

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS  
ASISTIDO POR COMPUTADORA**

**JUAN CARLOS CAMACHO PUELLO**

**MARLON DE JESÚS ROMERO TORRES**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA DE INDIAS**

**MAYO DE 2012**

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS  
ASISTIDO POR COMPUTADORA**

**JUAN CARLOS CAMACHO PUELLO**

**MARLON DE JESÚS ROMERO TORRES**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

**DIRECTOR**

**PhD. JAIRO USECHE VIVERO**

**CO-DIRECTOR**

**OSCAR CORONADO HERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA DE INDIAS**

**MAYO DE 2012**

Cartagena D. T. y C., 25 de mayo de 2012.

Señores

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Facultad de Ingeniería Civil

Comité Evaluador de Trabajos de Grado

Cordial saludo.

Por medio de la presente, nos permitimos someter a su consideración el trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS ASISTIDO POR COMPUTADORA**”, de los estudiantes JUAN CARLOS CAMACHO PUELLO y MARLON DE JESÚS ROMERO TORRES, para optar por el título de Ingeniero civil.

Cordialmente,

---

**Juan Carlos Camacho Puello**

---

**Marlon de Jesús Romero Torres**

Cartagena D. T. y C., 25 de mayo de 2012.

Señores

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Facultad de Ingeniería Civil.

Comité Evaluador de Trabajos de Grado

Cordial saludo.

Por medio de la presente, me permito someter a consideración el trabajo de grado con título **“ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS ASISTIDO POR COMPUTADORA”**, elaborado por los estudiantes JUAN CARLOS CAMACHO PUELLO y MARLON DE JESÚS ROMERO TORRES, en el que me desempeño como Director.

Cordialmente.

---

**PhD. Jairo Useche Vivero.**

Director de trabajo de grado

Cartagena D. T. y C., 25 de mayo de 2012.

Señores

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Facultad de Ingeniería Civil.

Comité Evaluador de Trabajos de Grado

Cordial saludo.

Por medio de la presente, me permito someter a consideración el trabajo de grado con título **“ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS ASISTIDO POR COMPUTADORA”**, elaborado por los estudiantes JUAN CARLOS CAMACHO PUELLO y MARLON DE JESÚS ROMERO TORRES, en el que me desempeño como Co-Director.

Cordialmente.

---

**PhD. Oscar Coronado Hernández.**

Co-Director de trabajo de grado

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma del Presidente del Jurado**

---

**Firma de Jurado**

---

**Firma de Jurado**

**Cartagena de Indias D.T. y C., 25 de Mayo de 2012.**

El autor expresan su **agradecimiento** a:

*A Dios por darme la vida, y la fuerza para luchar por todos los proyectos y retos que me he propuesto, por poner en mi camino personas que me han ayudado a crecer día a día.*

*A mis padres y hermano por estar siempre a mi lado incondicionalmente, brindarme apoyo y aconsejarme en los momentos difíciles. Por ser mis modelos a seguir y el motivo que no me deje decaer a pesar de la adversidad.*

*A mis profesores, por su dedicación y apoyo en mi proceso de aprendizaje,*

**MARLON DE JESÚS ROMERO TORRES**

El autor expresan su **agradecimiento** a:

*A Dios por haberme dado la vida y fortaleza para enfrentar las dificultades y disfrutar los momentos felices, por compartir en todo momento con mi familia y amigos, y por darme la oportunidad de alcanzar las metas propuestas.*

*A mis maravillosos padres; Mercedes Puello y Donays Camacho, que me han guiado y ayudado desde el primer día para alcanzar todos mis propósitos. Gracias por ayudarme a salir adelante en la adversidad, por hacer de mí un hombre de provecho, de grandes ideales y noble corazón. Los haré sentirse tan orgullosos que podrán ver que sus sacrificios no fueron en vano, y podrán caminar con la frente en alto por todo lo que han hecho de mí.*

*A mis amigos por su apoyo incondicional, por su compañía y por los buenos consejos de alientos en los momentos requeridos. Gracias por querer ser mis amigos y que Dios los llene de bendiciones para que sus planes se lleven a cabo.*

*A mis profesores de Ingeniería civil por enseñarnos el camino a la disciplina, conocimiento, y experiencia. Gracias por enseñarnos a ser libre y aplicar todos los valores éticos a la sociedad. Agradezco sobre todo, al Profesor Oscar Coronado que siempre estuvo en esos momento en que necesité de su ayuda, de su orientación y de sus concejos que sirvieron para avanzar en todas las dificultades que se presentaron el proceso de elaboración del proyecto.*

**JUAN CARLOS CAMACHO PUELLO**



## **RESUMEN**

Esta tesis fue creada para analizar estructuras tridimensionales a base de nodos y elementos lineales de sección constante, considerando que su deformación es directamente proporcional a las cargas aplicadas y que cumple con todas las leyes fundamentales de compatibilidad, continuidad, elasticidad y superposición en cada componente integrada. En éste proyecto se pretende mostrar una herramienta para el área de la ingeniería civil, programada especialmente para la verificación, evaluación y visualización inmediata del comportamiento de estructuras, de acuerdo a las configuraciones, condiciones y sollicitaciones que esté sometida cada parte.

## **ABSTRACT**

This thesis was created to analyze three-dimensional structures based on nodes and line elements of constant section, considering that the deformation is directly proportional to the applied loads and meets all the fundamental laws of consistency, continuity, flexibility and superposition in each integrated component. In this project we intend to show a tool for civil engineering area, planned especially for the monitoring, evaluation and display the behavior of structures according to the settings, conditions, and requests that each party is subject.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE ILUSTRACIONES .....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>XVI</b>
OBJETIVOS GENERALES.....	XVI
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XVI
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>24</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>26</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>27</b>
<b>ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS .....</b>	<b>27</b>
<b>1 MÉTODO DE LA RIGIDEZ.....</b>	<b>28</b>
1.1 BASES DEL MÉTODO.....	29
1.1.1 COMPATIBILIDAD.....	29
1.1.2 EQUILIBRIO .....	30
1.1.3 LINEALIDAD Y SUPERPOSICIÓN.....	30
1.1.3.1 LINEALIDAD.....	30
1.1.3.2 PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN.....	31
1.2 RESOLVER UNA ESTRUCTURA SEGÚN EL MÉTODO DE LA RIGIDEZ	32
1.3 RIGIDECES ELEMENTALES .....	34
1.3.1 RIGIDECES PARA DESPLAZAMIENTOS SEGÚN EL EJE X.....	34

1.3.2	RIGIDECES PARA GIROS SEGÚN EL EJE X.....	36
1.3.3	RIGIDECES PARA DESPLAZAMIENTOS SEGÚN EL EJE Y .....	37
1.3.4	RIGIDECES PARA GIROS SEGÚN EL EJE Y.....	39
1.3.5	RIGIDECES PARA DESPLAZAMIENTOS SEGÚN EL EJE Z .....	40
1.3.6	RIGIDECES PARA GIROS SEGÚN EL EJE Z.....	42
1.4	MATRIZ DE RIGIDEZ ELEMENTAL .....	43
1.5	SISTEMAS DE COORDENADAS .....	47
1.5.1	SISTEMA GLOBAL O DE LA ESTRUCTURA .....	47
1.5.2	SISTEMA LOCAL O DEL ELEMENTO.....	48
1.6	MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN.....	48
1.6.1	TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS.....	49
1.7	MATRIZ DE RIGIDEZ ELEMENTAL EN EL SISTEMA GLOBAL.....	53
1.8	FACTORIZACIÓN DE CHOLESKY .....	58
1.8.1	DESARROLLO DEL MÉTODO .....	59
1.8.2	SOLUCIÓN DE UN SISTEMA DE ECUACIONES .....	61
1.8.3	EJEMPLO 1.....	61
1.8.4	ESCOGENCIA DESCOMPOSICIÓN DE CHOLESKY .....	64
1.9	FACTORES DE INTERPOLACIÓN O DE FORMA.....	67
1.9.1	ORDENADAS DE LA ELÁSTICA .....	67
1.9.2	FUNCIONES DE FORMA PARA MIEMBROS LINEALES TOTALMENTE FLEXIBLES DE SECCIÓN CONSTANTE .....	68
1.9.2.1	RELACIONES FUNDAMENTALES.....	69
1.9.2.2	EXPRESIONES DE LA ELÁSTICA .....	69
1.9.3	FUNCIONES DE FORMA PARA MIEMBROS AXIALMENTE RÍGIDOS.....	69

1.9.4	FUNCIONES DE FORMA PARA MIEMBROS TRANSVERSALMENTE RÍGIDOS.....	70
<b>CAPITULO II.....</b>		<b>71</b>
<b>PROGRAMAS COMERCIALES.....</b>		<b>71</b>
<b>2</b>	<b>PROGRAMAS COMERCIALES PARA EL CÁLCULO Y ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS.....</b>	<b>72</b>
2.1	SAP2000.....	72
2.1.1	PRINCIPALES BENEFICIOS.....	73
2.1.2	OPCIONES DE MODELAJE.....	74
2.2	ETABS.....	74
2.3	ABAQUS.....	75
2.4	GT STRUDL.....	77
2.5	ANSYS.....	78
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>80</b>
<b>CONSIDERACIONES EN EL ANÁLISIS DE BABEL 2.0.....</b>		<b>80</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS.....</b>	<b>81</b>
3.1	REACCIONES EN PUNTO DE APOYO Y CONEXIONES PARA UNA ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL.....	81
3.2	MOMENTOS DE INERCIA.....	84
3.3	TIPOS DE CARGAS.....	85
3.3.1	CARGAS MUERTAS.....	85
3.3.2	CARGAS VIVAS.....	85

3.3.3	CARGA DE VIENTO.....	86
3.4	CARGAS EQUIVALENTES EN NODOS.....	86
3.5	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	90
3.6	EFFECTOS TÉRMICOS .....	93
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>95</b>
<b>DESARROLLO HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....</b>		<b>95</b>
<b>4</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>96</b>
4.1	VISUAL BASIC 6.0.....	96
4.1.1	PROGRAMAS ORIENTADOS A EVENTOS .....	96
4.1.2	CREACIÓN DE PROGRAMA PARA ENTORNO DE WINDOWS .....	97
4.1.3	VENTAJAS .....	98
4.2	OPENGL 1.1 (OPEN GRAPHICS LIBRARY).....	98
4.2.1	OPERACIONES CON OPENGL .....	99
4.3	CÓDIGOS RELEVANTES.....	101
4.3.1	SOLUCIÓN DEL SISTEMA .....	101
4.3.2	MATRIZ DE RIGIDEZ DEL ELEMENTO .....	102
4.3.3	PROCESOS DEL SISTEMA DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS.....	103
4.3.3.1	ENSAMBLAJE DE MATRICES DE LA ESTRUCTURA.....	107
4.3.3.2	RESOLUCION DEL SISTEMA .....	108
4.3.3.3	CALCULO DE REACCIONES .....	109

<b>CAPITULO V .....</b>	<b>110</b>
<b>REPASO DE ALGEBRA DE MATRICES .....</b>	<b>110</b>
<b>5 ALGEBRA DE MATRICES .....</b>	<b>111</b>
5.1 MATRIZ CUADRADA.....	111
5.2 MATRIZ SIMÉTRICA .....	111
5.3 MATRIZ DIAGONAL .....	112
5.4 MATRIZ IDENTIDAD.....	112
5.5 OPERACIÓN CON MATRICES .....	112
5.5.1 IGUALDAD .....	112
5.5.2 ADICIÓN Y SUSTRACCIÓN DE MATRICES.....	113
5.5.2.1 POR EJEMPLO:.....	113
5.5.3 MULTIPLICACIÓN DE MATRICES .....	114
5.5.4 INVERSA DE UNA MATRIZ CUADRADA .....	116
5.5.5 TRANSPUESTA DE UNA MATRIZ .....	117
<b>CAPITULO VI .....</b>	<b>119</b>
<b>MANUAL DEL USUARIO.....</b>	<b>119</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>120</b>
<b>REQUERIMIENTO DEL SISTEMA.....</b>	<b>121</b>
<b>6 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.....</b>	<b>122</b>
6.1 CONOZCAMOS LA INTERFAZ GRAFICA .....	122
6.1.1 BARRA DE TÍTULO.....	124
6.1.2 BARRA DE MENÚ.....	124

6.1.2.1	MENÚ ARCHIVO.....	124
6.1.2.2	MENÚ EDICIÓN .....	127
6.1.2.3	MENÚ VER.....	129
6.1.2.4	MENÚ DEFINIR.....	143
6.1.2.5	MENÚ ASIGNAR .....	168
6.1.2.6	MENÚ ANÁLISIS .....	187
6.1.3	BARRA ESTANDAR.....	191
6.1.4	EXPLORADOR DEL PROYECTO O PATHFINDER .....	193
6.1.4.1	SELECCIONAR UN ELEMENTO .....	197
6.1.4.2	SELECCIONAR TODOS LOS ELEMENTOS.....	198
6.1.4.3	OBTENER INFORMACIÓN DEL ELEMENTO SELECCIONADO.....	198
6.1.4.4	APLICAR COMBINACIÓN DE CARGA PARA EL ANÁLISIS.....	200
6.1.5	MODELO TRIDIMENSIONAL.....	202
6.1.5.1	VISUALIZACIONES.....	203
6.1.5.2	SELECCIÓN DE ELEMENTOS.....	207
6.1.5.3	EDICIÓN DE ELEMENTOS.....	208
6.1.5.4	ELIMINAR ELEMENTO .....	209
6.1.5.5	VER RESULTADOS DE ANÁLISIS.....	210
6.1.6	BARRA DE DIBUJO .....	213
6.1.6.1	VER LISTA DE SECCIONES.....	215
6.1.7	BARRA DE PESO DE LA ESTRUCTURA.....	215
6.1.8	BARRA MODELO Y RESULTADO.....	216
6.1.9	BARRA DE ESTADO.....	216



<b>CAPITULO VII .....</b>	<b>217</b>
<b>VALIDACION DE DATOS .....</b>	<b>217</b>
<b>7 EJERCICIOS RESUELTOS .....</b>	<b>218</b>
7.1 EJEMPLO 11.30 – JAIRO URIBE ESCAMILLA .....	218
7.1.1 DEFINICIÓN DE NODOS.....	219
7.1.2 DEFINICIÓN DE MATERIALES .....	220
7.1.3 DEFINICIÓN DE SECCIONES.....	220
1.1.1.1 ARMAR ESTRUCTURA .....	221
7.1.4 DEFINICIÓN DE CARGAS.....	222
7.1.5 MODELO ESTRUCTURAL PROPUESTO .....	223
7.1.6 COMPARAR CÁLCULOS DE SECCIONES.....	223
7.1.7 COMPARAR DEFORMACIONES EN NODOS .....	224
7.1.8 COMPARAR REACCIONES EN MIEMBROS.....	225
7.1.9 COMPARAR DIAGRAMAS .....	226
7.2 EJEMPLO 11.21 – JAIRO URIBE ESCAMILLA .....	230
7.2.1 DEFINICIÓN DE NODOS.....	230
7.2.2 DEFINICIÓN DE MATERIAL .....	231
7.2.3 DEFINICIÓN DE SECCIONES.....	232
7.2.4 ARMAR ESTRUCTURA .....	233
7.2.5 DEFINICIÓN DE CARGAS.....	234
7.2.6 MODELO ESTRUCTURAL PROPUESTO .....	236
7.2.7 COMPARAR DEFORMACIONES EN NODOS .....	237

7.2.8	COMPARAR REACCIONES DE MIEMBROS.....	238
7.2.9	COMPARAR DIAGRAMAS .....	241
7.2.10	ESTRUCTURAS DEFORMADAS .....	247
	BIBLIOGRAFÍA.....	248
	<b>CAPITULO VIII .....</b>	<b>251</b>
	<b>COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>251</b>
<b>8</b>	<b>COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>252</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> <i>Diagrama tension-deformacion de un material.</i> .....	30
<b>Ilustración 2.</b> <i>Principio de superposición</i> .....	31
<b>Ilustración 3.</b> <i>Método de equilibrio (o rigidez)</i> .....	32
<b>Ilustración 4.</b> <i>Sistemas de coordenadas global y local para elementos espaciales de nudos rígidos.</i> .....	34
<b>Ilustración 5.</b> <i>Rigidez para desplazamiento según el eje x, en el extremo i.</i> .....	34
<b>Ilustración 6.</b> <i>Rigidez para desplazamiento según el eje x, en el extremo j.</i> .....	35
<b>Ilustración 7.</b> <i>Rigidez para giro según el eje x, en el extremo i.</i> .....	36
<b>Ilustración 8.</b> <i>Rigidez para giro según el eje x, en el extremo j.</i> .....	36
<b>Ilustración 9.</b> <i>Rigidez para desplazamiento según el eje y, en el extremo i.</i> .....	37
<b>Ilustración 10.</b> <i>Rigidez para desplazamiento según el eje y, en el extremo j.</i> .....	38
<b>Ilustración 11.</b> <i>Rigidez para giro según el eje y, en el extremo i.</i> .....	39
<b>Ilustración 12.</b> <i>Rigidez para giro según el eje y, en el extremo j.</i> .....	40
<b>Ilustración 13.</b> <i>Rigidez para desplazamiento según el eje z, en el extremo i.</i> .....	40
<b>Ilustración 14.</b> <i>Rigidez para desplazamiento según el eje z, en el extremo j.</i> .....	41
<b>Ilustración 15.</b> <i>Rigidez para giro según el eje z, en el extremo i.</i> .....	42
<b>Ilustración 16.</b> <i>Rigidez para giro según el eje z, en el extremo j.</i> .....	42
<b>Ilustración 17.</b> <i>Sistema global de un elemento en el espacio</i> .....	47

<b>Ilustración 18.</b> Sistema local de un elemento en el espacio .....	48
<b>Ilustración 19.</b> Sistemas de coordenadas global y local .....	50
<b>Ilustración 20.</b> Sistemas de coordenadas local y principal de inercia. ....	52
<b>Ilustración 21.</b> Ejemplo numérico de la deformación de una estructura. ....	64
<b>Ilustración 22.</b> Comparación de los tiempos de solución de diferentes solvers. .....	65
<b>Ilustración 23.</b> Comparación de la capacidad de memoria usada por los diferentes solvers paralelos. ....	66
<b>Ilustración 24.</b> Pórtico cualquiera y Ordenadas de la elástica del punto P.....	68
<b>Ilustración 25.</b> Coordenadas de miembro y ordenadas de la elástica .....	68
<b>Ilustración 26.</b> Modelo de un edificio en SAP 2000. ....	73
<b>Ilustración 27.</b> Modelo de un pórtico en ETABS.....	75
<b>Ilustración 28.</b> Modelamiento en abaqus.....	76
<b>Ilustración 29.</b> Modelamiento en GT Strudl. ....	77
<b>Ilustración 30.</b> Modelamiento en ANSYS .....	79
<b>Ilustración 31.</b> <i>Reacciones en apoyos de estructuras tridimensionales.</i> .....	82
<b>Ilustración 32.</b> <i>Momento de Inercia de áreas conocidas.</i> .....	84
<b>Ilustración 33.</b> <i>Cargas equivalentes en nodos.</i> .....	87
<b>Ilustración 34.</b> <i>Deformación del pórtico por calentamiento desigual ab.</i> .....	93
<b>Ilustración 35.</b> <i>Variaciones de temperatura</i> .....	93

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Densidades de materiales.</i> .....	90
<b>Tabla 2.</b> <i>Módulos de Elasticidad.</i> .....	90
<b>Tabla 3.</b> <i>Coeficientes de Poisson.</i> .....	91
<b>Tabla 4.</b> <i>Coeficientes de dilatación térmica lineal.</i> .....	91
<b>Tabla 5.</b> <i>Propiedades de los materiales No ferrosos</i> .....	92
<b>Tabla 6.</b> <i>Propiedades de los materiales ferrosos.</i> .....	92

# OBJETIVOS

## OBJETIVOS GENERALES

- Desarrollar una aplicación para el cálculo estructural, implementado el método de elementos finitos de sección constantes, encontrando la solución del sistema mediante la representación matricial  $A * X = B$ .

