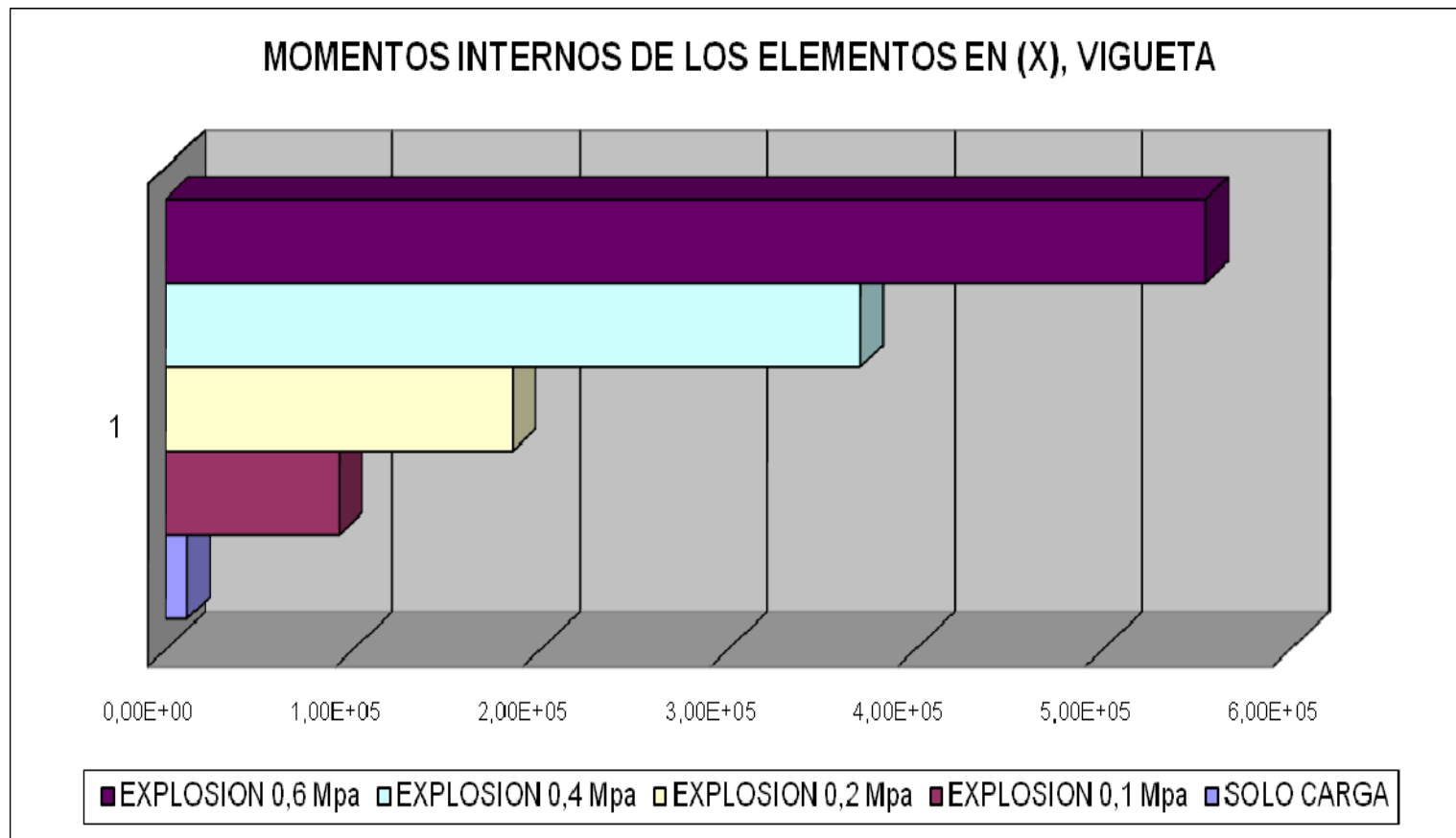


Tabla 4.32. Momentos Internos En (Y) De Los Elementos. Vigueta Tipo

	MY	MY1	MY2	MY4	MY6
MAX	1,60E+00	1,14E+01	2,29E+01	44,551	298,17