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar un algoritmo que permita encontrar la solución del sistema  $Q = K * d$ , de manera eficiente y que sea capaz de resolver matrices de gran tamaño, sin afectar el rendimiento normal de la computadora.
- Involucrar dentro del análisis estructural, las opciones de combinaciones de carga.
- Implementar el uso sistemas de unidades, para entrada y salida de dato.
- Determinar las deformaciones y reacciones del sistema estructural, de acuerdo a las sollicitaciones de cargas en miembros y nodos.
- Validar los resultados obtenidos, con ejercicios de Análisis de estructura del Ingeniero Jairo Uribe Escamilla.

## INTRODUCCIÓN

Todos los proyectos de estructuras son previamente modelados, antes de entrar a las etapas de análisis y diseño, cumpliendo así un proceso óptimo para lograr una estructura que cumpla con todas las condiciones y solicitudes para la cuales fue proyectada.

En la etapa de modelamiento, se representa la estructura real creando un modelo simplificado de todos los elementos que la conforman. En general todos los programas de análisis y diseño de estructuras permiten realizar el modelamiento de la estructura, el procesamiento numérico de los datos y el análisis de los resultados por medio de las etapas de pre procesamiento, procesamiento y post procesamiento.

El modelamiento de una estructura por medio de los programas actuales es relativamente fácil, pues para la etapa de pre procesamiento se utilizan numerosas herramientas que facilitan la creación del modelo y la visualización del mismo.

A la postre a la fase de modelamiento, se deben determinar y analizar los esfuerzos y deformaciones resultantes debido a la cargas impuestas. Para esto se utilizan los métodos de análisis matricial de estructuras y análisis por el método de los elementos finitos, lo que implica gran cantidad de cálculos numéricos, de tal manera que se hace indispensable utilizar algún programa de cómputo que facilite esta tarea ardua y tediosa.

Debido a la gran utilidad que tienen estos programas en el análisis de estructuras se ha realizado el presente trabajo de investigación el cual culmino con la creación del programa BABEL 2.0.

BABEL 2.0 es un programa que sirve para analizar estructuras, de acuerdo a dos modalidades de cálculo que dependen del tipo de miembro, la primera corresponde a “miembros totalmente flexibles”, donde se considera que el

miembro puede deformarse en los seis grados de libertad de cada nodo, y la segunda corresponde a “miembros transversalmente rígidos”, en la que los nodos del miembro no admiten giros en ninguno de sus ejes locales.



## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La tarea de construir edificios que resistan cualquier solicitación de carga estática o fuerzas provenientes de la naturaleza fueron asignada a los ingenieros civiles especialistas en estructuras. Para cumplir con ese objetivo, el ingeniero encargado requiere de planeación, análisis, diseño y construcción de una estructura que cumpla los requisitos mínimos para la protección de la vida y de las pertenencias de sus ocupantes. En el desarrollo del proyecto, solamente se comprenderá los dos primeros procesos, ya que los dos restantes requieren de un estudio más profundo de cada uno de los métodos aplicados de diseño y las normas constructivas respectivamente.

Durante el proceso de planeación se debe seleccionar primeramente un tipo de estructura que cumpla una función específica de uso público y los materiales que conforman cada elemento de la misma. Luego de la selección, se especifican los tipos de cargas, disposición de los miembros y sus pre-dimensionamientos. El tipo de estructura más usado para edificios son los pórticos en concreto reforzado, por lo cual será el tipo de estructura analizado en este proyecto.

El análisis del tipo de estructura seleccionado, debe hacerse con base a la idealización sobre cómo están apoyados y conectados los miembros entre sí, y la aplicación de cargas (fuerzas, cargas térmicas y reacciones) a lo largo del miembro, generando en la estructura un conjunto de reacciones y deformaciones necesarias para el ingeniero estructural para diseñar con base a las normas, el dimensionamiento adecuado de los elementos, la calidad de los materiales, y el acero de refuerzo necesario para resistir reacciones obtenidas en la fase de análisis.

Es importante analizar el comportamiento de una estructura cuando está sometida a carga, porque se requiere conocer los desplazamientos de los nudos, y las reacciones y esfuerzo en los apoyos. Esas respuestas de la estructura son necesarias para el dimensionamiento adecuado de la sección transversal del elemento, la resistencia del concreto, la calidad del acero y la posición de los traslapes entre refuerzo longitudinal, cumpliendo con las normatividad local.

## JUSTIFICACIÓN

La mayoría de los programas comerciales y de uso libre, para el cálculos de estructuras aporticadas en concreto reforzado mediante los métodos de análisis matricial y de elementos finitos, tales como ETABS, SAP2000, RCB ,SCI COL y otros, son herramientas muy reconocidas actualmente, por los ingenieros estructurales para el modelamiento de edificios. La ventaja de usar estos programas radica primordialmente, en que se puede modelar el comportamiento de edificios para los efectos de cargas estática y dinámica en los diferentes sistemas estructurales conocidos. Pero la representación gráfica que se consigue de cada uno de los elementos que conforma la estructura, requiere algo más de realismo, que figure la condición real (Las vigas y columnas equivalen a una línea en el espacio; la losa y los muros una figura plana; los nudos no definen dimensión y además en elementos en concreto no se visualiza la configuración del acero en el interior de vigas y columnas), lo cual hace que no sea muy atractivos si la estructura cuenta con muchos elementos tipo línea y figuras planas.

Otro aspecto a considerar es que la mayoría del software más utilizado en nuestro país, dedicado al análisis estructural son extranjeros y casi siempre están Ingles, por lo cual es una desventaja para aquellos que están aprendiendo a utilizarlos, y les cuesta familiarizarse con los comandos y la bandeja de entrada de datos.

Debido a las pequeñas desventaja que presentan algunos programas para representar los elementos de una estructuras, tal cual como se vería en la estructura real, y aprovechando la Tecnología que nos brindan las librerías gráficas, se trabajara con una aplicación que permita el uso de polígonos, texturas, transparencia, colores, líneas, puntos, luces, sombra y otros, con el objetivo de obtener interface gráfica muy atractiva para el usuario.

# **CAPITULO I**

## **ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS**

# 1 MÉTODO DE LA RIGIDEZ

(1). El Método de Compatibilidad se desarrolló durante el siglo XIX y permitieron la consecución de las infraestructuras que generaron progreso en la industria y en el sector social. El método de equilibrio al Análisis de Estructuras se desarrolló a principios del siglo XX y desplazaron progresivamente a los primeros en las aplicaciones prácticas.

A partir de la segunda mitad del siglo XX, la utilización del ordenador digital produce una rápida evolución en la investigación de muchas ramas de la ciencia y de la técnica, dando lugar a procedimientos "numéricos", adecuados para el uso de los mismos. En el campo del Análisis de Estructuras el ordenador ha llevado de forma natural al desarrollo del cálculo matricial de estructuras. Paralelamente, se desarrollan los métodos de aproximación numérica discreta tales como los métodos de las diferencias finitas y de los elementos finitos, que permiten resolver problemas mecánicos en estructuras continuas y cuya aplicación se extiende, incluso, a la resolución de problemas no lineales.

A finales del siglo XX, la rápida generalización del uso de los ordenadores personales hace de estos la herramienta básica de cálculo en ingeniería; los métodos de cálculo de estructuras por ordenador son hoy, un elemento esencial en la enseñanza de la Mecánica de Estructuras. La aplicación de estos métodos permite:

1. Formular una metodología de análisis compacta y basada en principios generales,
2. Desarrollar procedimientos prácticos de análisis y,
3. Organizar de forma simple los programas de ordenador de Cálculo de Estructuras.

Por otro lado, debe decirse que los métodos matriciales se caracterizan por una gran cantidad de cálculos sistemáticos, por lo que su aplicación se basa en la utilización del ordenador y no en el cálculo manual. Son, por lo tanto, métodos de análisis adecuados para estructuras complejas. En el caso de problemas sencillos, de fácil resolución por métodos manuales, los métodos matriciales no aportan ninguna ventaja importante.

Tanto los Métodos de Compatibilidad como los de Equilibrio pueden plantearse de cara a su resolución automática, dando lugar a los Métodos de Flexibilidad y de Rigidez, respectivamente. Sin embargo, los segundos cuentan con la importante ventaja sobre los primeros de que su formulación es más sistemática. En la práctica, la casi totalidad de los programas modernos de Cálculo de Estructuras, ya sean éstas de piezas o continuas, se basan en el Método de Rigidez.

## **1.1 BASES DEL MÉTODO**

El método de la rigidez se basa en los tres principios fundamentales de la Mecánica de Estructuras:

### **1.1.1 *Compatibilidad.***

La deformación es una función continua y tiene un valor único en cada punto. En consecuencia, los movimientos también lo son y, en particular, los movimientos en los extremos de las piezas que concurren en un mismo nudo son idénticos para todas las piezas.

## 1.1.2 Equilibrio

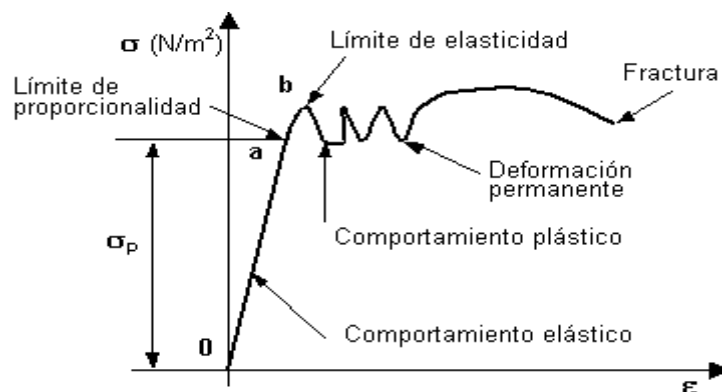
Tanto la estructura globalmente como cada parte de la misma y en particular, cada nudo y pieza de la misma están en equilibrio estático, bajo la acción de las fuerzas exteriores y de los esfuerzos internos.

## 1.1.3 Linealidad y superposición.

### 1.1.3.1 Linealidad

Esta hipótesis supone que la ley del comportamiento del material es lineal. Esto quiere decir que si la carga aplicada sobre el material se multiplica por cierto valor, las tensiones y deformaciones resultantes vendrán multiplicadas por ese mismo valor. El comportamiento de un material puede clasificarse de varias maneras. En primer lugar puede ser, elástico o inelástico; en segundo lugar puede ser lineal o no lineal. Para que se cumpla la hipótesis de linealidad del comportamiento del material, el material debe estar trabajando en la zona lineal. (2).

**Ilustración 1.** Diagrama tensión-deformación de un material.



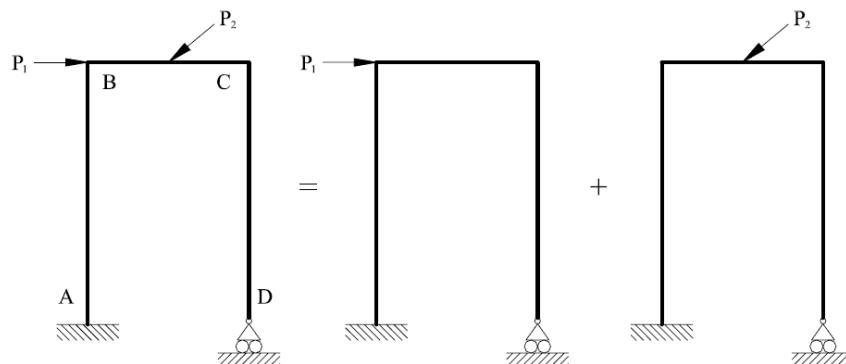
**Fuente:** Tomado de la referencia (3)

### 1.1.3.2 Principio de superposición

El principio de superposición constituye la base de gran parte de la teoría del análisis estructural. Puede enunciarse como sigue: El desplazamiento o esfuerzo total en un punto de una estructura sometida a varias cargas se puede determinar sumando los desplazamientos o esfuerzos que ocasiona cada una de las cargas que actúan por separado. Para que esto sea válido, es necesario que exista una relación lineal entre las cargas, esfuerzos y desplazamientos. (4)

1. El material debe comportarse de manera elástica lineal, a fin de que sea válida la ley de Hooke y la carga sea proporcional al desplazamiento.
2. La geometría de la estructura no debe sufrir cambios importantes cuando se aplican las cargas. Si los desplazamientos son grandes, entonces cambian considerablemente la posición y orientación de las cargas. Un ejemplo es el caso de una columna sometida a una carga de pandeo.

**Ilustración 2.** Principio de superposición



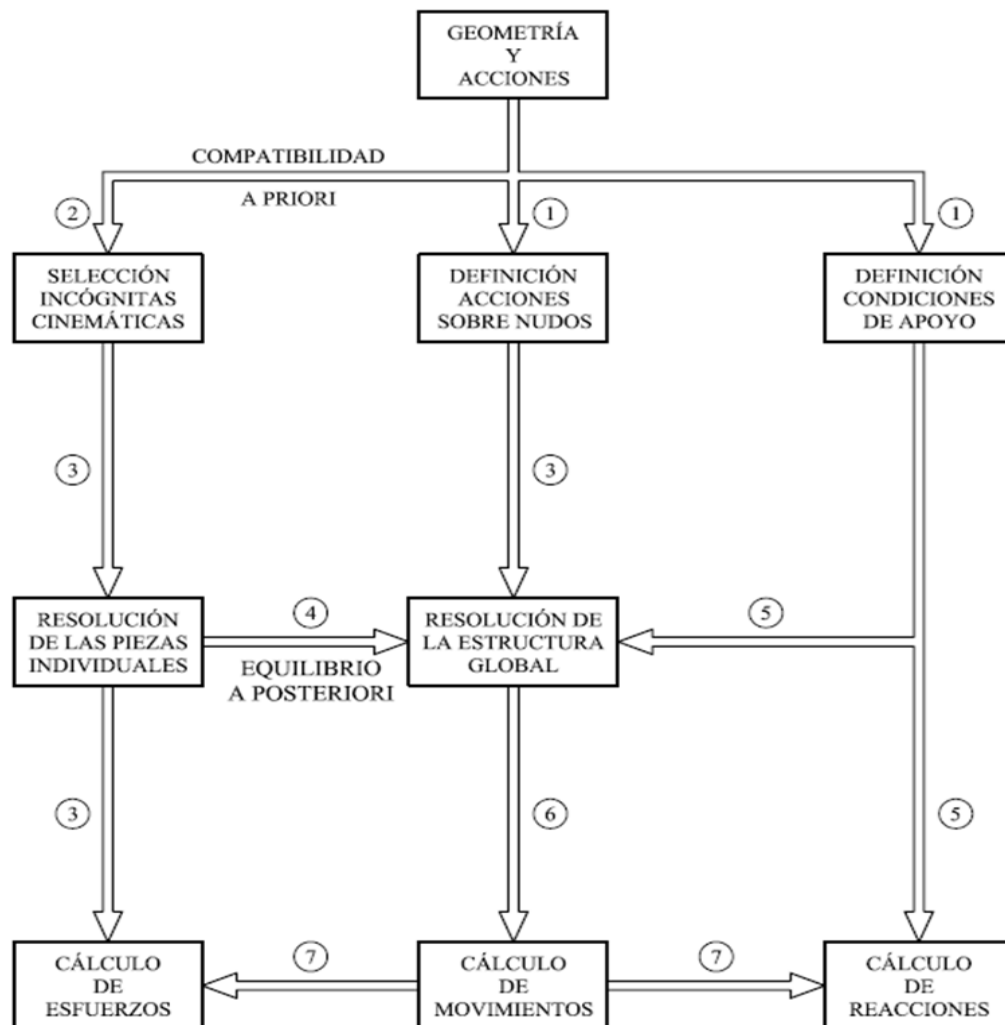
**Fuente:** Tomado de la Referencia (4)



## 1.2 RESOLVER UNA ESTRUCTURA SEGÚN EL MÉTODO DE LA RIGIDEZ

Los pasos para resolver una estructura según el Método de Rigidez. El esquema de resolución se muestra, detallado, en el esquema de la **Ilustración 3**. Como se observa, el proceso secuencial consiste en:

**Ilustración 3.** Método de equilibrio (o rigidez)

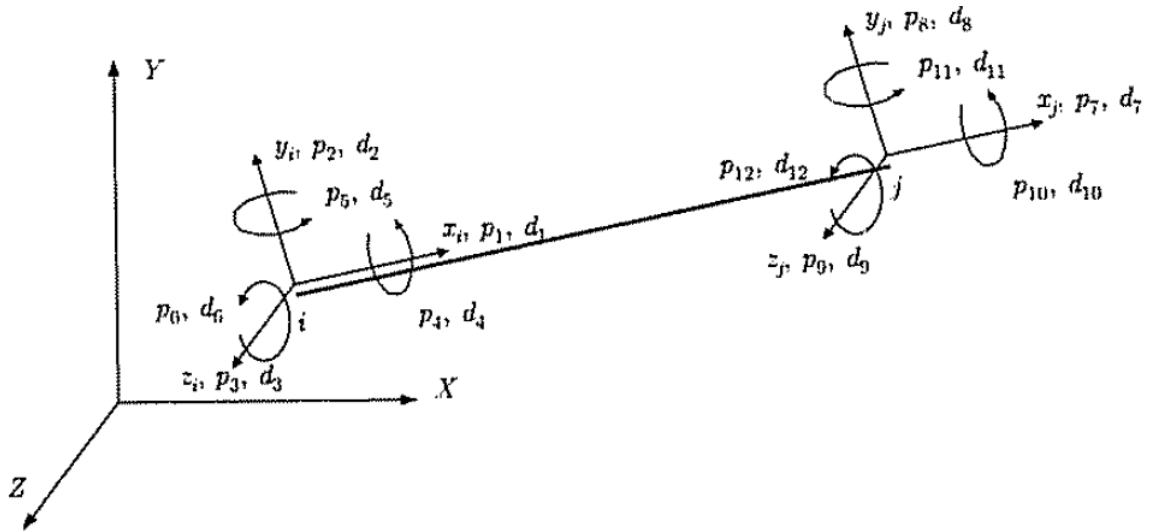


**Fuente:** Tomado de la referencia (1)

1. Definir la geometría de la estructura y las acciones, así como las condiciones de apoyo.
2. Identificar el número de movimientos incógnita que determinan la deformación de la estructura, a base de considerar las correspondientes condiciones de compatibilidad en los nudos.
3. Resolver las piezas individuales, en función de los movimientos de sus extremos, a base de satisfacer las condiciones de equilibrio y compatibilidad en las piezas.
4. imponer las condiciones de equilibrio en los nudos.
5. imponer las condiciones de apoyo de la estructura.
6. determinar los movimientos incógnita, a base de resolver el sistema de ecuaciones resultante.
7. Determinar los esfuerzos y reacciones en la estructura.

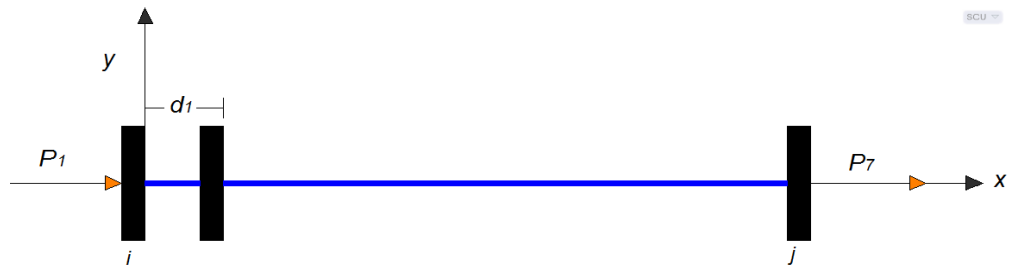
### 1.3 RIGIDECES ELEMENTALES

**Ilustración 4.** Sistemas de coordenadas global y local para elementos espaciales de nudos rígidos.



#### 1.3.1 Rigideces para desplazamientos según el eje x

**Ilustración 5.** Rigidez para desplazamiento según el eje x, en el extremo i.



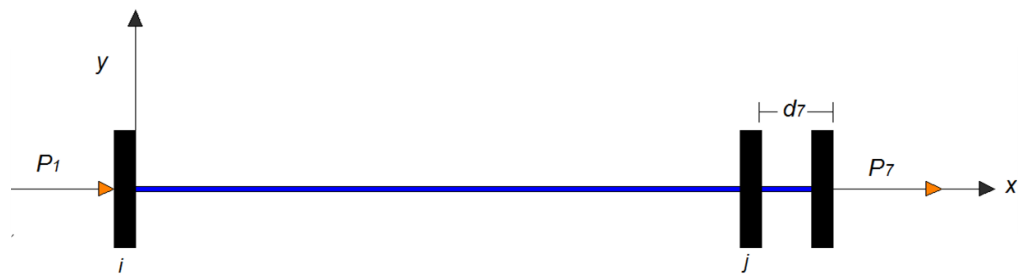
Si le aplicamos un desplazamiento  $d_1$  en el extremo  $i$  el esfuerzo es:

$$P_1 = \frac{EA}{L} d_1 \quad P_7 = -\frac{EA}{L} d_1$$

Y las rigideces correspondientes

$$K_{1.1} = \frac{EA}{L} \quad K_{7.1} = -\frac{EA}{L}$$

**Ilustración 6.** Rigidez para desplazamiento según el eje  $x$ , en el extremo  $j$ .



Si le aplicamos un desplazamiento  $d_7$  en el extremo  $j$  el esfuerzo es:

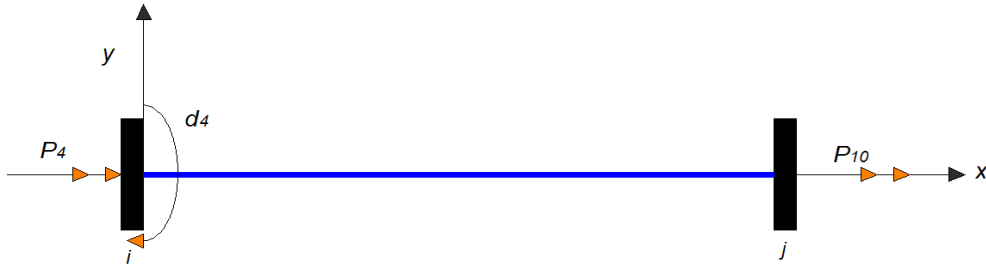
$$P_1 = -\frac{EA}{L} d_7 \quad P_7 = \frac{EA}{L} d_7$$

Y las rigideces correspondientes

$$K_{1.7} = -\frac{EA}{L} \quad K_{7.7} = \frac{EA}{L}$$

### 1.3.2 Rigideces para giros según el eje x

**Ilustración 7.** Rigidez para giro según el eje x, en el extremo i.



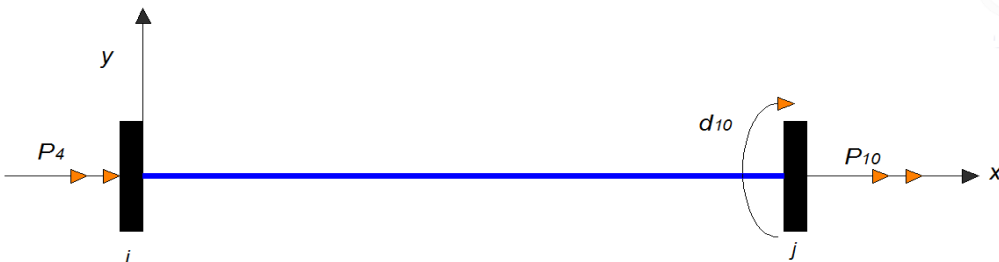
El esfuerzo debido al giro  $d_4$  en el extremo  $i$

$$P_4 = \frac{GJ}{L} d_4 \quad P_{10} = -\frac{GJ}{L} d_4$$

Y la rigideces correspondientes

$$K_{4,4} = \frac{GJ}{L} \quad K_{10,4} = -\frac{GJ}{L}$$

**Ilustración 8.** Rigidez para giro según el eje x, en el extremo j.



El esfuerzo debido al giro  $d_{10}$  en el extremo  $i$

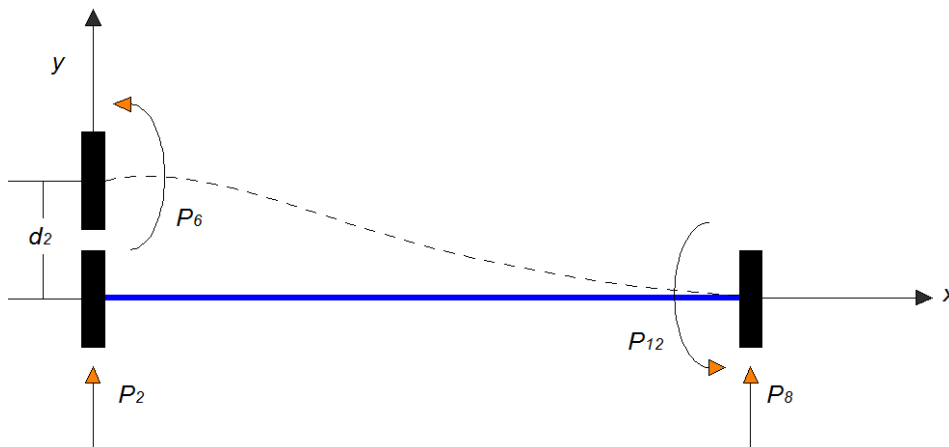
$$P_4 = -\frac{GJ}{L} d_{10} \quad P_{10} = \frac{GJ}{L} d_{10}$$

Y la rigideces correspondientes

$$K_{4.10} = -\frac{GJ}{L} \quad K_{10.10} = \frac{GJ}{L}$$

### 1.3.3 Rigideces para desplazamientos según el eje $y$

**Ilustración 9.** Rigidez para desplazamiento según el eje  $y$ , en el extremo  $i$ .



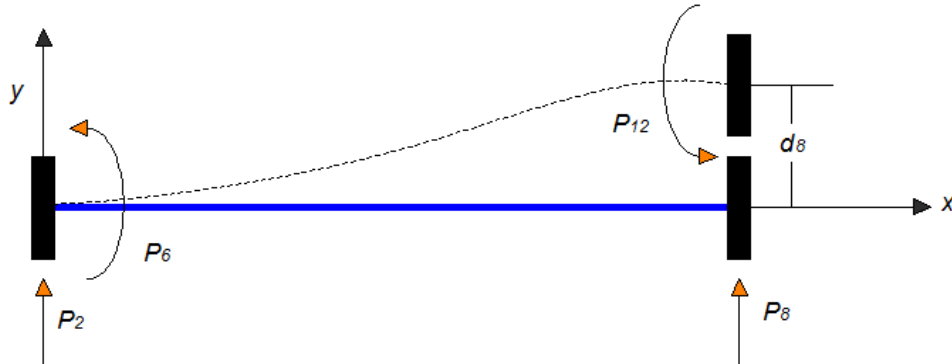
Los esfuerzos correspondientes debido al desplazamiento  $d_2$  en el extremo  $i$  son:

$$P_6 = \frac{6EI_z}{L^2} d_2 \quad P_{12} = \frac{6EI_z}{L^2} d_2 \quad P_2 = \frac{12EI_z}{L^3} d_2 \quad P_8 = -\frac{12EI_z}{L^3} d_2$$

Y las rigideces correspondientes:

$$K_{6.2} = \frac{6EI_z}{L^2} \quad K_{12.2} = \frac{6EI_z}{L^2} \quad K_{2.2} = \frac{12EI_z}{L^3} \quad K_{8.2} = -\frac{12EI_z}{L^3}$$

**Ilustración 10.** Rigidez para desplazamiento según el eje  $y$ , en el extremo  $j$ .



Los esfuerzos correspondientes debido al desplazamiento  $d_8$  en el extremo  $j$  son:

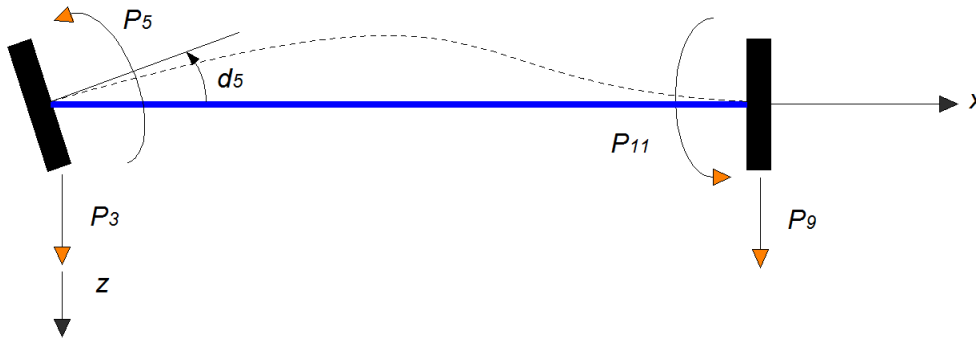
$$P_6 = -\frac{6EI_z}{L^2} d_8 \quad P_{12} = -\frac{6EI_z}{L^2} d_8 \quad P_2 = -\frac{12EI_z}{L^3} d_8 \quad P_8 = \frac{12EI_z}{L^3} d_8$$

Y las rigideces correspondientes:

$$K_{6.8} = -\frac{6EI_z}{L^2} \quad K_{12.8} = -\frac{6EI_z}{L^2} \quad K_{2.8} = -\frac{12EI_z}{L^3} \quad K_{8.8} = \frac{12EI_z}{L^3}$$

### 1.3.4 Rigideces para giros según el eje $y$

Ilustración 11. Rigidez para giro según el eje  $y$ , en el extremo  $i$ .



El esfuerzo debido al giro  $d_5$  en el extremo  $i$

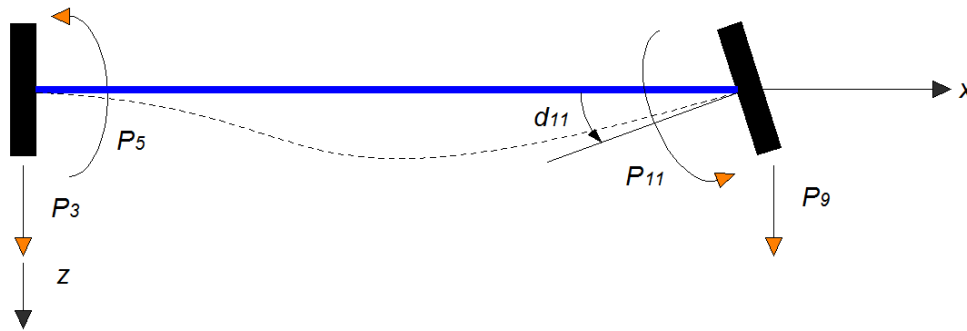
$$P_5 = \frac{4EI_y}{L} d_5 \quad P_{11} = \frac{2EI_y}{L} d_5 \quad P_3 = -\frac{6EI_y}{L^2} d_5 \quad P_9 = \frac{6EI_y}{L^2} d_5$$

Y la rigideces correspondientes

$$K_{5.5} = \frac{4EI_y}{L} \quad K_{11.5} = \frac{2EI_y}{L} \quad K_{3.5} = -\frac{6EI_y}{L^2} \quad K_{9.5} = \frac{6EI_y}{L^2}$$



**Ilustración 12.** Rigidez para giro según el eje  $y$ , en el extremo  $j$ .



El esfuerzo debido al giro  $d_{11}$  en el extremo  $j$

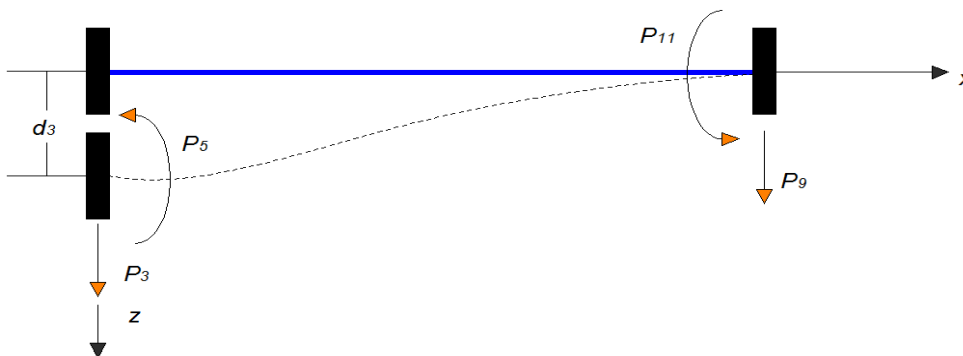
$$P_5 = \frac{2EI_y}{L} d_{11} \quad P_{11} = \frac{4EI_y}{L} d_{11} \quad P_3 = -\frac{6EI_y}{L^2} d_{11} \quad P_9 = \frac{6EI_y}{L^2} d_{11}$$

Y la rigideces correspondientes

$$K_{5,11} = \frac{2EI_y}{L} \quad K_{11,11} = \frac{4EI_y}{L} \quad K_{3,11} = -\frac{6EI_y}{L^2} \quad K_{9,11} = \frac{6EI_y}{L^2}$$

### 1.3.5 Rigideces para desplazamientos según el eje $z$

**Ilustración 13.** Rigidez para desplazamiento según el eje  $z$ , en el extremo  $i$ .



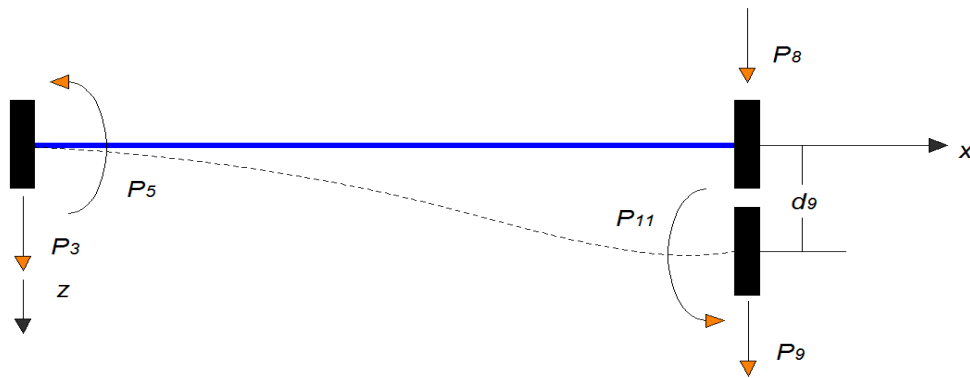
Los esfuerzos correspondientes debido al desplazamiento  $d_3$  en el extremo  $i$  son:

$$P_3 = \frac{12EI_y}{L^3} d_3 \quad P_9 = -\frac{12EI_y}{L^3} d_3 \quad P_5 = -\frac{6EI_y}{L^2} d_3 \quad P_{11} = -\frac{6EI_y}{L^2} d_3$$

Y las rigideces correspondientes:

$$K_{3,3} = \frac{12EI_y}{L^3} \quad K_{9,3} = -\frac{12EI_y}{L^3} \quad K_{5,3} = -\frac{6EI_y}{L^2} \quad K_{11,3} = -\frac{6EI_y}{L^2}$$

**Ilustración 14.** Rigidez para desplazamiento según el eje  $z$ , en el extremo  $j$ .



Los esfuerzos correspondientes debido al desplazamiento  $d_9$  en el extremo  $j$  son:

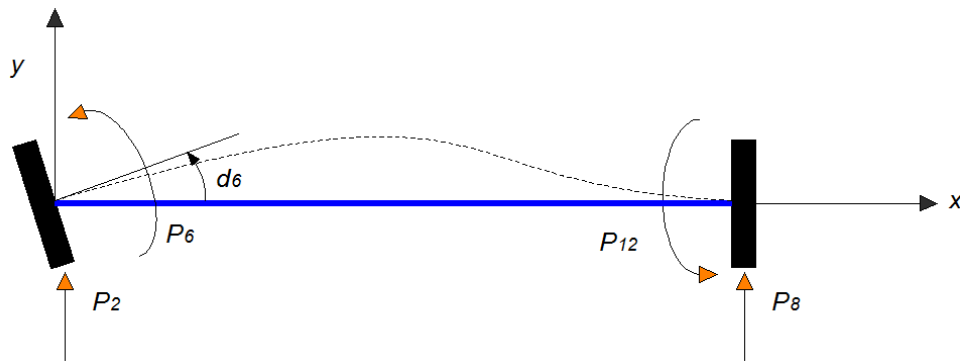
$$P_3 = -\frac{12EI_y}{L^3} d_9 \quad P_9 = \frac{12EI_y}{L^3} d_9 \quad P_5 = \frac{6EI_y}{L^2} d_9 \quad P_{11} = \frac{6EI_y}{L^2} d_9$$

Y las rigideces correspondientes:

$$K_{3,9} = -\frac{12EI_y}{L^3} \quad K_{9,9} = \frac{12EI_y}{L^3} \quad K_{5,9} = \frac{6EI_y}{L^2} \quad K_{11,9} = \frac{6EI_y}{L^2}$$