MIN	-1,60E+00	-1,14E+01	-2,29E+01	-44,551	-323,58

Gráfica 4.23. Momentos Internos En (Y) De Los Elementos. Vigueta Tipo

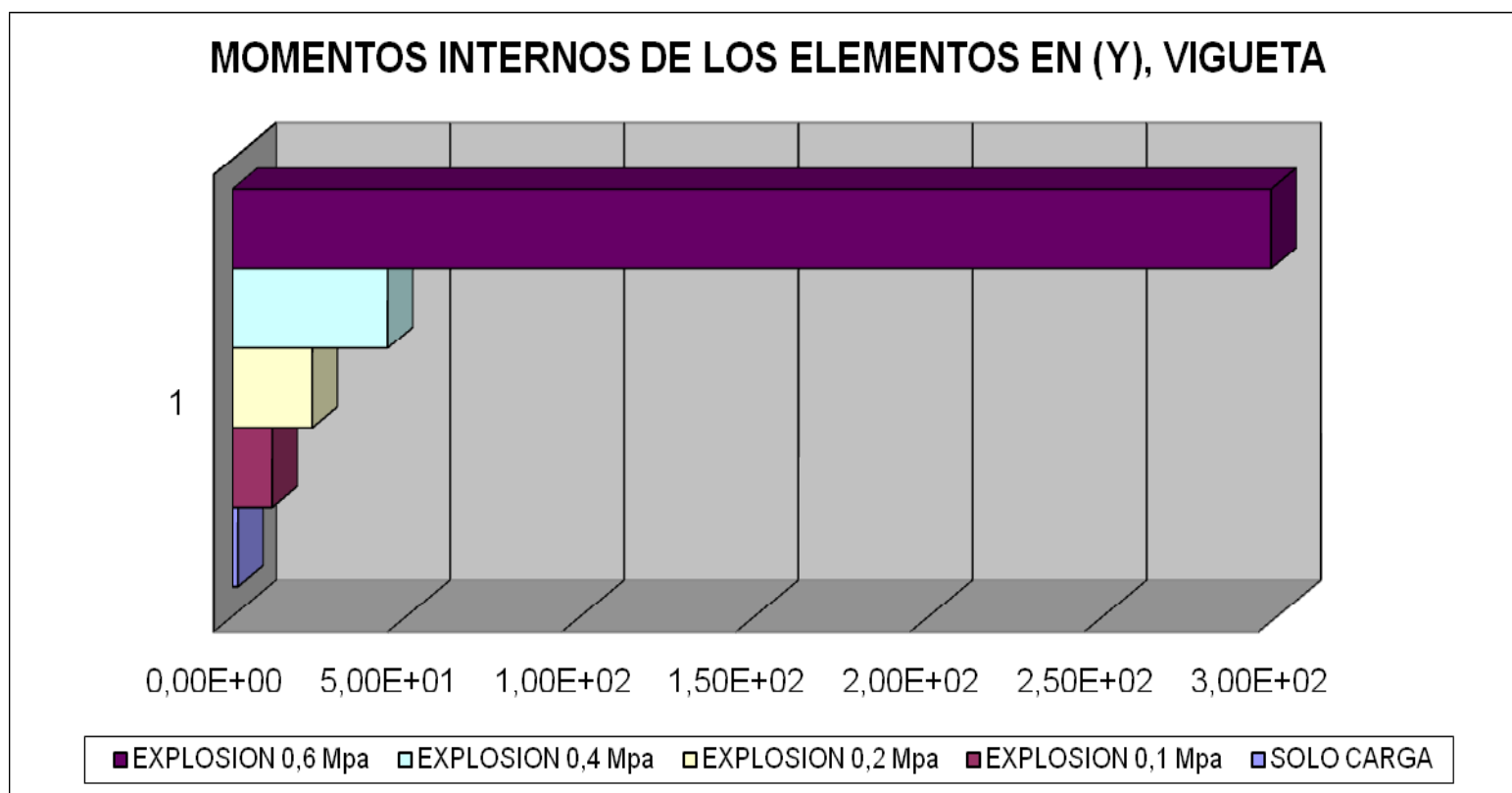
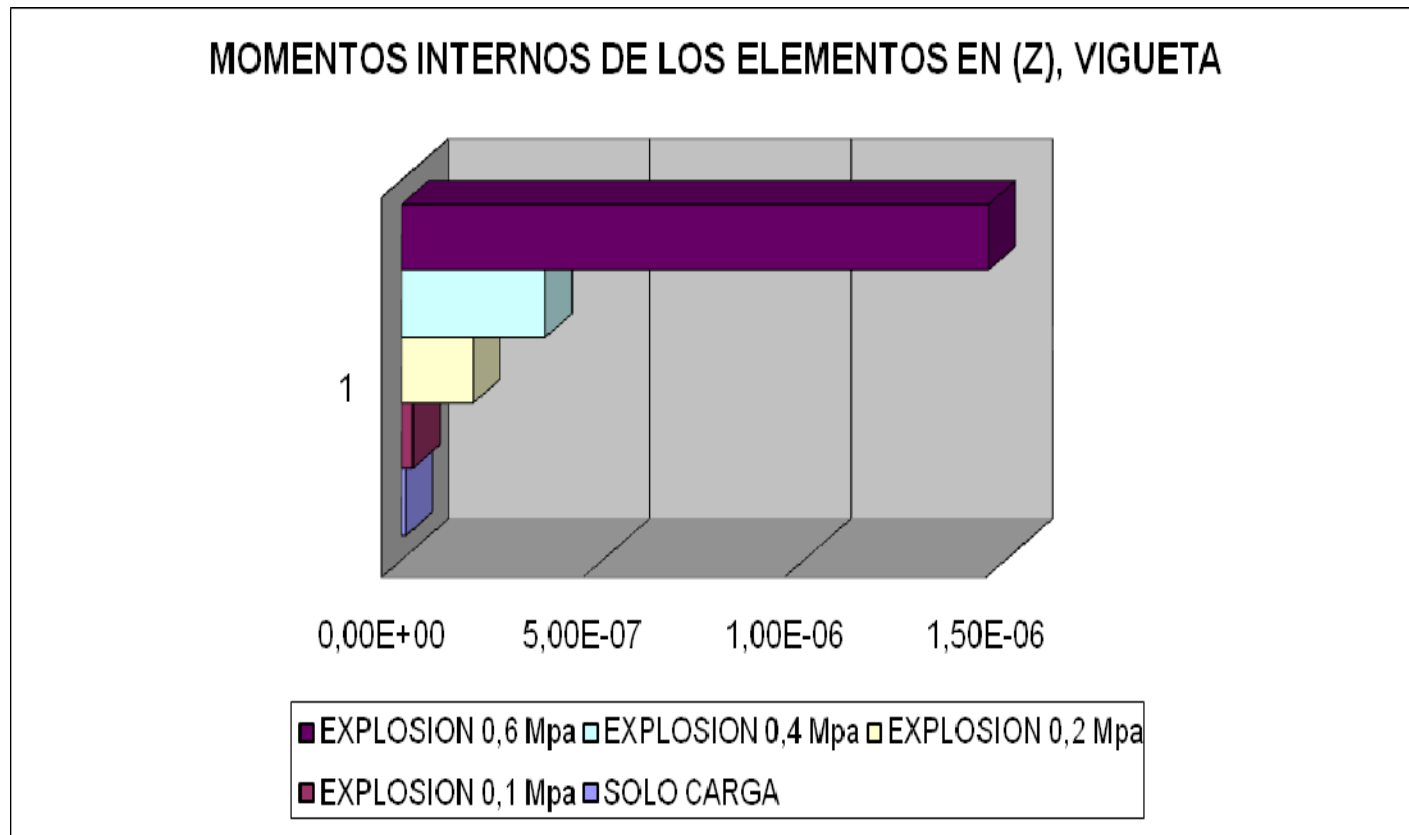