### 1.3.6 Rigideces para giros según el eje z

**Ilustración 15.** Rigidez para giro según el eje z, en el extremo i.



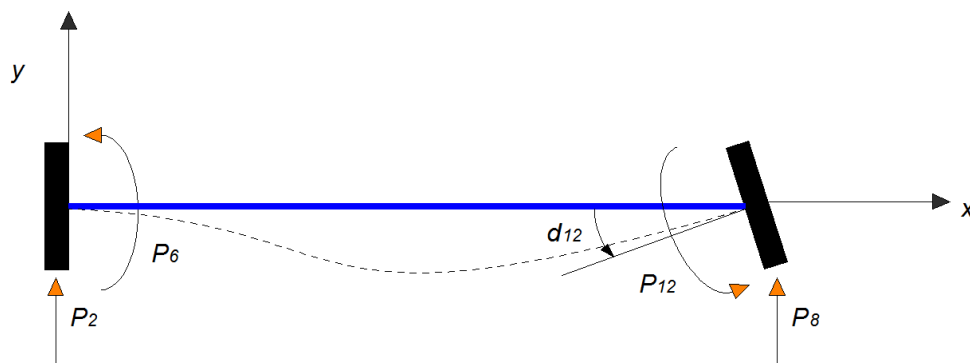
Los esfuerzos correspondientes debido al desplazamiento  $d_6$  en el extremo  $i$  son:

$$P_6 = \frac{4EI_z}{L} d_6 \quad P_{12} = \frac{2EI_z}{L} d_6 \quad P_2 = \frac{6EI_z}{L^2} d_6 \quad P_8 = -\frac{6EI_z}{L^2} d_6$$

Y la rigideces correspondientes

$$K_{6.6} = \frac{4EI_z}{L} \quad K_{12.6} = \frac{2EI_z}{L} \quad K_{2.6} = \frac{6EI_z}{L^2} \quad K_{8.6} = -\frac{6EI_z}{L^2}$$

**Ilustración 16.** Rigidez para giro según el eje z, en el extremo j.



Los esfuerzos correspondientes debido al desplazamiento  $d_{12}$  en el extremo  $j$  son:

$$P_6 = \frac{4EI_z}{L} d_6 \quad P_{12} = \frac{2EI_z}{L} d_6 \quad P_2 = \frac{6EI_z}{L^2} d_6 \quad P_8 = -\frac{6EI_z}{L^2} d_6$$

Y la rigideces correspondientes

$$K_{6.6} = \frac{4EI_z}{L} \quad K_{12.6} = \frac{2EI_z}{L} \quad K_{2.6} = \frac{6EI_z}{L^2} \quad K_{8.6} = -\frac{6EI_z}{L^2}$$

#### 1.4 MATRIZ DE RIGIDEZ ELEMENTAL

La matriz de rigidez de un elemento cuyo sistema de coordenadas coincide con los ejes principales de inercia de la sección.

$$\bar{K} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix}$$

Donde,

$$K_{11} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

$$K_{12} = \begin{bmatrix} -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

$$K_{21} = \begin{bmatrix} -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

$$K_{22} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

Ensamblando, obtenemos la matriz de rigidez de un elemento de pórtico espacial en coordenadas locales.

$$\bar{\mathbf{K}} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

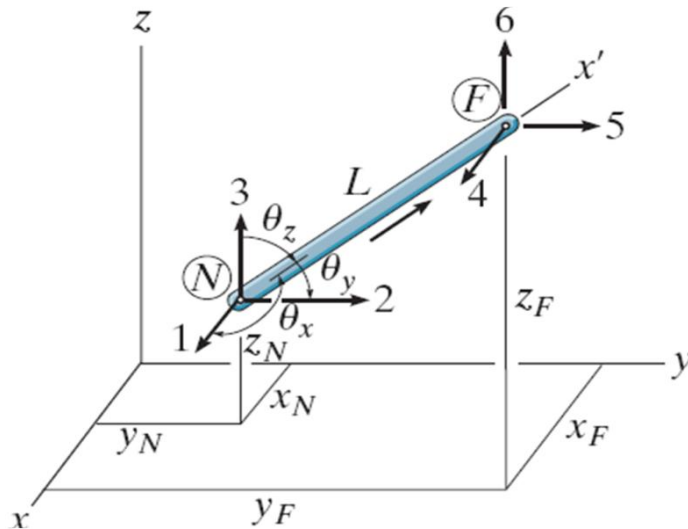
## 1.5 SISTEMAS DE COORDENADAS

Tanto para la estructura como para los elementos se utilizan sistemas de coordenadas ortogonales, cartesianas y de mano derecha. Por lo cual es importante distinguir entre el sistema de coordenadas globales o de la estructura y el sistema de coordenadas locales o del elemento.

### 1.5.1 SISTEMA GLOBAL O DE LA ESTRUCTURA

Puesto que en el proceso de discretización de la estructura se supone que está formada por un conjunto de nodos y elementos, y que también los grados de libertad de la estructura esta asociados a los nodos de la misma, es preciso definir un sistema que permita definir, de forma única para toda la estructura, los desplazamientos y fuerzas en los nodos.

**Ilustración 17.** Sistema global de un elemento en el espacio



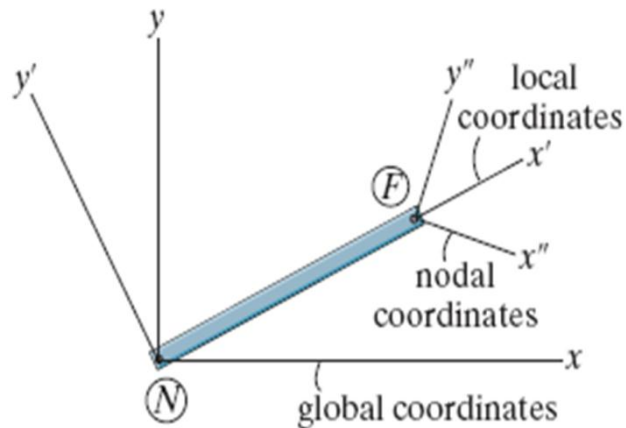
**Fuente:** Tomado de la referencia (5)



### 1.5.2 SISTEMA LOCAL O DEL ELEMENTO

Todas las propiedades de los elementos, como las dimensiones y al igual que las cargas aplicada sobre los mismos y las fuerzas internas a que se ven sometidos, deben referirse al sistema partículas de coordenadas de cada uno de ellos, que es definido por el usuario al asignarle una orientación al elemento, es decir, al indicar cuál es el nudo inicial y cual el final. Se supone que el sentido positivo del eje X local, va del nudo inicial al nudo final.

**Ilustración 18.** Sistema local de un elemento en el espacio



**Fuente:** Tomado de la referencia (5)

### 1.6 MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN

La matriz de transformación de coordenadas  $T$  sirve para determinar la matriz de rigidez de un elemento en coordenadas globales a partir de la matriz de rigidez de un elemento en coordenadas locales. En general se puede determinar la matriz de rigidez de un elemento en un sistema de coordenadas a partir de otro conocido.

### 1.6.1 TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS

El sistema de coordenadas local de un elemento se forma del siguiente modo:

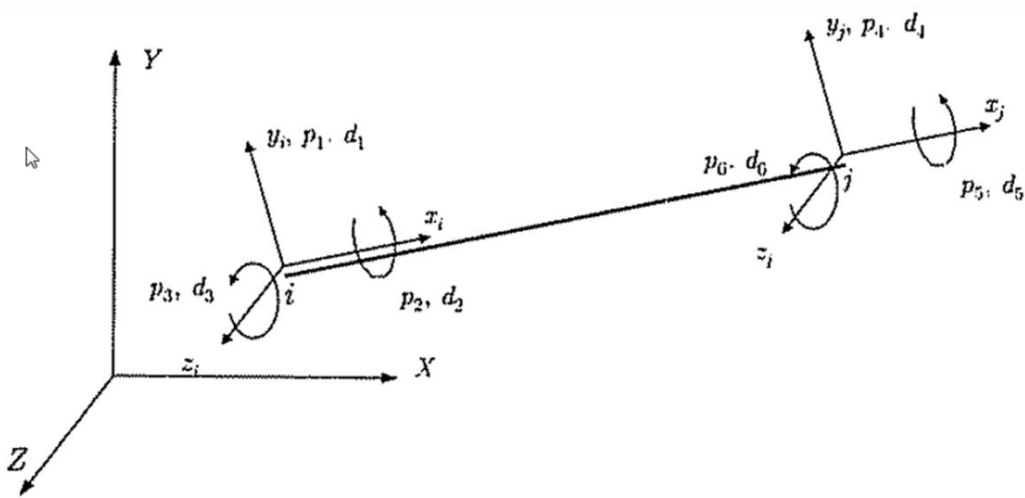
- El eje  $x$  tiene la dirección del elemento y su sentido positivo va del nudo inicial ( $i$ ) al nudo final ( $j$ ). Los coseno directores del eje  $x$  en el sistema de coordenadas global son:

$$l_x = \frac{x_j - x_i}{l_{ij}} \quad m_x = \frac{y_j - y_i}{l_{ij}} \quad n_x = \frac{z_j - z_i}{l_{ij}}$$

- El eje  $y$  se adopta perpendicular a los ejes  $x$  y  $Z$ , de manera que coincida con el producto vectorial de  $Z$  por  $x$ .

$$y' = Z \wedge x = \begin{bmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & 1 \\ l_x & m_x & n_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -m_x \\ l_x \\ 0 \end{bmatrix}$$

**Ilustración 19.** Sistemas de coordenadas global y local



Para que el vector sea unitario hay que dividir por el módulo.

$$y = \frac{y'}{|y'|} = \begin{bmatrix} -m_x/D \\ l_x/D \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_y \\ l_y \\ n_y \end{bmatrix}$$

Siendo  $D = (l_x + m_x)^{1/2}$

Puesto que el sistema de coordenadas debe ser ortogonal y dextrógiro el eje local z se determina con la condición de ortogonalidad.

$$z = x \wedge y = \begin{bmatrix} i & j & k \\ l_x & m_x & n_x \\ l_y & m_y & n_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_x n_x / D \\ -m_x n_x / D \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_z \\ m_z \\ n_z \end{bmatrix}$$

Puesto que en se han obtenido los cosenos directores de los ejes del sistema local respecto del global; así pues, la matriz de transformación que pasa del sistema local al global, es:

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x \\ l_y & m_y & n_y \\ l_z & m_z & n_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x \\ -m_x/D & l_x/D & 0 \\ -l_x n_x/D & -m_x n_x/D & D \end{bmatrix}$$

Es posible que el eje local x sea paralelo al eje global Z; en este caso, la definición anterior resulta incierta y es más conveniente seleccionar el eje y local paralelo al eje Y global. En este caso la matriz de transformación adopta una u otra de las siguientes formas:

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17.6)$$

Según que el sentido del eje x sea el mismo o el contrario del eje Z.

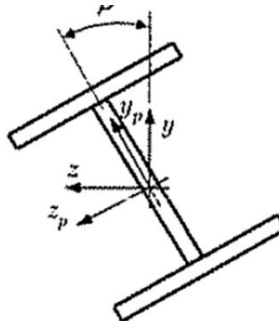
Puesto que los vectores en ambos sistemas tienen seis componentes, la matriz de transformación deberá de ser de 6x6. Así mismo, puesto que los grados de libertad corresponden de manera única con los desplazamientos, la matriz de transformación para momentos y giros será la misma que la de transformación de fuerzas y desplazamientos. Así, pues de acuerdo con el orden de los vectores de fuerzas y desplazamientos, la matriz de transformación completa será

$$T = \begin{bmatrix} T_{ij} & 0 \\ 0 & T_{ij} \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x & 0 & 0 & 0 \\ -m_x/D & l_x/D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -l_x n_x/D & -m_x n_x/D & D & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l_x & m_x & n_x \\ 0 & 0 & 0 & -m_x/D & l_x/D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -l_x n_x/D & -m_x n_x/D & D \end{bmatrix}$$

En el caso más general el eje  $y$  local no coincidirá con el eje principal de inercia  $y_p$ . El giro  $\beta$  entre ambos ejes se observa en la figura siguiente:

**Ilustración 20.** Sistemas de coordenadas local y principal de inercia.



La matriz  $T_{ij}$  que pasa del sistema de ejes principales de la sección al sistema local, tiene como componentes los cosenos directores de los ejes principales de inercia respecto del sistema local, entonces esta matriz será:

$$T_{il} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \cos(90 - \beta) \\ 0 & \cos(90 + \beta) & \cos \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \text{sen } \beta \\ 0 & -\text{sen } \beta & \cos \beta \end{bmatrix}$$

De la misma forma que con la matriz de transformación del sistema local al global, la matriz completa que pasa del sistema de ejes principales de inercia a los ejes locales, tiene la forma.

$$T = \begin{bmatrix} T_{il} & 0 \\ 0 & T_{il} \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \text{sen } \beta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\text{sen } \beta & \cos \beta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \beta & \text{sen } \beta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{sen } \beta & \cos \beta \end{bmatrix}$$

## 1.7 MATRIZ DE RIGIDEZ ELEMENTAL EN EL SISTEMA GLOBAL

Para determinar la matriz de rigidez global procedemos a multiplicar la transpuesta de la matriz de transformación por la matriz de rigidez local y por la matriz de transformación, pero al haber seis deformaciones, y la rotación de las mismas al sistema global requiere emplear dos veces la matriz de transformación.

$$\mathbf{K} = [\mathbf{T}]^T [\bar{\mathbf{K}}] [\mathbf{T}]$$

Donde,

$[\mathbf{T}]^T$ : Transpuesta matriz de transformacion.

$[\bar{\mathbf{K}}]$ : Matriz de rigidez elemental en el sistema local.

$[\mathbf{T}]$ : Matriz de transformacion..

$$\mathbf{T}^T = \begin{bmatrix}
l_x & \frac{-m_x}{D} & \frac{-l_x n_x}{D} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
m_x & \frac{l_x}{D} & \frac{-m_x n_x}{D} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
n_x & 0 & D & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & l_x & \frac{-m_x}{D} & \frac{-l_x n_x}{D} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & m_x & \frac{l_x}{D} & \frac{-m_x n_x}{D} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & n_x & 0 & D & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_x & \frac{-m_x}{D} & \frac{-l_x n_x}{D} & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_x & \frac{l_x}{D} & \frac{-m_x n_x}{D} & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & n_x & 0 & D & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_x & \frac{-m_x}{D} & \frac{-l_x n_x}{D} \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_x & \frac{l_x}{D} & \frac{-m_x n_x}{D} \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & n_x & 0 & D
\end{bmatrix}$$



$$\bar{\mathbf{K}} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix}
l_x & m_x & n_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
\frac{-m_x}{D} & \frac{l_x}{D} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
\frac{-l_x n_x}{D} & \frac{-m_x n_x}{D} & D & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & l_x & m_x & n_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & \frac{-m_x}{D} & \frac{l_x}{D} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & \frac{-l_x n_x}{D} & \frac{-m_x n_x}{D} & D & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_x & m_x & n_x & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-m_x}{D} & \frac{l_x}{D} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-l_x n_x}{D} & \frac{-m_x n_x}{D} & D & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_x & m_x & n_x \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-m_x}{D} & \frac{l_x}{D} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-l_x n_x}{D} & \frac{-m_x n_x}{D} & D
\end{bmatrix}$$

## 1.8 FACTORIZACIÓN DE CHOLESKY

La factorización de Cholesky consiste en descomponer una matriz simétrica definida positiva como el producto de una matriz triangular inferior ( $T$ ) por su transpuesta ( $T^T$ ).

Es decir:

$$A = TT^T$$

Esta descomposición fue desarrollada por André Louis Cholesky (1875-1918), comandante del ejército francés de la época, durante la ocupación internacional de Creta entre 1906 y 1909. La utilizó por primera vez en unos trabajos sobre estudios geodésicos para calcular la solución de problemas de ajustes por mínimos cuadrados. (6)

La descomposición de Cholesky es muy aplicada en programas estructurales que aplican el método de los elementos finitos, dado que la matriz de coeficientes es una matriz simétrica y definida positiva. **BABEL 2.0** utiliza esta descomposición por ser fácil de implementar y por consumir menos recursos que algunos de los métodos tradicionales. Posteriormente compararemos la descomposición de Cholesky con otros métodos de solución de sistemas de ecuaciones.

### 1.8.1 DESARROLLO DEL MÉTODO

Anteriormente se definió que la descomposición de Cholesky estaba definida como:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{1n} & a_{2n} & a_{3n} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ t_{12} & t_{22} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ t_{13} & t_{23} & t_{33} & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ t_{1n} & t_{2n} & t_{3n} & \cdot & \cdot & \cdot & t_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & \cdot & \cdot & \cdot & t_{1n} \\ 0 & t_{22} & t_{23} & \cdot & \cdot & \cdot & t_{2n} \\ 0 & 0 & t_{33} & \cdot & \cdot & \cdot & t_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & t_{nn} \end{bmatrix}$$

Para determinar el valor de cada coeficiente que integra la matriz triangular inferior, utilizamos los siguientes cálculos:

1.  $t_{11} = \sqrt{a_{11}}$
2.  $t_{1j} = \frac{a_{1j}}{t_{11}} = \frac{a_{1j}}{\sqrt{a_{11}}}; j = 1, \dots, n.$
3.  $t_{ii} = (a_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki}^2)^{1/2}; i = 2, \dots, n - 1.$
4.  $t_{ij} = \frac{1}{t_{ii}} [a_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki} t_{kj}]; j > i, i = 2, \dots, n - 1.$
5.  $t_{ij} = 0; j < i, i = 2, \dots, n.$

Siguiendo el esquema anterior, podemos determinar la descomposición de Cholesky para la matriz simétrica positiva definida.

$$A = \begin{bmatrix} 16 & -12 & 8 & -16 \\ -12 & 18 & -6 & 9 \\ 8 & -6 & 5 & -10 \\ -16 & 9 & -10 & 46 \end{bmatrix}$$

Resolviendo con los cálculos anteriormente vistos tenemos que:

1.  $t_{11} = \sqrt{a_{11}} = \sqrt{16} = 4$
2.  $t_{12} = \frac{a_{12}}{t_{11}} = \frac{-12}{4} = -3$
3.  $t_{13} = \frac{a_{13}}{t_{11}} = \frac{8}{4} = 2$
4.  $t_{14} = \frac{a_{14}}{t_{11}} = \frac{-16}{4} = -4$
5.  $t_{22} = (a_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki}^2)^{1/2} = \sqrt{18 - (-3)^2} = 3$
6.  $t_{23} = \frac{1}{t_{ii}} [a_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki} t_{kj}] = \frac{-6 - (-3)(2)}{3} = 0$
7.  $t_{24} = \frac{1}{t_{ii}} [a_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki} t_{kj}] = \frac{9 - (-3)(-4)}{3} = -1$
8.  $t_{33} = (a_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki}^2)^{1/2} = \sqrt{5 - (2^2 + 0^2)} = 1$
9.  $t_{34} = \frac{1}{t_{ii}} [a_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki} t_{kj}] = \frac{-10 - (2(-4) + 0(-1))}{1} = -2$
10.  $t_{44} = (a_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki}^2)^{1/2} = \sqrt{46 - ((-4)^2 + (-1)^2 + (-2)^2)} = 5$

Entonces,

$$T = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 0 \\ -4 & -1 & -2 & 5 \end{bmatrix}$$

Es la matriz triangular inferior tal que  $A = TT^T$

### 1.8.2 SOLUCIÓN DE UN SISTEMA DE ECUACIONES

Para resolver un sistema de ecuaciones del tipo  $Ax=b$  utilizando la descomposición de Cholesky, partimos de que:

$$A = TT^T$$

Dónde:

$T =$  Matriz triangular inferior.

$T^T =$  Traspuesta matriz triangular inferior.