Tabla 4.33. Momentos Internos En (Z) De Los Elementos. Vigueta Tipo

	MZ	MZ1	MZ2	MZ4	MZ6
MAX	1,11E-08	2,79E-08	1,78E-07	3,5681E-07	1,4575E-06
MIN	-1,11E-08	-2,79E-08	-1,78E-07	-3,5646E-07	-1,4575E-06

Gráfica 4.24. Momentos Internos En (Z) De Los Elementos. Vigueta Tipo



## 5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

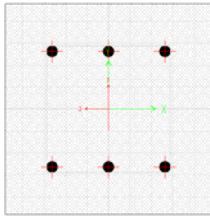
Primera fase. Se hizo los respectivos diagramas de iteración para columna y vigas por medio del programa sap2000 para así hacer una comparación entre los resultados obtenidos y así poder analizar si fallan por su resistencia.

- **Columnas : 6 barras #5**

**Tabla 5.1. Cuantía y Acero.**

<b>6 BARRAS No 5</b>		
As=	11,88	cm <sup>2</sup>
	CUANTIA	<b>0,01320</b>

**USANDO FLEJES**  
**=0.70**



**Tabla 5.2. MnX . Pn**

<u>MnX</u>	<u>Pn</u>
KN-m	KN
0,0	1170
18,0	1170
27,4	1170
35,8	1128
42,4	1050
48,7	962
53,8	868
57,6	763
60,4	649
62,6	522
64,3	378
64,8	338
65,0	292
64,6	235
61,0	154
52,6	54
40,5	-82
23,3	-273
15,5	-342
8,1	-398
0,0	-454

<b>VERIFICACION</b>	
B	0,3
H	0,3
AS	11,88
AS	0,001188
AG	0,09
FY	420000
F'C	21000
FI	0,7
Po=	1167,18235

Gráfica 5.1. Diagrama iteración. Columna MnX.

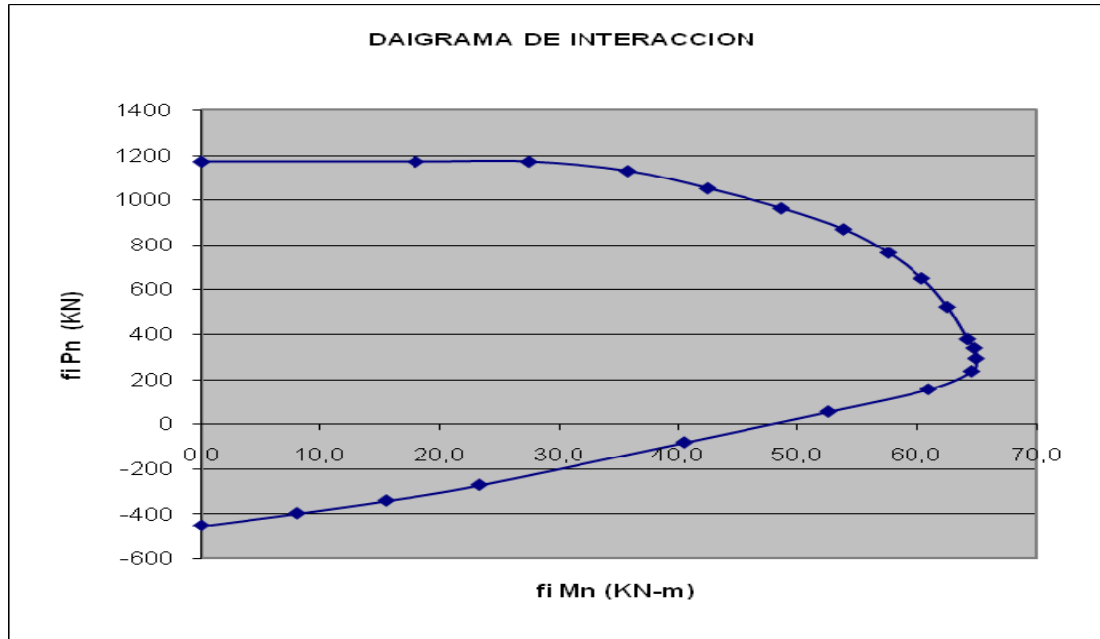
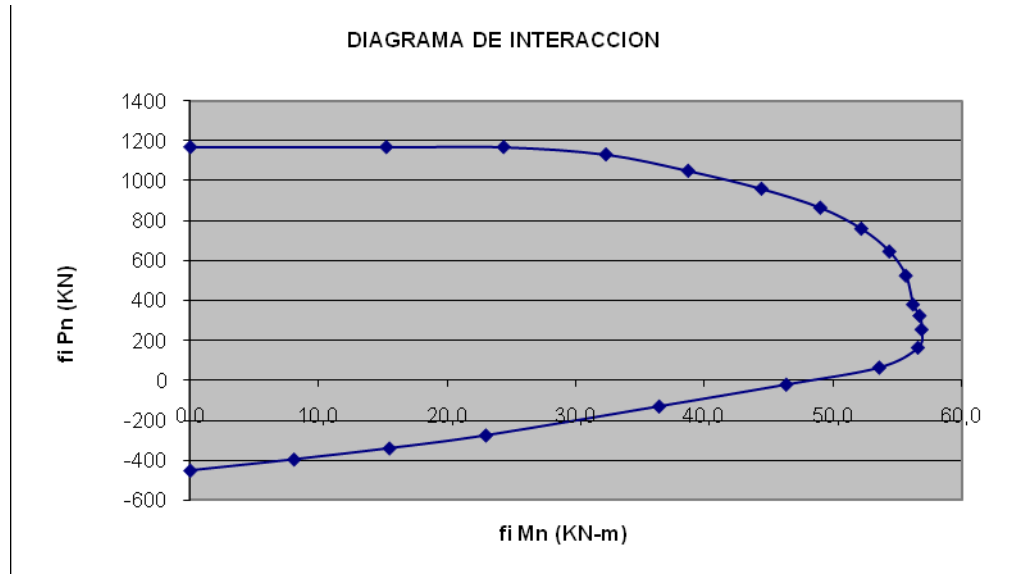


Tabla 5.3. MnY . Pn

<u>MnY</u>	<u>Pn</u>
KN-m	KN
0,0	1170
15,2	1170
24,3	1170
32,3	1133
38,7	1051
44,4	961
49,0	866
52,1	760
54,3	646
55,6	525
56,2	380
56,7	324
56,8	254
56,5	164
53,5	63
46,3	-22
36,4	-132
23,0	-277
15,5	-342
8,1	-398
0,0	-454

**Gráfica 5.2. Diagrama iteración. Columna MnY.**



Se analizar y comparara nuestros modelos con los  $M_{nmax}$  y  $P_{nmax}$  con los datos obtenidos con el programa de modelamiento Ansys.

- **Comparación de  $P_{max}$  y  $M_{max}$  en columnas.**

**Tabla 5.4. Comparación  $P_{max}$**

	FY	FY1	FY2	FY4	FY6
MAX	42810	394520	781190	1562400	2343600
MIN	-42810	-387460	-767070	-1534100	-2301200
$P_{max}$	1170000	1170000	1170000	1170000	1170000
Diferencia	1127190	775480	388810	-392400	-1173600
	cumple	cumple	cumple	no cumple	no cumple

**Tabla 5.5. Comparación  $M_{max}$  (X)**

	MX	MX1	MX2	MX4	MX6
MAX	21645	149660	284000	567270	850900
MIN	-19484	-173630	-329000	-657400	-986100
$M_{max}$	65000	65000	65000	65000	65000
diferencia	43355	-84660	-219000	-502270	-785900
OBS	cumple	no cumple	no cumple	no cumple	no cumple

Tabla 5.6 comparación Mmax (Z).

	MZ	MZ1	MZ2	MZ4	MZ6
MAX	24874	203600	395000	789320	1184000
MIN	-22390	-233410	-452000	-904070	-1356100
Mmax	56800	56800	56800	56800	56800
Diferencia	31926	-146800	-338200	-732520	-1127200
OBS	cumple	no cumple	no cumple	no cumple	no cumple

- Comparación de Mmax en vigas.