Una vez hallada la matriz y su traspuesta, remplazamos el valor de  $A$  en  $Ax = b$ .  
Encontrando que:

$$TT^T x = y$$

Para resolver este sistema, primero se resuelve  $Tc = b$  y luego  $T^T x = c$ , con lo que se puede determinar la solución del sistema  $Ax = b$ .

### 1.8.3 EJEMPLO 1

Sistemas de ecuaciones lineales mediante el método de Cholesky

$$\begin{bmatrix} 4 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 4 \end{bmatrix}$$

Descomponemos la matriz  $A$  en  $A = TT^T$

$$A = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & 0 & 0 \\ t_{12} & t_{22} & 0 \\ t_{13} & t_{23} & t_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ 0 & t_{22} & t_{23} \\ 0 & 0 & t_{33} \end{bmatrix}$$

Para determinar los valores de los coeficientes que conforman la matriz triangular inferior utilizamos las ecuaciones definidas anteriormente, con las que determinamos:

$$t_{11} = \sqrt{a_{11}} = \sqrt{4} = 2$$

$$t_{12} = \frac{a_{12}}{t_{11}} = \frac{1}{2}$$

$$t_{22} = \sqrt{2 - \left(\frac{1}{2}\right)^2} = 1.3229$$

$$t_{13} = \frac{a_{13}}{t_{11}} = \frac{2}{2} = 1$$

$$t_{23} = \frac{0 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 (1)}{1.3229} = -0.3780$$

$$t_{33} = \sqrt{5 - (1^2 + (-0.3780)^2)} = 1.9640$$

Ensamblando la matriz  $T$  encontramos:

$$T = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1.3229 & 0 \\ 1 & -0.3780 & 1.9640 \end{bmatrix}$$

Teniendo la matriz  $T$  podemos encontrar su transpuesta:

$$T^T = \begin{bmatrix} 2 & 1/2 & 1 \\ 0 & 1.3229 & -0.3780 \\ 0 & 0 & 1.9640 \end{bmatrix}$$

Luego resolvemos el sistema  $Tc = b$

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1.3229 & 0 \\ 1 & -0.3780 & 1.9640 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 4 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} 2c_1 &= 1 & c_1 &= \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}c_1 + 1.3229c_2 &= 2 & c_2 &= 1.3229 \\ c_1 - 0.3780c_2 + 1.9640c_3 &= 4 & c_3 &= 2.0367 \end{aligned}$$

Posteriormente resolvemos el sistema  $T^T x = c$

$$= \begin{bmatrix} 2 & 1/2 & 1 \\ 0 & 1.3229 & -0.3780 \\ 0 & 0 & 1.9640 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 1.3229 \\ 2.0367 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} 1.9640x_3 &= 2.0367 & x_3 &= 1.037 \\ 1.3229x_2 - 0.3780x_3 &= 1.3229 & x_2 &= 1.2963 \\ 2x_1 + 0.5x_2 + x_3 &= 0.5 & x_1 &= -0.5926 \end{aligned}$$

Y llegamos a la solución del sistema de ecuaciones planteado,

$$\begin{bmatrix} 4 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 4 \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} -0.5926 \\ 1.2963 \\ 1.037 \end{bmatrix}$$



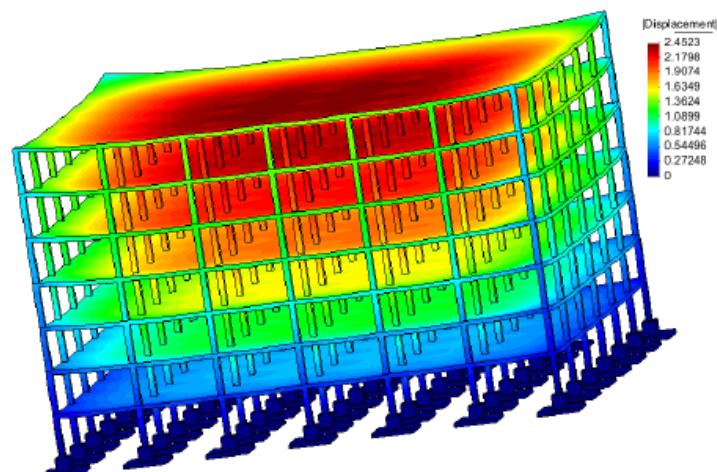
#### 1.8.4 ESCOGENCIA DESCOMPOSICIÓN DE CHOLESKY

La descomposición de Cholesky es un método fácil de implementar y que consume menos recursos que algunos de los métodos tradicionales.

En una prueba que llevo a cabo por (7) se utilizaron varios métodos de solución de ecuaciones para resolver una estructura compleja. La estructura (**Ilustración 21**) fue dividida en 264,250 elementos y 326,228 nodos. El tamaño de la matriz de rigidez es 978,684. Se resolvió el problema variando el número de procesadores usados. Como comparación, los resultados obtenidos usando el método del gradiente conjugado en paralelo para resolver el problema. El método del gradiente conjugado fue usado con y sin pre condicionamiento, el preconditionador usado es Jacobi. La tolerancia en la norma del gradiente usado para solvers iterativos es  $1 \times 10^{-5}$ . En las siguientes tablas, los valores entre paréntesis representan el número de procesadores usados en paralelo.

La comparación del tiempo de solución utilizando diferentes solvers y numero de procesadores en paralelo es mostrado en la **Ilustración 22**.

**Ilustración 21.** Ejemplo numérico de la deformación de una estructura.

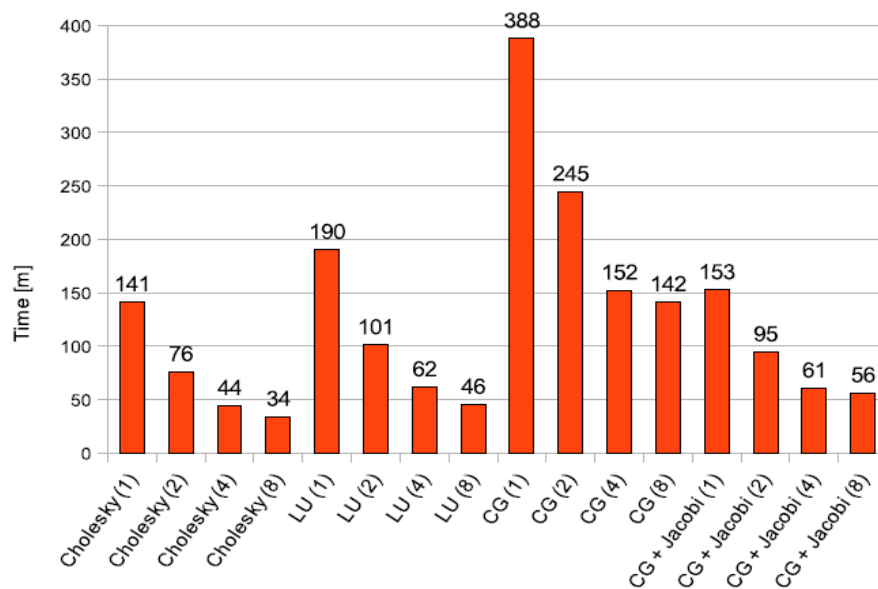


**Fuente:** Tomado de la referencia (7)

**Datos del problema:**

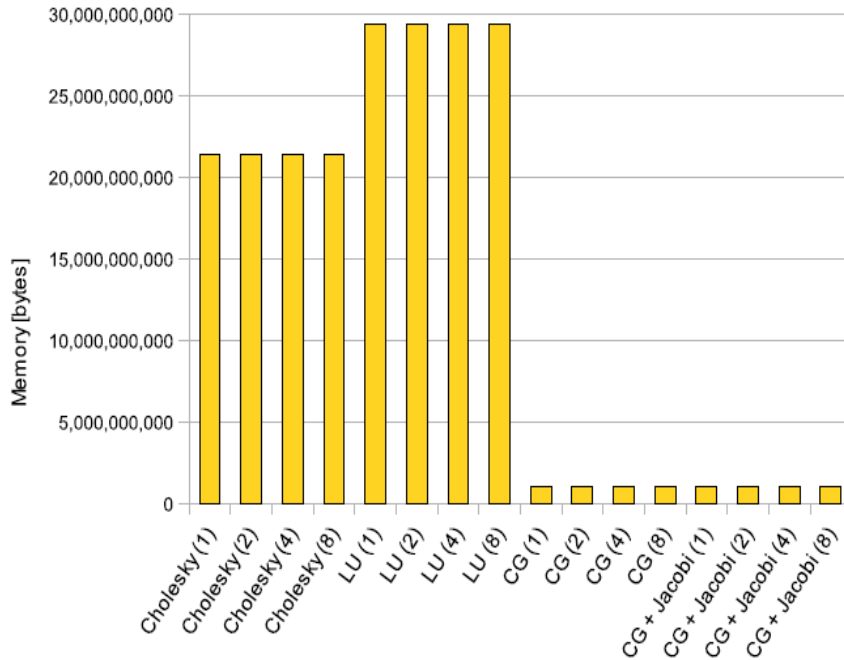
Problem	Building
Dimension	3
Elements	264,250
Element type	Linear Hexaedra
Nodes	326,228
Equations	978,684
$\eta(A)$	69,255,522
$\eta(L)$	787,567,656

**Ilustración 22.** Comparación de los tiempos de solución de diferentes los solvers.



Fuente: Tomado de la referencia (7)

**Ilustración 23.** Comparación de la capacidad de memoria usada por los diferentes solvers paralelos.



Fuente: Tomado de la referencia (7)

En las imágenes anteriores se puede ver que la descomposición de Cholesky tarda menos tiempo en solucionar el problema que los otros métodos, pero es menos eficiente en términos de consumo de memoria. Cabe aclarar que el problema presenta una gran cantidad de variables que pueden generar que la descomposición de Cholesky parezca un método poco eficaz, pero debido a que **BABEL 2.0** trabaja con un número de variables más reducido, el tiempo de resolución del sistema será mucho menor y habrá un consumo de memoria que no alterara el rendimiento normal del equipo.

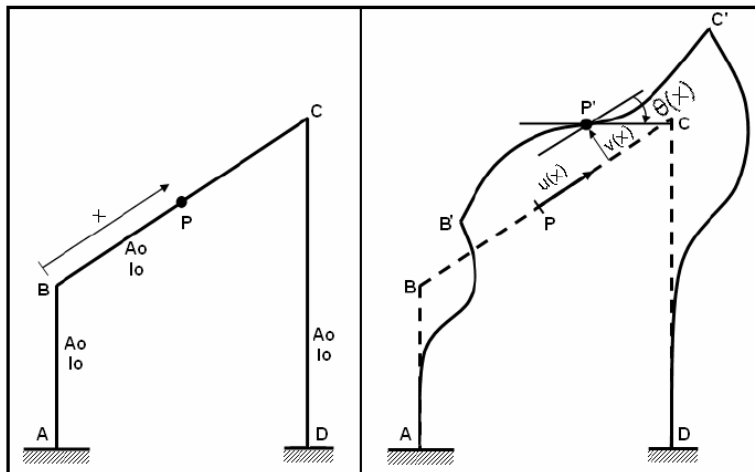
## 1.9 FACTORES DE INTERPOLACIÓN O DE FORMA

Para la elaboración de la elástica se requiere un conjunto de funciones mediante las cuales se interpolen las deformaciones (desplazamientos y giros) en los extremos de los elementos generando una representación real del comportamiento del elemento sometido a carga.

### 1.9.1 ORDENADAS DE LA ELÁSTICA

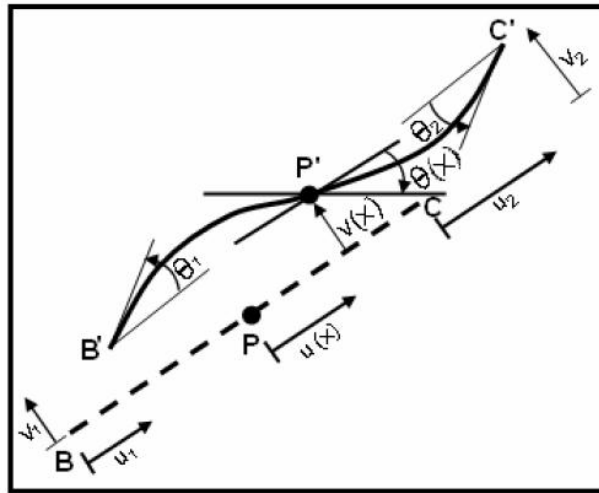
Dado un pórtico dado cualquiera, como el mostrado en la **Ilustración 24**. En el elemento inclinado BC se tiene un punto interior P. Ahora al actuar cualquier tipo de cargas sobre las estructura esta se deforma como lo ilustra la figura de la derecha mostrada en la **Ilustración 24**, el punto P pasa a P'. Se desea encontrar las ordenadas de la elástica  $u(x)$ ,  $v(x)$  y  $\theta(x)$  para el punto P. Siendo:

- $u(x)$  Componente de desplazamiento axial del punto P.
- $v(x)$  Componente de desplazamiento transversal del punto P.
- $\theta(x)$  Rotación del Punto P.



**Ilustración 24.** Pórtico cualquiera y Ordenadas de la elástica del punto P.

Para comprender el cálculo de las ordenadas de la elástica se aísla ala elemento BC y se dibujan las coordenadas del elemento miembro como lo indica la Ilustración 25.



**Ilustración 25.** Coordenadas de miembro y ordenadas de la elástica

**1.9.2 FUNCIONES DE FORMA PARA MIEMBROS LINEALES TOTALMENTE FLEXIBLES DE SECCIÓN CONSTANTE**

$$\varphi_1(x) = 1 - \frac{X}{L}$$

$$\varphi_2(x) = 1 - 3\frac{X^2}{L^2} + 2\frac{X^3}{L^3}$$

$$\varphi_3(x) = X\left(1 - \frac{X}{L}\right)^2$$

$$\varphi_4(x) = \frac{X}{L}$$

$$\varphi_5(x) = \frac{X^2}{L^2} \left( 3 - 2 \frac{X}{L} \right)$$

$$\varphi_6(x) = -\frac{X^2}{L} \left( 1 - \frac{X}{L} \right)$$

### **1.9.2.1 Relaciones fundamentales**

$$\varphi_1(x) + \varphi_4(x) = 1$$

$$\varphi_2(x) + \varphi_5(x) = 1$$

$$\varphi_3(x) + L\varphi_5(x) + \varphi_6(x) = 1$$

### **1.9.2.2 Expresiones de la elástica**

$$u(x) = u_1\varphi_1(x) + u_2\varphi_4(x)$$

$$v(x) = v_1\varphi_2(x) + \theta_1\varphi_3(x) + v_2\varphi_5(x) + \theta_2\varphi_6(x)$$

$$w(x) = w_1\varphi_2(x) + \theta_1\varphi_3(x) + w_2\varphi_5(x) + \theta_2\varphi_6(x)$$

### **1.9.3 FUNCIONES DE FORMA PARA MIEMBROS AXIALMENTE RÍGIDOS**

Si un es miembro axialmente rígido  $A = \alpha$ , significa que,  $u_1 = u_2$ , en consecuencia no e existen  $\varphi_1(x)$  y  $\varphi_4(x)$ , quedando de la siguiente manera las expresiones de la elástica:

$$u(x) = u_1 = u_2$$

$$v(x) = v_1\varphi_2(x) + \theta_1\varphi_3(x) + v_2\varphi_5(x) + \theta_2\varphi_6(x)$$

$$w(x) = w_1\varphi_2(x) + \theta_1\varphi_3(x) + w_2\varphi_5(x) + \theta_2\varphi_6(x)$$

#### **1.9.4 FUNCIONES DE FORMA PARA MIEMBROS TRANSVERSALMENTE RÍGIDOS**

El miembro no trabaja a flexión  $I = \alpha$ , solo se deforma axialmente. Por consiguiente, las expresiones de la elástica son:

$$u(x) = u_1\varphi_1(x) + u_2\varphi_4(x)$$

$$v(x) = v_1 + \theta_1 X$$

Por lo tanto, cuando el miembro es transversalmente rígido, no es necesario calcular  $\varphi_2(x)$ ,  $\varphi_3(x)$ ,  $\varphi_5(x)$  y  $\varphi_6(x)$ .

## **CAPITULO II**

# **PROGRAMAS COMERCIALES**



## **2 PROGRAMAS COMERCIALES PARA EL CÁLCULO Y ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS.**

Se han desarrollado diversos programas de análisis y diseño de estructuras que permiten analizar y diseñar estructuras mediante modelos apropiados que asemejen las condiciones de análisis a las condiciones reales. Las principales características de estos programas dependen de los métodos utilizados para el análisis, visualización y la presentación de resultados.

Actualmente los programas comerciales de mayor importancia son los que se tratarán a continuación:

### **2.1 SAP2000**

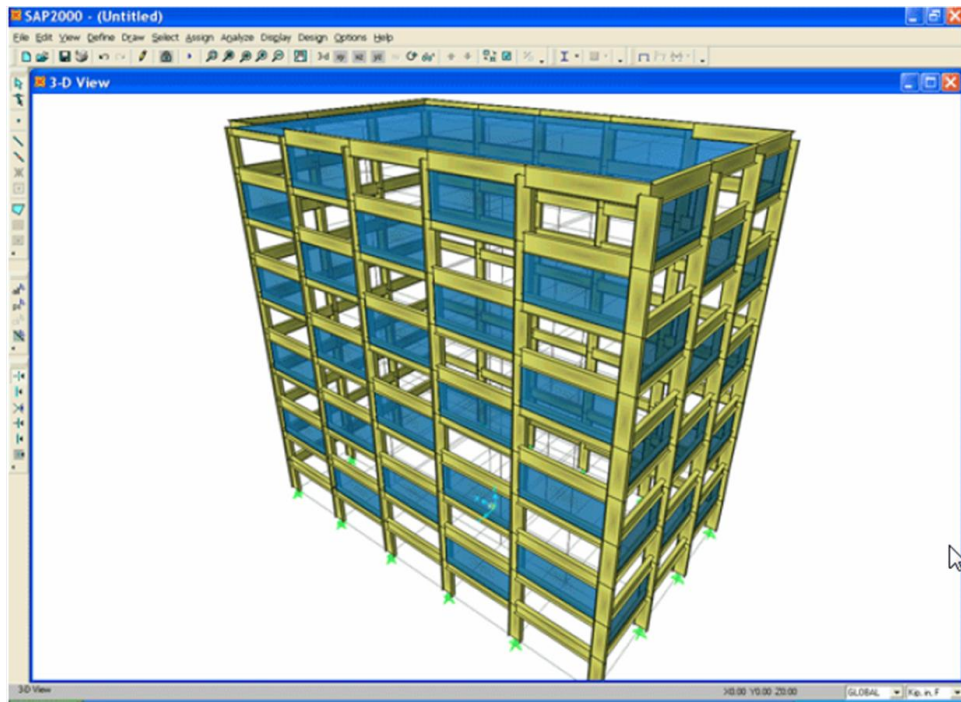
(8).El programa SAP2000 es uno del software líder en la ingeniería estructural. Se pueden analizar cualquier tipo de estructuras con este programa, e incluso diseñar elemento por elemento de manera precisa con los reglamentos más conocidos (ACI En EU, RCDF en México, EUROCODIGO en Europa, etc.).