Figura 5.1. Diagrama de iteración viga

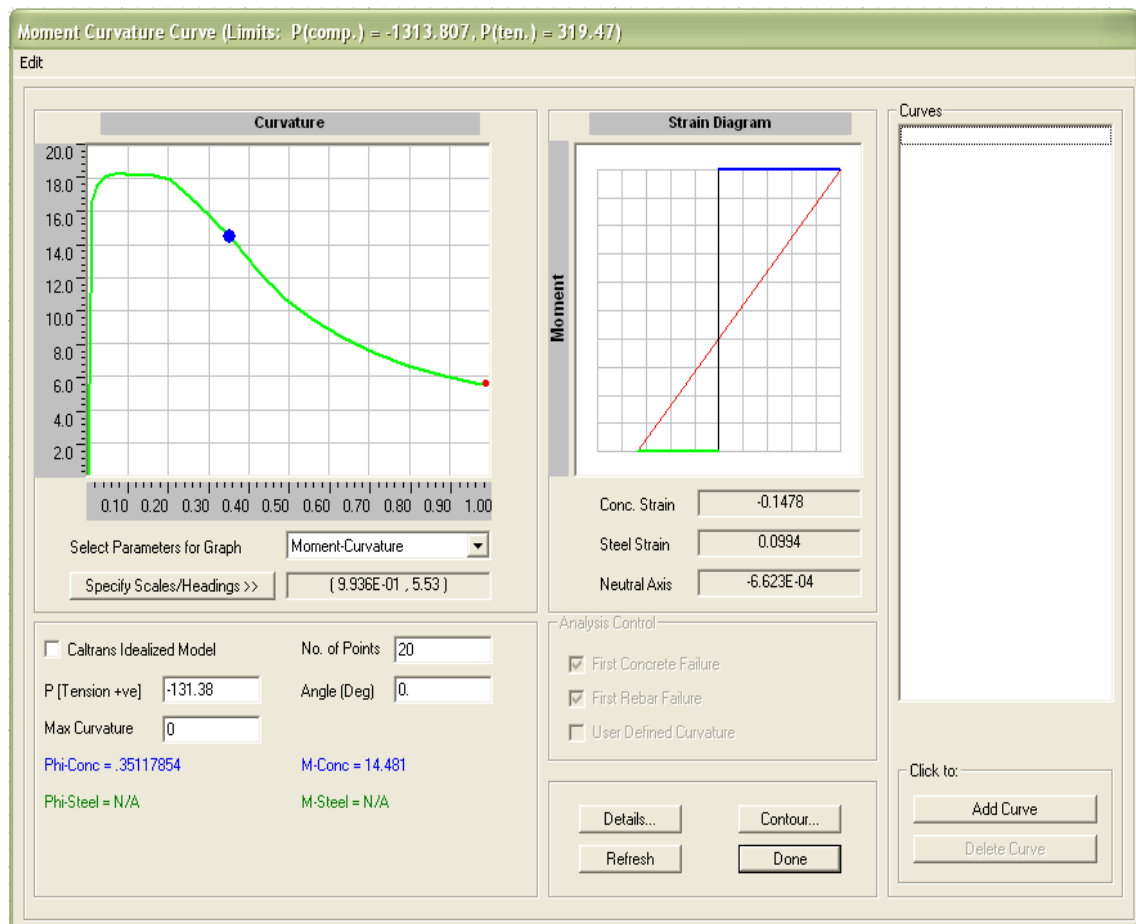


Tabla 5.7. Parámetros de diseño viga a flexión

**PARAMETROS DE DISEÑO DE VIGAS A FLEXIÓN**

b mm	d mm	BARRAS	As cm <sup>2</sup>	CUANTIAS	Mn KN-m	ϕMn KN-m
300	250	0 N 4 + 2 N 4	2.53	0.0034	25.5	23.0
300	250	0 N 4 + 3 N 4	3.80	0.0051	37.5	33.8
300	250	1 N 4 + 3 N 4	5.07	0.0068	49.0	44.1
300	250	2 N 4 + 3 N 4	6.33	0.0084	59.9	53.9
300	250	3 N 4 + 3 N 4	7.60	0.0101	70.3	63.3
300	250	4 N 4 + 3 N 4	8.87	0.0118	80.2	72.1
300	250	0 N 4 + 2 N 5	3.96	0.0053	39.0	35.1
300	250	1 N 4 + 2 N 5	5.23	0.0070	50.4	45.3
300	250	2 N 4 + 2 N 5	6.49	0.0087	61.2	55.1
300	250	3 N 4 + 2 N 5	7.76	0.0103	71.6	64.4
300	250	4 N 4 + 2 N 5	9.03	0.0120	81.4	73.2
300	250	5 N 4 + 2 N 5	10.29	0.0137	90.6	81.6
300	250	1 N 5 + 3 N 4	5.78	0.0077	55.2	49.7
300	250	2 N 5 + 3 N 4	7.76	0.0103	71.6	64.4
300	250	3 N 5 + 3 N 4	9.74	0.0130	86.6	78.0

Tabla 5.8. Comparación Mmax vigas

	MZ	MZ1	MZ2	MZ4	MZ6
MAX	24874	203600	395000	789320	1184000
MIN	-22390	-233410	-452000	-904070	-1356100
Mmax	53900	53900	53900	53900	53900
Diferencia	29026	-149700	-341100	-735420	-1130100
OBS	cumple	no cumple	no cumple	no cumple	no cumple

Se puede observar que se presentan problemas tanto en columnas como en vigas a partir de la primera explosión (0.1Mpa), por tanto en la segunda parte miraremos un modelo que llega al límite de los momentos que resisten nuestros elementos, mientras tanto observaremos las variaciones que ocurren en las reacciones derivas en columnas respectivamente

- **Derivas en columnas:** ya sabemos que la norma especifica que las derivas máximas el columnas no deben ser mayores a un 1% de la altura libre de la columna, por tanto nuestra deriva máxima será  $3m \cdot 0.01 = 0.03m$  o  $0.0003cm$ .

**Tabla 5.9. tabla comparación de derivas**

	<b>USUM</b>	<b>USUM1</b>	<b>USUM2</b>	<b>USUM4</b>	<b>USUM6</b>
Derivas	8,07E-05	0,000648	0,001099	0,0021974	0,003296
Deriva max	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
diferencia	0,0299193	0,029352	0,028901	0,0278026	0,026704
OBS	cumple	cumple	cumple	cumple	cumple

- **Porcentaje de aumento en las reacciones**

**Tabla 5.10. Porcentajes de aumento en reacciones**

% DE AUMENTO 0,1Mpa			% DE AUMENTO 0,2 Mpa			% DE AUMENTO 0,4Mpa			% DE AUMENTO 0,6 pa		
FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
737,628866	761,489012	577,677001	809,230026	1623,66946	653,031004	1720,23196	3338,48109	853,262379	2630,34794	5076,40903	1325,26608
737,628866	761,489012	577,677001	809,230026	1623,66946	653,031004	1720,23196	3338,48109	853,262379	2630,34794	5076,40903	1325,26608
737,628866	761,489012	577,677001	809,230026	1623,66946	653,031004	1720,23196	3338,48109	853,262379	2630,34794	5076,40903	1325,26608
737,628866	761,489012	577,677001	809,230026	1623,66946	653,031004	1720,23196	3338,48109	853,262379	2630,34794	5076,40903	1325,26608

- **Segunda fase.**

En esta parte se hallara un valor de explosión que no se salga de los límites permitidos por las características físicas de nuestro material (concreto reforzado). Para este paso solo estudiaremos el valor de explosión máximo para que no sobrepase nuestros límites ya establecidos.

- **Comparación para columnas: 6 barras #5**

<b>6 BARRAS No 5</b>		
As=	11,88	cm <sup>2</sup>
	CUANTIA	<b>0,01320</b>

USANDO FLEJES <b>=0.70</b>
-------------------------------

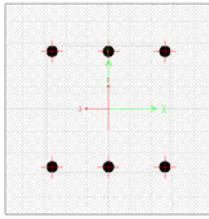


Tabla 5.11.  $MnX$  .  $Pn$

$MnX$	$Pn$
KN-m	KN
0,0	1170
18,0	1170
27,4	1170
35,8	1128
42,4	1050
48,7	962
53,8	868
57,6	763
60,4	649
62,6	522
64,3	378
64,8	338
65,0	292
64,6	235
61,0	154
52,6	54
40,5	-82
23,3	-273
15,5	-342
8,1	-398
0,0	-454

Tabla 512.  $MnY$  .  $Pn$

$MnY$	$Pn$
KN-m	KN
0,0	1170
15,2	1170
24,3	1170
32,3	1133
38,7	1051
44,4	961
49,0	866
52,1	760
54,3	646
55,6	525
56,2	380
56,7	324
56,8	254
56,5	164
53,5	63
46,3	-22
36,4	-132
23,0	-277
15,5	-342
8,1	-398
0,0	-454

Tabla 5.13 De Fuerzas Utilizadas En Segunda Parte

	SIN EXPLOSION	EXPLOSION 0,02 MPA	EXPLOSION 0,023 MPA	EXPLOSION 0,024 MPA
	1,4D+1,7L (N/m)	1,05D+1,28L+1,05T (N/m)	1,05D+1,28L+1,05T (N/m)	1,05D+1,28L+1,05T (N/m)
FUERZA 1	8026,4	8026,4	8026,4	8026,4
FUERZA 2	4013,4	4013,4	4013,4	4013,4
FUERZA 3	0	6299,05	7243,9	7558,86
FUERZA 4	0	6299,05	7243,9	7558,86
FUERZA 5	0	4943,41	5684,9	5932,09
FUERZA 6	0	7412,33	8524,18	8894,8
FUERZA 7	0	16800	19320	20160

- Resultado reacciones modelos segunda parte

**Tabla 5.14 % Aumento Explosion 0.02 Mpa**

NODO	SIN EXPLOSION			EXPLOSION 0.02 MPA			DIFERENCIA			% DE AUMENTO		
	FX(N)	FY(N)	FZ(N)	FX1(N)	FY1(N)	FZ1(N)	FXd	FYd	FZd	FX	FY	FZ
1	12416	53512	10805	11853	96849	5393,4	-5,63E+02	4,33E+04	-5411,6	4,534472	80,985573	50,08422
2	12416	53512	10805	11853	96849	5393,4	-5,63E+02	4,33E+04	-5411,6	4,534472	80,985573	50,08422
3	12416	53512	10805	11853	96849	5393,4	-5,63E+02	4,33E+04	-5411,6	4,534472	80,985573	50,08422
4	12416	53512	10805	11853	96849	5393,4	-5,63E+02	4,33E+04	-5411,6	4,534472	80,985573	50,08422