Se trata de un excelente programa de cálculo estructural en tres dimensiones mediante elementos finitos. Es el descendiente directo de la familia SAP90, muy conocida hace algunos años.

Mediante SAP2000 es posible modelar complejas geometrías, definir diversos estados de carga, generar pesos propios automáticamente, asignar secciones, materiales, así como realizar cálculos estructurales de hormigón y acero basados, entre otras normativas, en los Euro códigos vigentes.

Otra característica propia de SAP2000 que no tienen otros programas de elementos finitos avanzados como ADINA o ABAQUS es la capacidad para diseñar secciones. Para ello dispone de varias normas, entre ellas los EUROCÓDIGOS.

**Ilustración 26.** Modelo de un edificio en SAP 2000.



**Fuente:** Tomado de la referencia (9)

### **2.1.1 Principales Beneficios**

- Interfaz sumamente amigable en el ambiente de Windows.
- Poderosas herramientas para la creación de los modelos.
- Códigos de diseño de USA y otros códigos internacionales.

### **2.1.2 Opciones de modelaje**

SAP2000 provee amplias y poderosas capacidades de modelaje para una amplia gama de estructuras, incluyendo:

- Puentes.
- Represas.
- Tanques.
- Edificios.
- Otros.

La poderosa interfaz gráfica en el ambiente de Windows permite la creación de modelos en forma rápida y precisa, ya sea a partir de un gráfico de un programa de dibujo CAD, mediante el uso de las herramientas de dibujo del programa o utilizando las plantillas paramétricas disponibles.

La creación del modelo, la ejecución de los análisis, la revisión de los resultados y la optimización de los diseños se realizan en forma totalmente interactiva dentro de la misma interfaz.

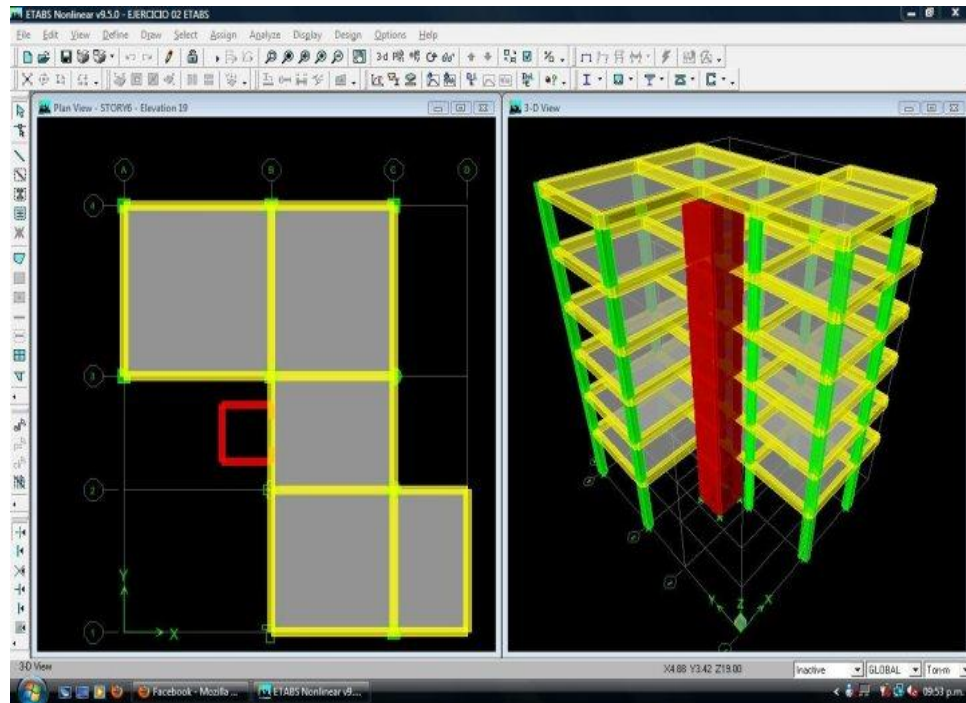
## **2.2 ETABS**

(10).El programa ETABS está enfocado para el análisis y diseño de estructuras altas, como edificios de oficinas, residenciales y hospitales. Realiza análisis estático y dinámico lineal y no lineal, permite la utilización de elementos no lineales tales como: aislantes antisísmicos, disipadores, amortiguadores, etc.

Permite el análisis y diseño de estructuras 3D combinando pórticos y muros pantalla a través de una completa interacción entre ambos.

Al igual que en el programa Sap2000 permite diseñar estructuras de acero, concreto armado tomando en cuenta las principales normativas.

**Ilustración 27.** Modelo de un pórtico en ETABS.



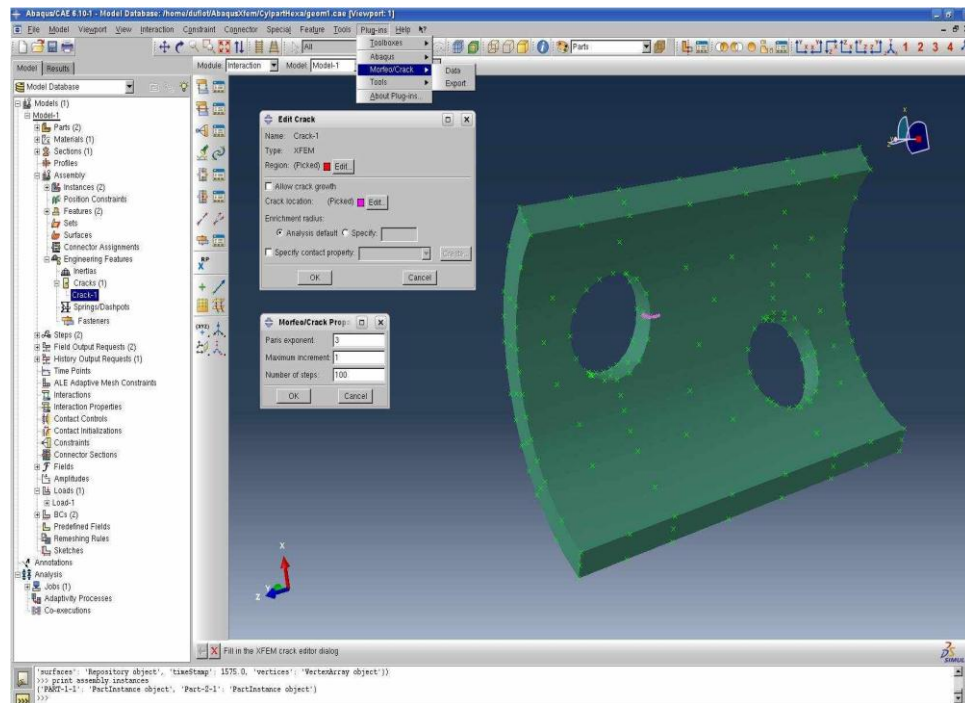
**Fuente:** Tomado de la referencia (11)

## 2.3 ABAQUS

Abaqus (10). Es un software para realizar análisis por elementos finitos. Puede ser usado para simular la respuesta de estructuras o cuerpos sólidos a cargas, impactos, esfuerzos térmicos, etc. y visualizar los resultados por medio de la simulación. Este programa es conocido por su habilidad y eficacia para resolver muchos tipos de simulaciones, lo que permite entender el comportamiento detallado de ensamblajes complejos, explorar algunos conceptos para un diseño

innovador o simular un proceso de fabricación. Abaqus consta de tres programas que contienen módulos adicionales que se adaptan a las necesidades de cada caso:

### Ilustración 28. Modelamiento en abaqus.



**Fuente:** Tomado de la referencia (12)

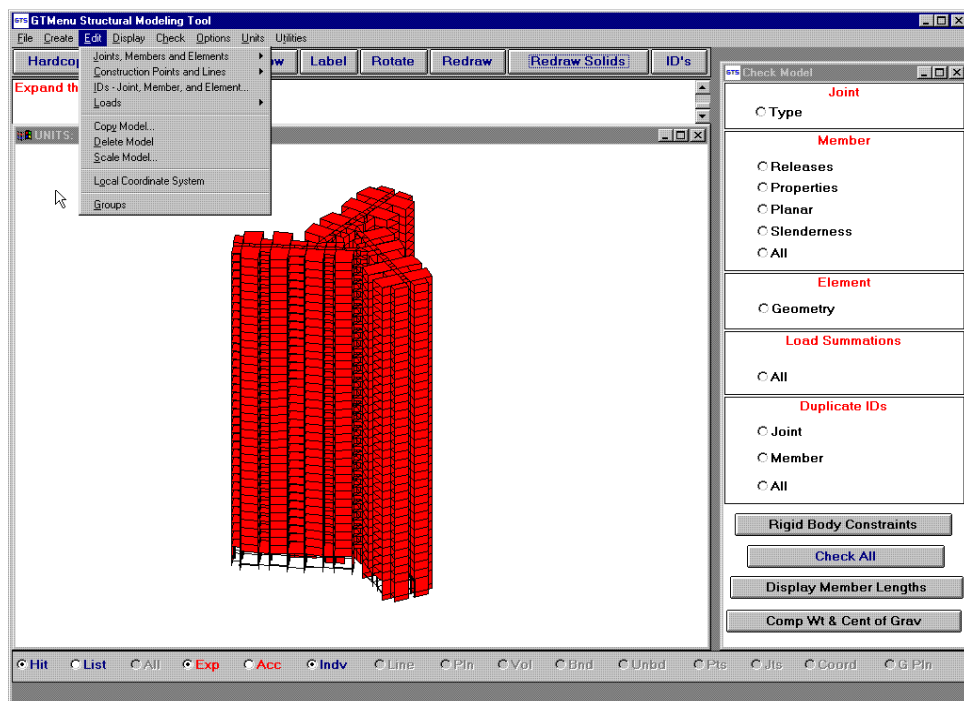
- Abaqus/Standard: Proporciona tecnología para realizar análisis por elementos finitos estáticos, dinámicos, térmicos, etc. mediante una gama de opciones de materiales no lineales y de contacto.
- Abaqus/Explicit: Proporciona técnicas de simulación por elementos finitos para solucionar una gran variedad de eventos dinámicos y quasi-estáticos en forma eficiente y aproximada
- Abaqus/CAE: Pre y post procesador de abaqus con ambiente de modelado y acceso directo a modelos CAD, mallados avanzados y herramientas de

visualización. Abaqus/CAE integra modelos, análisis y visualización de resultados en un ambiente consistente y fácil de usar.

## 2.4 GT STRUDL

El GT STRUDL (10) es un programa utilizado para ingeniería civil, instalaciones, estructuras petrolíferas e instalaciones industriales. Dicho programa fue desarrollado en el “Computer Aided Structural Engineering Center (CASE Center), del Georgia Institute of Technology, Atlanta, E.E.U.U el cual a su vez es responsable de la investigación científica, desarrollo, control de calidad así como la distribución y los servicios técnicos del sistema.

**Ilustración 29.** Modelamiento en GT Strudl.



**Fuente:** Tomado de la referencia (13)

Entre las características principales del sistema GT STRUDL:

- a) **Análisis Básico:** Donde se realiza un análisis lineal de estructuras de barras y de problemas formulados por medio del método de elementos finitos a través de herramientas de computación gráfica para visualización de datos y resultados. Cuenta además con una base de datos de información estructural y facilidades para post procesado de datos y resultados.
  
- b) **Análisis Avanzado:** Análisis estático no lineal de estructuras de barras, elementos finitos y cables. Análisis de pandeo. Consideración de apoyos no lineales. Análisis mediante técnicas de sub-estructuración.
  
- c) **Análisis Dinámico:** Análisis del problema de vibraciones libres, con cálculo de hasta 1.500 modos y frecuencia naturales de vibración. Respuesta dinámica espectral, para análisis sísmico. Respuesta dinámica forzada por integración directa o superposición modal, para vibraciones armónicas, de estado permanente o de tipo arbitrario, considerando amortiguamiento modal compuesto.

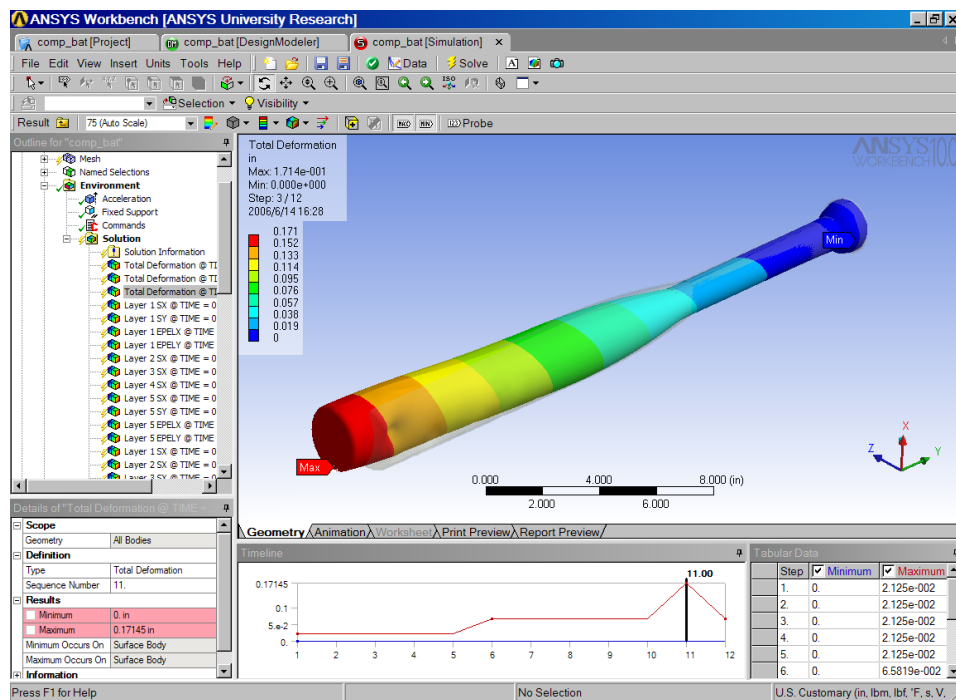
## 2.5 ANSYS

Ansys es un software de análisis estructural. Sus modelos estructurales tienen una dotación completa de elementos no lineales, las leyes de materiales lineales y no lineales y modelos de materiales inelásticos.

Ansys permite realizar tareas como:

- Construir o importar modelos de estructuras, productos, componente o sistemas.
- Aplicar cargas al elemento creado.
- Estudiar las respuestas físicas, tales como niveles de esfuerzo, distribuciones de temperatura o campos electromagnéticos.
- Entre otras.

### Ilustración 30. Modelamiento en ANSYS



Fuente: Tomado de la referencia (14)



**CAPITULO III**

**CONSIDERACIONES EN EL ANÁLISIS DE**

**BABEL 2.0**

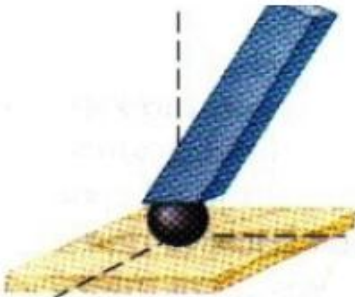
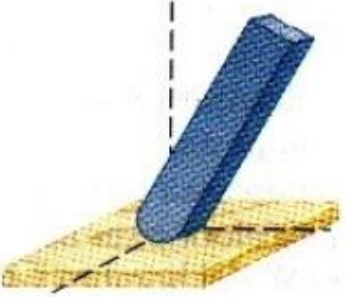

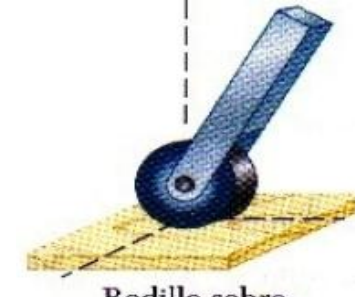
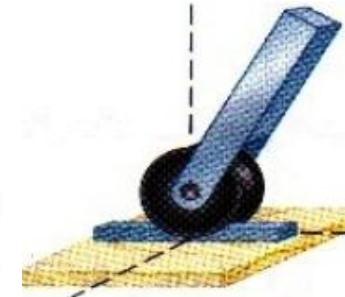
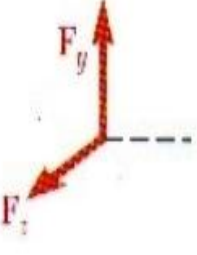


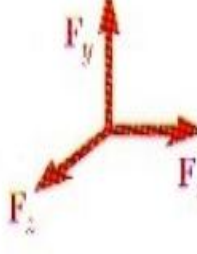
### **3 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS**

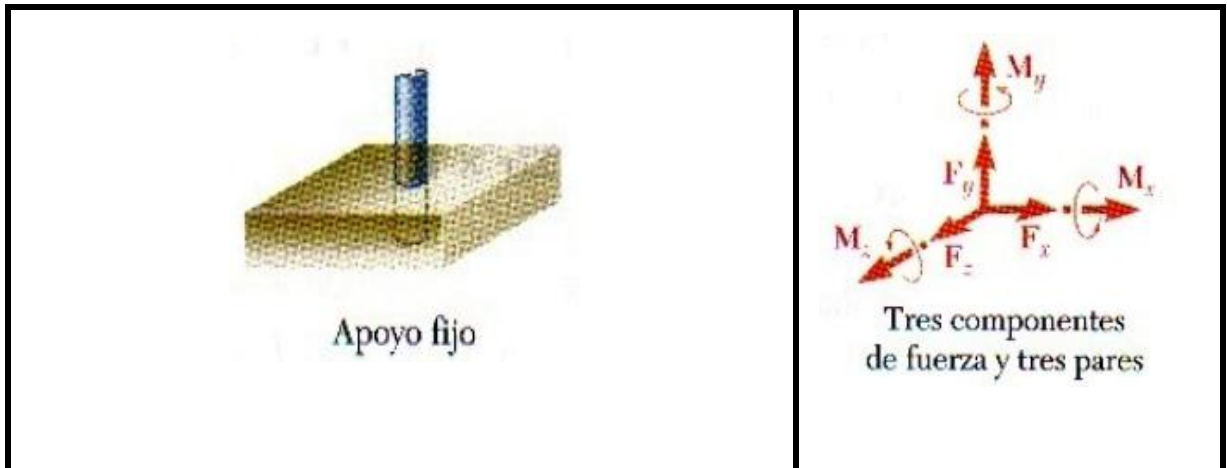
Al momento de analizar la estructura se deben tener en cuenta algunos aspectos fundamentales necesarios para el proceso de cálculo, tales como: los tipos de apoyo, características físicas de los materiales, tipos de cargas y las propiedades geométricas de las secciones.

#### **3.1 REACCIONES EN PUNTO DE APOYO Y CONEXIONES PARA UNA ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL**

En la **Ilustración 31** se muestran varios tipos de apoyos y conexiones con sus respectivas reacciones. Una forma sencilla de determinar tanto el tipo de reacción correspondiente a un apoyo o conexión dado, como el número de incógnitas involucradas, estableciendo cuales de los seis movimientos fundamentales (desplazamientos en los ejes  $x$ ,  $y$  y  $z$ , y rotación con respecto a los ejes  $x$ ,  $y$  y  $z$ ).

Ilustración 31. Reacciones en apoyos de estructuras tridimensionales.