**Tabla 5.15 % Aumento Explosion 0.023 Mpa**

NODO	SIN EXPLOSION			EXPLOSION 0,023 MPA			DIFERENCIA			% DE AUMENTO		
	FX(N)	FY(N)	FZ(N)	FX2(N)	FY2(N)	FZ2(N)	FXd	FYd	FZd	FX	FY	FZ
1	12416	53512	10805	13631	1,11E+05	6202,4	1,22E+03	5,79E+04	-4,60E+03	9,78576	108,14023	42,59695
2	12416	53512	10805	13631	1,11E+05	6202,4	1,22E+03	5,79E+04	-4,60E+03	9,78576	108,14023	42,59695
3	12416	53512	10805	13631	1,11E+05	6202,4	1,22E+03	5,79E+04	-4,60E+03	9,78576	108,14023	42,59695
4	12416	53512	10805	13631	1,11E+05	6202,4	1,22E+03	5,79E+04	-4,60E+03	9,78576	108,14023	42,59695

**Tabla 5.16 % Aumento Explosion 0.024 Mpa**

NODO	SIN EXPLOSION			EXPLOSION 0,024 MPA			DIFERENCIA			% DE AUMENTO		
	FX(N)	FY(N)	FZ(N)	FX4(N)	FY4(N)	FZ4(N)	FXd	FYd	FZd	FX	FY	FZ
1	12416	53512	10805	14224	1,16E+10	6472	1,81E+03	1,16E+10	-4,33E+03	14,56186	21718393	40,1018
2	12416	53512	10805	14224	1,16E+10	6472	1,81E+03	1,16E+10	-4,33E+03	14,56186	21718393	40,1018
3	12416	53512	10805	14224	1,16E+10	6472	1,81E+03	1,16E+10	-4,33E+03	14,56186	21718393	40,1018
4	12416	53512	10805	14224	1,16E+10	6472	1,81E+03	1,16E+10	-4,33E+03	14,56186	21718393	40,1018

- Resultado fuerzas internas modelos segunda parte

**Tabla 5.17 Fuerzas Max Y Min En Columnas Explosiones (0.02-0.024 Mpa)**

	FUERZAS INTERNAS SIN EXPLOSION			FUERZAS INTERNAS EXPLOSION 0,02Mpa			FUERZAS INTERNAS EXPLOSION 0,023Mpa			FUERZAS INTER. EXPLOSION 0,024MPa		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
MAX	12416	53512	10805	29491	96849	24291	33914	111380	27934	35389	116220	29149
MIN	-12416	-53512	-10805	-30750	-96849	-53934	-35363	-111380	-26485	-36901	-116220	-27637

**Tabla 5.18 Comparación De Resultados Fuerzas Columnas Vs Fuerzas Resistentes**

	FY (N)	FY1(N)	FY2(N)	FY4(N)
MAX	53512	96849	111380	116220
MIN	-53512	-96849	-111380	-116220
Pmax	1170000	1170000	1170000	1170000
Diferencia	1116488	1073151	1058620	1053780
OBS	cumple	cumple	cumple	cumple

- Resultados momentos internos modelos segunda parte

**Tabla 5.19 Fuerzas Max Y Min En Las Vigas Explosiones (0.02-0.024 Mpa)**

	FUERZAS INTERNAS SIN EXPLOSION			FUERZAS INTERNAS EXPLOSION 0,02Mpa			FUERZAS INTERNAS EXPLOSION 0,023Mpa			FUERZAS INTER. EXPLOSION 0,024Mpa		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
MAX	53512	96849	111380	194910	472160	155270	387020	922370	301700	1170000	1844700	1170000
MIN	-12416	-42810	-384,37	-40637	-80542	-6399	-46733	-92624	-7358	-48765	-96651	-7678

**Tabla 5.20 Comparación De Resultados Fuerzas En Las Vigas Vs Fuerzas Resistentes**

	FYZ(N)	FZ1(N)	FZ2(N)	FZ4(N)
MAX	111380	155270	301700	1170000
MIN	-384,37	-6399	-7358	-7678
Pmax	1170000	1170000	1170000	1170000
DIFERENCIA	1058620	1014730	868300	0
OBS	cumple	cumple	cumple	cumple

- Resultado momentos internas modelos segunda parte

**Tabla 5.21 Momentos Max Y Min En Columnas Explosiones (0.02-0.024 Mpa)**

	M. ELEMENTOS SIN EXPLOSION			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,02Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,023Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,024Mpa		
	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
MAX	21645	39,093	24874	35921	-520,38	47464	34249	0	47655	35738	0	49727
MIN	-19484	-39,093	-22390	-29782	-520,38	-41439	-39691	0	-54583	-41417	0	-56956

**Tabla 5.22 Comparación Momentos Max Y Min En Columnas Explosiones (0.02-0.024 Mpa) Vs Momentos Resistentes**

	MX(N-m)	MX1(N-m)	MX2(N-m)	MX4(N-m)
MAX	21645	35921	34249	35738
MIN	-19484	-29782	-39691	-41417
Mmax	65000	65000	65000	65000
DIFERENCIA	43355	29079	30751	29262
OBS	cumple	cumple	cumple	cumple

	MZ(N-m)	MZ1(N-m)	MZ2(N-m)	MZ4(N-m)
MAX	24874	47464	47655	49727
MIN	-22390	-41439	-54583	-56756
Mmax	56800	56800	56800	56800
DIF	31926	9336	9145	7073
OBS	cumple	cumple	cumple	cumple