APOYOS		REACCIONES
 <p>Bola</p>  <p>Superficie sin fricción</p>	 <p>Fuerzas con línea de acción conocida (una incógnita)</p>	
 <p>Rodillo sobre superficie rugosa</p>  <p>Rueda sobre riel</p>	 <p>Dos componentes de fuerza</p>	
 <p>Superficie rugosa</p>  <p>Rótula (bola y cuenca)</p>	 <p>Tres componentes de fuerza</p>	



**Fuente:** Tomado de Referencia (15)

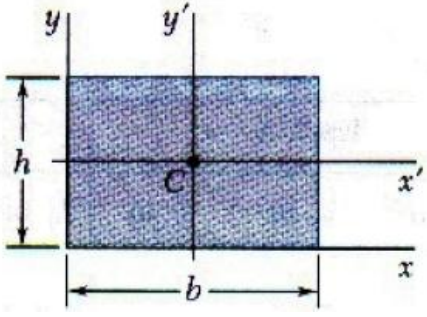
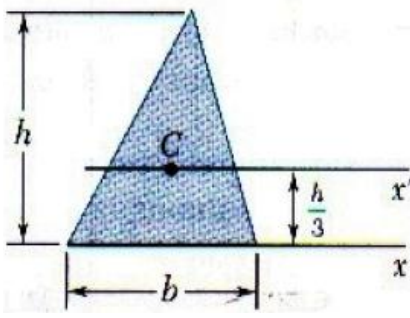
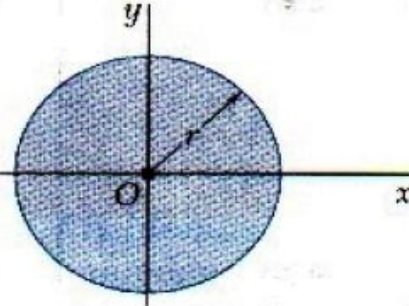
Los apoyos de bola, cuenca o de rotula y las superficies lisas solo impiden el desplazamiento en una dirección, y, por tanto solo ejercen una fuerza cuya línea de acción es conocida.

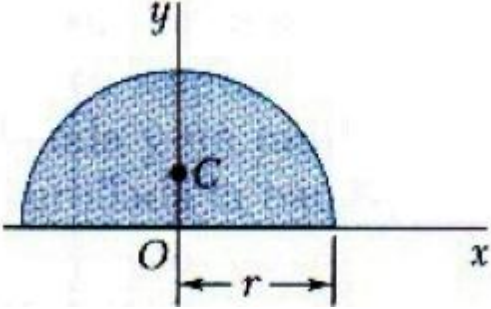
Los rodillos sobre superficies rugosas y ruedas sobre rieles impiden los desplazamientos en dos direcciones, por lo cual las reacciones correspondientes consisten en dos componentes de reacciones desconocidas.

Las superficies rugosas en contacto directo y las rotulas impiden el desplazamiento en tres dimensiones; por tanto estos apoyos involucran tres componentes de fuerzas desconocidas.

### 3.2 MOMENTOS DE INERCIA

Ilustración 32. Momento de Inercia de áreas conocidas.

ÁREA		MOMENTOS DE INERCIA
RECTÁNGULO		$\bar{I}_{x'} = \frac{1}{12}bh^3$ $\bar{I}_{y'} = \frac{1}{12}b^3h$ $I_x = \frac{1}{3}bh^3$ $I_y = \frac{1}{3}b^3h$
TRIANGULO		$\bar{I}_{x'} = \frac{1}{36}bh^3$ $I_x = \frac{1}{12}bh^3$
CIRCULO		$\bar{I}_x = \bar{I}_y = \frac{1}{4}\pi r^4$

SEMICÍRCULO		$I_x = I_y = \frac{1}{8} \pi r^4$
-------------	--	-----------------------------------

**Fuente:** Tomado de Referencia (16)

### 3.3 TIPOS DE CARGAS

#### 3.3.1 Cargas Muertas

La carga muerta cubre todas las cargas de elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura, los muros, pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras, equipos fijos y todas aquellas cargas que no son causadas por la ocupación y uso de la edificación. (17)

#### 3.3.2 Cargas Vivas

Las cargas vivas son aquellas cargas producidas por el uso y ocupación de la edificación y no deben incluir cargas ambientales tales como viento y sismo. (18)

Las cargas vivas en las cubiertas son aquellas causadas por:

- a) Los materiales, equipos y trabajadores utilizados en el mantenimiento de la cubierta y
- b) Las causadas por objetos móviles, tales como materas u otros objetos decorativos, y por las personas que tengan acceso a ellas.

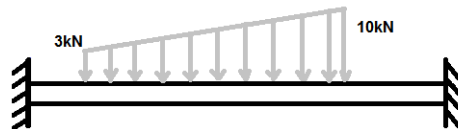
### 3.3.3 Carga de Viento

Las cargas de viento son producidas por el flujo de viento alrededor de la estructura. La magnitud de la carga de viento que actúa sobre la estructura depende de su ubicación geográfica, obstrucciones en sus alrededores, tales como edificios cercanos, además de su geometría y de sus características vibratorias.

### 3.4 CARGAS EQUIVALENTES EN NODOS

Cuando se está analizando estructuras por el método de la rigidez, las cargas que se consideran en el cálculo de deformaciones y reacciones están ubicadas en los nodos, lo que significa, que las carga aplicadas a los miembros deben ser transformados a una carga equivalente en sus extremos, teniendo en cuenta las condiciones de apoyos de estos.

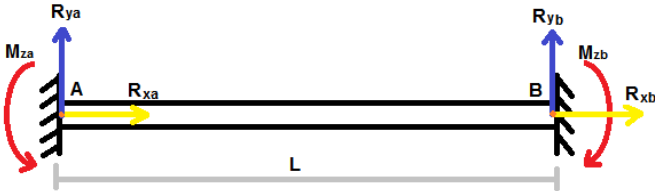
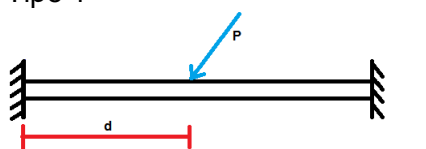
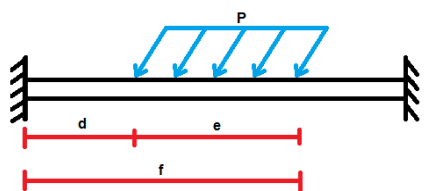
Para el cálculo de reacciones de empotramientos en los extremos de un miembro cualquiera, se puede utilizar la siguiente Tabla, en donde se considera que los extremos son totalmente empotrados, las cargas tienen algo de inclinación, y distintas formas de ubicación sobre el miembro. Los tipos de cargas mostrados en la segunda columna de la tabla, son casos generales que se pueden presentar en los elementos de la estructura, y se puede aplicar el principio de superposición cuando la modalidad de carga presenta variaciones en su forma. Por ejemplo, se tiene el siguiente caso de carga, que puede ser resuelto por el principio de superposición:



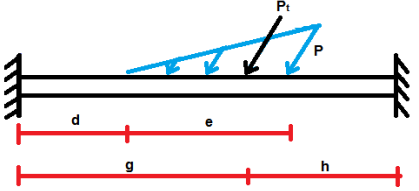
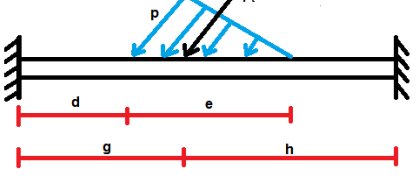
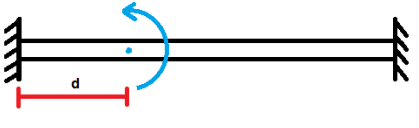
Es equivalente a dividir las cargas a su forma más simple y utilizar la tabla siguiente para su cálculo y las cargas equivalentes de cada caso se suman



**Ilustración 33.** Cargas equivalentes en nodos.

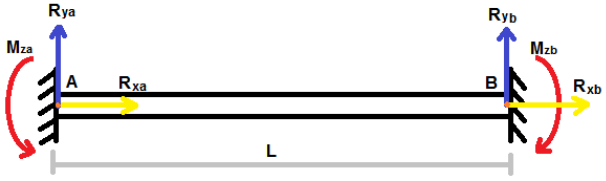
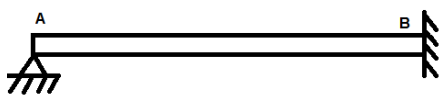
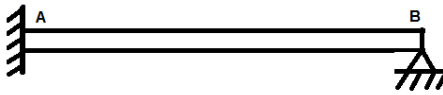
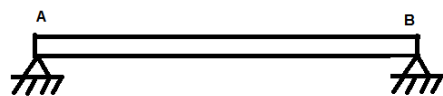
<p style="text-align: center;"><b>REACCIONES</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>MODALIDAD DE CARGA</b></p>
$P_x = P * \text{sen } \emptyset$ $P_y = P * \text{cos } \emptyset$ $R_{xa} = P_x * (L - d) / L$ $R_{ya} = P_y * (L - d)^2 * (L + 2d) / L^3$ $M_{za} = -P_y * (L - d)^2 * d / L^2$ $R_{xb} = P_x - R_{xa}$ $R_{yb} = P_y - R_{ya}$ $M_{zb} = -P_y * (L - d) * d^2 / L^2$	<p>Tipo 1</p> 
$P_x = P * \text{sen } \emptyset$ $P_y = P * \text{cos } \emptyset$ $f = d + e$ $s = e * L$ $w = 12 * L^2$ $R_{xa} = P_x * e * (L - d - e/2) / L$ $R_{ya} = P_y * \{2s - 2 * (f^3 - d^3) / L + (f^4 - d^4) / L^2\} / (2L)$ $M_{za} = -P_y * \{6L^2 * (f^2 - d^2) - 8L * (f^3 - d^3) + 3 * (f^4 - d^4)\} / w$ $R_{xb} = P_x - P_x * e$ $R_{yb} = P_y - P_y * e$ $M_{zb} = -R_{ya} * L - M_{za} - P_y * (L - d - e/2) * e$	<p>Tipo 2</p> 



$h = L - d - 2 * e / 3$ $Pt = P * e / 2$ $Px = Pt * \text{sen } \emptyset$ $Py = Pt * \text{cos } \emptyset$ $R_{xa} = Px * h / L$ $R_{ya} = Py * \{3h^2 - e^2 / 6 + d * e^2 / (3L) + 28e^3 / (135L) - 2h^3 / L\} / (2L)$ $M_{za} = -Py * e * \{e^2 * (d + e) / (6 * L) + f^2 - f^3 / L - e^2 / 9 - 51 * e^3 / (810 * L)\} / 2 * L$ $R_{xb} = Px - Px$ $R_{yb} = Py - Py$ $M_{zb} = -R_{ya} * L - M_{za} - Py * h$	<p>Tipo 3</p> 
$h = L - d - 2 * e / 3$ $Pt = P * e / 2$ $Px = Pt * \text{sen } \emptyset$ $Py = Pt * \text{cos } \emptyset$ $R_{xa} = Px * h / L$ $R_{ya} = Py * \{3h^2 - e^2 / 6 + d * e^2 / (L/3) + 2e^3 / (L/135) - 2h^3 / L\} / L^2$ $M_{za} = -Py * \{h^2 * e^2 / 18 - h * e^2 / (L/6) - e^3 / (L/135) - h^3 / L\} / L$ $R_{xb} = Px - Px$ $R_{yb} = Py - Py$ $M_{zb} = -R_{ya} * L - M_{za} - Py * h$	<p>Tipo 4</p> 
$R_{xa} = 0$ $R_{ya} = 6m * d * (L - d) / l^3$ $M_{za} = m * (4d * L - 3d^2 - L^2) * d / L^2$ $R_{xb} = 0$ $R_{yb} = -R_{ya}$ $M_{zb} = -R_{ya} * L - M_{za} - m$	<p>Tipo 5</p> 

**Fuente:** Tomado de la Referencia (19)

Quando un miembro posee articulaciones en algunos de sus extremos, primero se debe proceder de la forma como se indica en la tabla anterior, y luego utilizar la tabla siguiente para equilibrar las cargas calculadas anteriormente, de acuerdo las articulaciones en sus extremos.

REACCIONES	MODALIDAD DE CARGA
 $R_{xa} = R_{xa}$ $R_{ya} = R_{ya} - 3 * M_{za} / (2L)$ $M_{za} = 0$ $R_{xb} = R_{xb}$ $R_{yb} = R_{yb} + 3 * M_{za} / (2L)$ $M_{zb} = M_{zb} - M_{za} / 2$	
$R_{xa} = R_{xa}$ $R_{ya} = R_{ya} - 3 * M_{zb} / (2L)$ $M_{za} = M_{za} - M_{zb} / 2$ $R_{xb} = R_{xb}$ $R_{yb} = R_{yb} + 3 * M_{zb} / (2L)$ $M_{zb} = 0$	
$R_{xa} = R_{xa}$ $R_{ya} = R_{ya} - (M_{za} + M_{zb}) / L$ $M_{za} = 0$ $R_{xb} = R_{xb}$ $R_{yb} = R_{yb} + 3 * M_{zb} / (2L)$ $M_{zb} = 0$	

Fuente: Tomado de la Referencia (19)

### 3.5 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

A continuación se muestran los materiales que se encuentran dentro de la base de datos de BABEL 2.0.

**Tabla 1.** *Densidades de materiales.*

Material	Kg/m <sup>3</sup>	lbm/pul <sup>3</sup>
Aceros	7800	0.28
Aluminio y sus aleaciones	2700	0.097
Babbitt, metal blanco con base estaño	7400	0.26
Babbitt, metal blanco con base plomo	10100	0.37
Bronce fosforoso	8700	0.31
Bronce poroso	6400	0.23
Hierro fundido	7400	0.27
Cobre	8900	0.32
Latones	8600	0.31

**Fuente:** Tomado de la referencia (20)

**Tabla 2.** *Módulos de Elasticidad.*

Material	GPa	Mpsi
Aceros, aleaciones bajas	196	28.4
aceros aleaciones altas	200	29.0
Aluminio y sus aleaciones	70	10.2
Babbitt, metal blanco con base estaño	52	7.5
Bronce fosforoso	110	16.0
Bronce poroso	60	8.7
Hierro fundido	170	24.7
Cobre	124	18.0
Latones	100	14.5

**Fuente:** Tomado de la referencia (20)

**Tabla 3. Coeficientes de Poisson.**

Material	$\nu$
Aceros, aleaciones bajas	0.3
aceros aleaciones altas	0.3
Aluminio y sus aleaciones	0.33
Babbit, metal blanco con base estaño	--
Bronce fosforoso	0.33
Bronce poroso	0.22
Hierro fundido	0.26
Cobre	0.33
Latones	0.33

**Fuente:** Tomado de la referencia (20)

**Tabla 4. Coeficientes de dilatación térmica lineal.**

Material	(°C) <sup>-1</sup>	(°F) <sup>-1</sup>
Aceros, aleaciones bajas	11*10 <sup>-6</sup>	6.1*10 <sup>-6</sup>
aceros aleaciones altas	11*10 <sup>-6</sup>	6.1*10 <sup>-6</sup>
Aluminio y sus aleaciones	24*10 <sup>-6</sup>	13.3*10 <sup>-6</sup>
Babbit, metal blanco con base estaño	23*10 <sup>-6</sup>	13*10 <sup>-6</sup>
Bronce fosforoso	18*10 <sup>-6</sup>	10*10 <sup>-6</sup>
Bronce poroso	18*10 <sup>-6</sup>	10*10 <sup>-6</sup>
Hierro fundido	11*10 <sup>-6</sup>	6.1*10 <sup>-6</sup>
Cobre	18*10 <sup>-6</sup>	10*10 <sup>-6</sup>
Latones	19*10 <sup>-6</sup>	10.6*10 <sup>-6</sup>

**Fuente:** Tomado de la referencia (20)

**Tabla 5. Propiedades de los materiales No ferrosos**

Material	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Módulo de elasticidad [Gpa]	Resistencia a fluencia [Mpa]	Resistencia a la rotura [Mpa]	Ductilidad % alarg. en 2 pulgadas	coeficiente de Poisson	Conduct. Térmica [W/m-°C]	Coef. de dilatación (°C) <sup>-1</sup> 10 <sup>-6</sup>
Aluminio puro	2710	69	17	55	25	0.33	231	23.6
Aluminio (aleación)	2800	72	97	186	18	0.33	192	22.5
Cobre puro	8940	110	69	220	45	0.35	398	16.5
Latón (70Cu-30Zn)	8530	110	75	303	68	0.35	120	20.0
Bronce (90Cu-8Sn)	8800	110	152	380	70	0.35	62	18.2
Magnesio puro	1740	45	41	165	14	0.29	122	27.0
Molibdeno puro	10220	324	565	655	35	--	142	4.9
Níquel	8900	207	138	483	40	0.31	80	13.3
Plata	10490	76	55	125	48	0.37	418	19.0
Titanio	4510	107	240	330	30	0.34	17	9.0

**Fuente:** Tomado de la referencia (20)

**Tabla 6. Propiedades de los materiales ferrosos.**

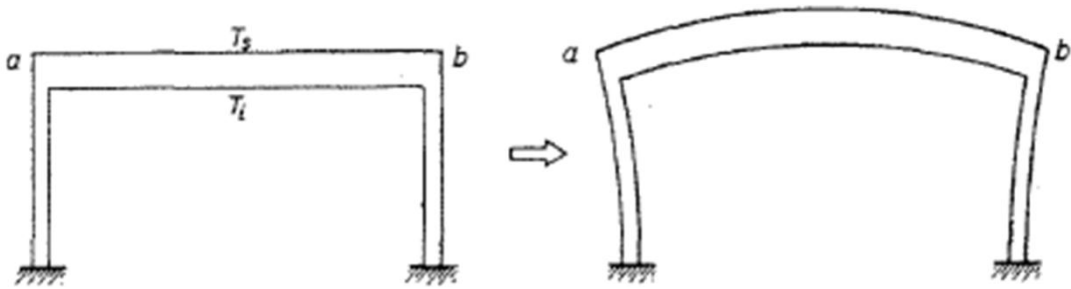
Material	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Módulo de elasticidad [Gpa]	Resistencia a fluencia [Mpa]	Resistencia a la rotura [Mpa]	Ductilidad % alarg. en 2 pulgadas	coeficiente de Poisson	Conduct. Térmica [W/m-°C]	Coef. de dilatación (°C) <sup>-1</sup> 10 <sup>-6</sup>
Fundición	7870	207	130	260	45	0.29	80	11.8
fundición gris	7150	variable	---	125	--	variable	46	10.8
fundición nodular	7120	165	275	415	18	0.28	33	11.8
fundición maleable	7200	172	220	345	10	0.26	51	11.9
Acero AISI 1020	7860	207	295	395	37	0.30	52	11.7
Acero AISI 1040	7850	207	350	520	30	0.30	52	11.3
Acero AISI 1080	7840	207	380	615	25	0.30	48	11.0
Acero AISI 446	7500	200	345	552	20	0.30	21	10.4
Acero AISI 316	800	193	207	552	60	0.30	16	16.0
Acero AISI 410	7800	200	275	483	30	0.30	25	9.9

**Fuente:** Tomado de la referencia (20)

### 3.6 EFECTOS TÉRMICOS

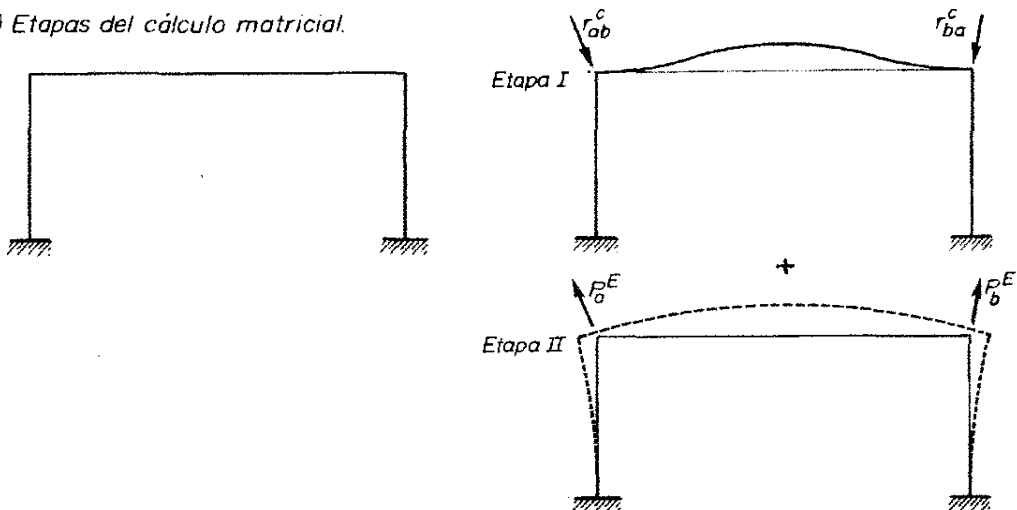
En aquellos elementos en los que se presenta variación de temperatura con gradiente térmico (temperaturas  $T_s$  y  $T_i$  en los bordes de una pieza y  $T_s > T_i$ , como se muestra en la **Ilustración 34** se procede de la misma forma que para cualquier otro tipo de carga. Se bloquean los nudos de la barra en función de sus enlaces que unen sus extremos a los nudos respectivos, calculándose las reacciones en los extremos en ejes locales, y a continuación, las cargas equivalentes en ejes generales. (19)

**Ilustración 34.** Deformación del pórtico por calentamiento desigual ab.



**Ilustración 35.** Variaciones de temperatura

b) Etapas del cálculo matricial.