**Tabla 5.23 Momentos Max Y Min En Vigas Explosiones (0.02-0.024 Mpa)**

	M. ELEMENTOS SIN EXPLOSION			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,02Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,023Mpa			M. ELEMENTOS EXPLOSION 0,024Mpa		
	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ	MX	MY	MZ
MAX	22665	194,52	26498	35921	5087	48001	41309	5850	53201	43105	4450	57601
MIN	-22665	-194,52	-26498	-35921	-5087	-48001	-41309	-4264	-53201	-43105	-6104	-57601

**Tabla 5.24 Comparación Momentos Max Y Min En Vigas Explosiones (0.02-0.024 Mpa) Vs Momentos Resistentes**

	MZ(N-m)	MZ1(N-m)	MZ2(N-m)	MZ4(N-m)
MAX	26498	48001	53201	57601
MIN	-26498	-48001	-53201	-57601
Mmax	53900	53900	53900	53900
DIFERENCIA	27402	5899	699	-3701
OBS	cumple	cumple	cumple	no cumple

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Las explosiones domiciliarias de gas natural no pueden ser analizadas como explosiones parcialmente confinadas.
- A pesar de los rangos que maneja la literatura se podría asimilar que son inconfinas ya que el rango de presiones ejercidas por la explosión se encuentra en 0.1 MPa como máximo.
- Después del análisis de la información obtenida a partir de los modelos hechos en Ansys y comparándolos con los diagramas de iteración de los elementos estructurales derivados del SAP 2000 se puede observar que las estructuras de concreto reforzado fallan por presiones ejercidas que no sobrepasan los 0.023 MPa.
- Al observar el porcentaje de aumento en las reacciones de nuestros momentos queda claro que es un aumento muy considerable. En explosiones inconfinas hasta un rango de 0.023 MPa se encuentran % de aumento de hasta 217% y en el caso de explosiones parcialmente confinadas un % de aumento de hasta 5800%.
- Es importante que a partir de esta investigación se pueda profundizar muchísimo más sobre el efecto de las presiones debidas a explosiones de gas natural sobre los elementos estructurales de una edificación de concreto reforzado ya que son múltiples las variables que influyen en su comportamiento.
- Se puso en conocimiento la utilización del programa de modelamiento por elementos finitos Ansys en forma de tutorial como un paso inicial en el análisis de estructuras de concreto reforzado.
- Se logró una excelente interacción entre dos herramientas superpoderosas para los Ingenieros Civiles como lo son el SAP 2000 y el Ansys, que complementan de una manera maravillosa el análisis y el diseño.
- Es fundamental ampliar el rango de investigaciones sobre el efecto de las presiones debidas a explosiones de gas natural sobre los elementos estructurales de edificaciones metálicas.

## BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-98. Títulos A y B.

BARTKNECHT, W. Explosiones. Berlin, Springer-Verlag, 1981.

BRYAN, J.L. Fire suppression and detection systems Nueva York, Mac Millan Publishing Co., Inc., 1982.

CASA, Joaquín y Otros-Análisis del Riesgo en instalaciones Industriales. Alfaomega -ISBN 84-8301-8.

CARTWRIGHT, P. Industrial explosion protection. Dust explosion protection seminar (22-8-1995) Oldham. Lancashire, Kidde Fire Protection -Chilworth Technology Ud.

Curso de BÚSQUEDA Y RESCATE EN ESTRUCTURAS COLAPSADAS de la Oficina Federal de Asistencia para Desastres de Latinoamérica y el Caribe (OFDA-LAC).

Diseño de Concreto Reforzado; MCCORMAC, Jack C.

Diseño de Estructuras de Concreto; Arthur H. Nilson.

ESCOBAR Pedro Luis. Patología de estructuras de concreto reforzado, Principios fundamentales y metodología. Noviembre de 1999. Medellín.

ECKHOFF, R.K. Dust explosions in the process industries Londres, Butterworth-Heinemann, 1991.

FREDERICK S. MERRITT y Jonathan T. Ricketts. Building Design and Construction Handbook;

Hormigón reforzado; NSR-98; Segunda Parte; Roberto Rochel Awad.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España.

MARCÍAS J. MARTÍNEZ .Ingeniería de Gas. Principios y Aplicaciones.

NSR-98. (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo resistente). Título B.

PRATO Carlos A. y Otros. Evaluación de Daños en Construcciones residenciales producidos por explosiones.

Revista MCYC. Guía práctica para la evaluación estructural de edificios Dañados. Septiembre de 1986. P 15.

Revista MCYC. Reparación de estructuras de concreto. Septiembre de 1986. P 29. Reinforced Concrete Structures; Park R. and Paula y T.

“Seminario sobre Fundamentos de la Resistencia de Materiales”. Lima, Edgardo Luis y otros. Ingenieros Estructurales.

SCHOFIELD, C.y ABBOTT, J.A. Guide to dust explosion prevention and protection. Part 2 - Ignition prevention, containment, inerting, suppression and isolation Rugby, The Institution of Chemical Engineers, 1988.

SEMINARIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA (1999: Medellín). Manual de Evaluación postsísmica de la seguridad estructural de edificaciones.

Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.

TURMO SIERRA, Emilio. Ingeniero Industrial y Méndez Bernal, Bernardo, Ingeniero de Minas. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo de España.

Wells, G: L-Safety in Process Plant Design. Jhon Wiley and Sons. (1980) – ISBN 0-7114-6.