Si solamente existe variación uniforme de temperatura.  $T_s = T_i = \Delta T$ .

$$\delta_x = \alpha_t \cdot \Delta T \cdot l$$

Donde.

$\delta_x$ , es el desplazamiento axial debido a la carga térmica.

$\alpha_t$ , coeficiente de dilatación del material del elemento.

$l$ , longitud del elemento.

Para determinar las cargas equivalentes en los extremos de un elemento, en coordenadas locales, utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$\{r^c_{ab}\} = \begin{Bmatrix} -\alpha_t \cdot \Delta T \cdot l \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \mathbf{y} \quad \{r^c_{ab}\} = \begin{Bmatrix} \alpha_t \cdot \Delta T \cdot l \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

## **CAPITULO IV**

# **DESARROLLO HERRAMIENTA COMPUTACIONAL**



## 4 GENERALIDADES

### 4.1 Visual Basic 6.0

Visual Basic es un lenguaje de programación dirigido por eventos, desarrollado por Alan Cooper para Microsoft. Este lenguaje de programación es un dialecto de BASIC (Lenguaje de alto nivel), con importantes agregados. Su primera versión fue presentada en 1991, con la intención de simplificar la programación utilizando un ambiente de desarrollo completamente gráfico que facilitara la creación de interfaces gráficas y, en cierta medida, también la programación misma.

#### 4.1.1 *Programas Orientados a eventos*

Todas las aplicaciones creadas en un lenguaje de programación orientado a objetos serán por defecto un programa orientado a evento. Es un programa orientado a eventos, porque cuando este es cargado o ejecutado solo espera a que el usuario realice alguna acción sobre uno de los objetos que posee, por ejemplo, la calculadora de Windows espera a que el usuario haga clic (Evento Click) con el Mouse sobre uno de los botones de comando que contienen los números para luego ponerlo en la caja de texto, o bien, espera a que el usuario pulse un número (Evento KeyPress) desde el teclado para ponerlo en la caja de texto.

Los programas o paquetes de programas que utilizamos con frecuencia en Windows son programas orientados a eventos. Solo cuando el usuario realiza alguna acción sobre los objetos de un programa ocurre un determinado tipo de evento. Mediante ese evento el programa realiza una operación y luego notifica al usuario sobre los resultados de dicha operación. Puede probar esto cargando

cualquier aplicación de Windows ya sea Microsoft Word o Microsoft Excel, cuando este es cargado se queda a la espera de que usted haga algo, por ejemplo, Word espera a que usted escriba alguna carta u otro tipo de documento, así como, Excel espera a que el usuario escriba, por ejemplo, los valores de alguna nómina de pago. Todo esto dicho anteriormente nos da a entender que cada programa es capaz de manejar un sin número de determinados tipos de eventos y que también son capaces de responder a cada uno de ellos.

#### ***4.1.2 Creación de programa para entorno de Windows***

En Visual Basic 6.0 es posible crear todo tipo de aplicación para Windows, pudiendo incorporar todas las características y elementos de un programa típico de Windows.

Visual Basic 6.0 posee una barra de herramientas donde es posible encontrar todos los elementos que apreciamos en una aplicación de Windows: ventanas, botones, cajas de texto, cajas de diálogo, botones de opción, botones de selección, barras de desplazamiento, gráficos, menús, en general, todo objeto visible en una aplicación de Windows.

Prácticamente, todos los elementos de interacción entre la aplicación y el usuario de los que dispone Windows pueden ser programados en Visual Basic 6.0 de un modo muy sencillo. Con asiduidad, los programadores crean aplicaciones para Windows con solo algunas líneas de códigos y pocas operaciones con el mouse y el teclado.

Algunos programas toman mucho más tiempo que otros para su realización, algunos toman meses, otros años, o simplemente días. El tiempo de duración para la realización de una aplicación, depende exclusivamente de la profundidad del programa y regularmente de la capacidad del programador.

### **4.1.3 Ventajas**

- ✓ Posee una curva de aprendizaje muy rápida.
- ✓ Integra el diseño e implementación de formularios de Windows.
- ✓ Permite usar con facilidad la plataforma de los sistemas Windows, dado que tiene acceso prácticamente total a la API de Windows, incluidas librerías actuales.
- ✓ Es uno de los lenguajes de uso más extendido, por lo que resulta fácil encontrar información, documentación y fuentes para los proyectos.
- ✓ Fácilmente extensible mediante librerías DLL y componentes ActiveX de otros lenguajes.
- ✓ Posibilita añadir soporte para ejecución de scripts, VBScript o JScript, en las aplicaciones mediante Microsoft Script Control.
- ✓ Tiene acceso a la API multimedia de DirectX (versiones 7 y 8). También está disponible, de forma no oficial, un componente para trabajar con OpenGL 1.1.
- ✓ Existe una versión, VBA, integrada en las aplicaciones de Microsoft Office, tanto Windows como Mac, que permite programar macros para extender y automatizar funcionalidades en documentos, hojas de cálculo, bases de datos (Access).
- ✓ Si bien permite desarrollar grandes y complejas aplicaciones, también provee un entorno adecuado para realizar pequeños prototipos rápidos.

### **4.2 OpenGL 1.1 (Open Graphics Library)**

Es una especificación estándar que define una API multilenguaje y multiplataforma para escribir aplicaciones que produzcan gráficos 2D y 3D. La interfaz consiste en más de 250 funciones diferentes que pueden usarse para dibujar escenas tridimensionales complejas a partir de primitivas geométricas simples, tales como puntos, líneas y polígonos. Fue desarrollada originalmente por Silicon Graphics

Inc. (SGI) en 1992 y se usa ampliamente en CAD, realidad virtual, representación científica, visualización de información y simulación de vuelo. También se usa en desarrollo de videojuegos, donde compite con Direct3D en plataformas Microsoft Windows.

Es una API basada en procedimientos de bajo nivel que requiere que el programador dicte los pasos exactos necesarios para renderizar una escena. Esto contrasta con las APIs descriptivas, donde un programador sólo debe describir la escena y puede dejar que la biblioteca controle los detalles para representarla. El diseño de bajo nivel de OpenGL requiere que los programadores conozcan en profundidad la pipeline gráfica, a cambio de darles libertad para implementar algoritmos gráficos novedosos.

OpenGL ha influido en el desarrollo de las tarjetas gráficas, promocionando un nivel básico de funcionalidad que actualmente es común en el hardware comercial; algunas de esas contribuciones son:

- ✓ Primitivas básicas de puntos, líneas y polígonos rasterizados.
- ✓ Proceso en la pipeline de gráficos.
- ✓ Una pipeline de transformación e iluminación.
- ✓ Z-buffering.
- ✓ Mapeado de texturas.
- ✓ Alpha blending (transparencia)

#### **4.2.1 Operaciones con OpenGL**

Las operaciones que podemos realizar con OpenGL, y en general siguiendo este orden son las siguientes:

- ✓ Modelar figuras a partir de las primitivas básicas, creando descripciones geométricas de los objetos (puntos, líneas, polígonos, fotografías y mapas de bits).

- ✓ Situar los objetos en el espacio tridimensional de la escena y seleccionar el punto de vista desde el cual queremos observarla.
- ✓ Calcular el color de todos los objetos. El color puede asignarse explícitamente a cada pixel, o bien puede calcularse a partir de las condiciones de iluminación, o también puede asignarse por medio de una textura colocada sobre los objetos.
- ✓ Convertir la descripción matemática de los objetos y la información de color asociada, en pixeles de la pantalla, en forma de imagen virtual 3D.

A la vez que se realiza este proceso, OpenGL desarrolla otras operaciones complejas como la eliminación de partes de objetos que quedan ocultas para el usuario por estar tapadas por otros objetos de la escena.

## 4.3 CÓDIGOS RELEVANTES

### 4.3.1 Solución del sistema $Ax = B$ (Método de Cholesky $A = T.T^t$ )

```
Public Function SolucionCholesky(A() As Double, B() As Double) As Double()  
    Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer, n As Integer  
    Dim sum As Double  
    n = UBound(A, 1)  
    'Factorizacion de Cholesky  
    For i = 0 To n  
        sum = A(i, i)  
        For k = 0 To i - 1  
            sum = sum - A(k, i) ^ 2  
        Next k  
        A(i, i) = Sqr(Round(sum, 10))  
        For j = i + 1 To n  
            sum = A(i, j)  
            For k = 0 To i - 1  
                sum = sum - A(k, i) * A(k, j)  
            Next k  
            A(i, j) = sum / A(i, i)  
        Next j  
    Next i  
    'Sustitucion Directa  
    For i = 0 To n  
        For j = 0 To i - 1  
            B(i, 0) = B(i, 0) - A(j, i) * B(j, 0)  
        Next j  
        B(i, 0) = B(i, 0) / A(i, i)  
    Next i  
    'Sustitucion Inversa  
    B(n, 0) = B(n, 0) / A(n, n)  
    For i = n - 1 To 0 Step -1  
        For j = i + 1 To n  
            B(i, 0) = B(i, 0) - A(i, j) * B(j, 0)  
        Next j  
        B(i, 0) = B(i, 0) / A(i, i)  
    Next i  
    SolucionCholesky = B  
End Function
```

Se calcula la matriz  $T$

Solución  $T.y = B$ , donde se calcula  $y$ , que es la transformación del arreglo  $B$ .

Solución  $T^t.x = y$ , donde se calcula  $x$ , que es la transformación del arreglo  $B$ .

Este algoritmo es la solución del sistema  $Ax = B$ , por el método de Cholesky, en el cual se aplica la siguiente metodología:

- ✓ La matriz de rigidez del sistema estructural es la matriz  $A$ , y la matriz de carga es el arreglo  $B$ , por lo cual el arreglo  $x$ , corresponde a la deformación de la estructura.
- ✓ Para resolver el sistema  $Ax = B$ , por el método de Cholesky, primero debemos saber que la matriz  $A$  es equivalente a  $T.T^t$ , donde  $T$  es un matriz

triangular inferior y  $T^t$  es la transpuesta de  $T$ . Por lo que el sistema queda  $T.T^t.x = B$ .

- ✓ Para simplificar el nuevo sistema, reemplazamos  $T^t.x$ , por la variable auxiliar  $y$ , resultado dos sistemas dependiente que son:

$$T.y = B$$

$$T^t.x = y$$

- ✓ Primero se debe calcular la matriz  $T$ , y como la matriz  $B$  es conocida, se puede calcular  $y$ . Posteriormente, se calcula  $x$ , con el segundo sistema.

### 4.3.2 Matriz de rigidez del Elemento

```

Public Function RigidezMiembro3D(Estruct As Estructura, IdMiembro As Integer) As Double()
Dim k(11, 11) As Double
Dim E As Double, Pz As Double, Py As Double, Mz As Double, My As Double, T As Double, kz As Double, ky As Double
Dim ListSec() As InfSeccion, ListMat() As InfMaterial, Miemb As InfMiembro
Dim Cy() As Single, CZ() As Single
With Estruct
ListSec = .Seccion: ListMat = .Material: Miemb = .Miembro(IdMiembro - 1)
If ListSec(Miemb.Sec - 1).Mat > 0 Then
If Miemb.Kresorte = 0 Then
With ListMat(ListSec(Miemb.Sec - 1).Mat - 1)
'Calculo de solicitaciones
E = .MElast * ListSec(Miemb.Sec - 1).A / Miemb.l
Pz = 12 * .MElast * ListSec(Miemb.Sec - 1).i.z / Miemb.l ^ 3
Py = 12 * .MElast * ListSec(Miemb.Sec - 1).i.y / Miemb.l ^ 3
ky = 6 * .MElast * ListSec(Miemb.Sec - 1).i.y / Miemb.l ^ 2
kz = 6 * .MElast * ListSec(Miemb.Sec - 1).i.z / Miemb.l ^ 2
T = .MCorte * ListSec(Miemb.Sec - 1).i.x / Miemb.l
My = 2 * .MElast * ListSec(Miemb.Sec - 1).i.y / Miemb.l
Mz = 2 * .MElast * ListSec(Miemb.Sec - 1).i.z / Miemb.l
Cy = CoeficienteArticulacion(EJE_Y, Miemb)
CZ = CoeficienteArticulacion(EJE_Z, Miemb)
'Matriz de rigidez del Elemento
k(0, 0) = E: k(0, 1) = 0: k(0, 2) = 0: k(0, 3) = 0: k(0, 4) = 0: k(0, 5) = 0:
k(1, 0) = 0: k(1, 1) = CZ(1) * Pz: k(1, 2) = 0: k(1, 3) = 0: k(1, 4) = 0: k(1, 5) = CZ(2) * kz:
k(2, 0) = 0: k(2, 1) = 0: k(2, 2) = Cy(1) * Py: k(2, 3) = 0: k(2, 4) = -Cy(2) * ky: k(2, 5) = 0:
k(3, 0) = 0: k(3, 1) = 0: k(3, 2) = 0: k(3, 3) = T: k(3, 4) = 0: k(3, 5) = 0:
k(4, 0) = 0: k(4, 1) = 0: k(4, 2) = -Cy(2) * ky: k(4, 3) = 0: k(4, 4) = 2 * Cy(5) * My: k(4, 5) = 0:
k(5, 0) = 0: k(5, 1) = CZ(2) * kz: k(5, 2) = 0: k(5, 3) = 0: k(5, 4) = 0: k(5, 5) = 2 * CZ(5) * Mz:
k(0, 6) = -E: k(0, 7) = 0: k(0, 8) = 0: k(0, 9) = 0: k(0, 10) = 0: k(0, 11) = 0:
k(1, 6) = 0: k(1, 7) = -CZ(3) * Pz: k(1, 8) = 0: k(1, 9) = 0: k(1, 10) = 0: k(1, 11) = CZ(4) * kz:
k(2, 6) = 0: k(2, 7) = 0: k(2, 8) = -Cy(3) * Py: k(2, 9) = 0: k(2, 10) = -Cy(4) * ky: k(2, 11) = 0:
k(3, 6) = 0: k(3, 7) = 0: k(3, 8) = 0: k(3, 9) = -T: k(3, 10) = 0: k(3, 11) = 0:
k(4, 6) = 0: k(4, 7) = 0: k(4, 8) = Cy(6) * ky: k(4, 9) = 0: k(4, 10) = Cy(7) * My: k(4, 11) = 0:
k(5, 6) = 0: k(5, 7) = -CZ(6) * kz: k(5, 8) = 0: k(5, 9) = 0: k(5, 10) = 0: k(5, 11) = CZ(7) * Mz:
k(6, 0) = -E: k(6, 1) = 0: k(6, 2) = 0: k(6, 3) = 0: k(6, 4) = 0: k(6, 5) = 0:
k(7, 0) = 0: k(7, 1) = -CZ(3) * Pz: k(7, 2) = 0: k(7, 3) = 0: k(7, 4) = 0: k(7, 5) = -CZ(6) * kz:
k(8, 0) = 0: k(8, 1) = 0: k(8, 2) = -Cy(3) * Py: k(8, 3) = 0: k(8, 4) = Cy(6) * ky: k(8, 5) = 0:
k(9, 0) = 0: k(9, 1) = 0: k(9, 2) = 0: k(9, 3) = -T: k(9, 4) = 0: k(9, 5) = 0:
k(10, 0) = 0: k(10, 1) = 0: k(10, 2) = -Cy(4) * ky: k(10, 3) = 0: k(10, 4) = Cy(7) * My: k(10, 5) = 0:
k(11, 0) = 0: k(11, 1) = CZ(4) * kz: k(11, 2) = 0: k(11, 3) = 0: k(11, 4) = 0: k(11, 5) = CZ(7) * Mz:
k(6, 6) = E: k(6, 7) = 0: k(6, 8) = 0: k(6, 9) = 0: k(6, 10) = 0: k(6, 11) = 0:
k(7, 6) = 0: k(7, 7) = CZ(8) * Pz: k(7, 8) = 0: k(7, 9) = 0: k(7, 10) = 0: k(7, 11) = -CZ(9) * kz:
k(8, 6) = 0: k(8, 7) = 0: k(8, 8) = Cy(8) * Py: k(8, 9) = 0: k(8, 10) = Cy(9) * ky: k(8, 11) = 0:
k(9, 6) = 0: k(9, 7) = 0: k(9, 8) = 0: k(9, 9) = T: k(9, 10) = 0: k(9, 11) = 0:
k(10, 6) = 0: k(10, 7) = 0: k(10, 8) = Cy(9) * ky: k(10, 9) = 0: k(10, 10) = 2 * Cy(10) * My: k(10, 11) = 0:
k(11, 6) = 0: k(11, 7) = -CZ(9) * kz: k(11, 8) = 0: k(11, 9) = 0: k(11, 10) = 0: k(11, 11) = 2 * CZ(10) * Mz:
End With
Else
k(0, 0) = Miemb.Kresorte: k(0, 6) = -Miemb.Kresorte
k(6, 0) = -Miemb.Kresorte: k(6, 6) = Miemb.Kresorte
End If
RigidezMiembro3D = k
End With
End Function

```

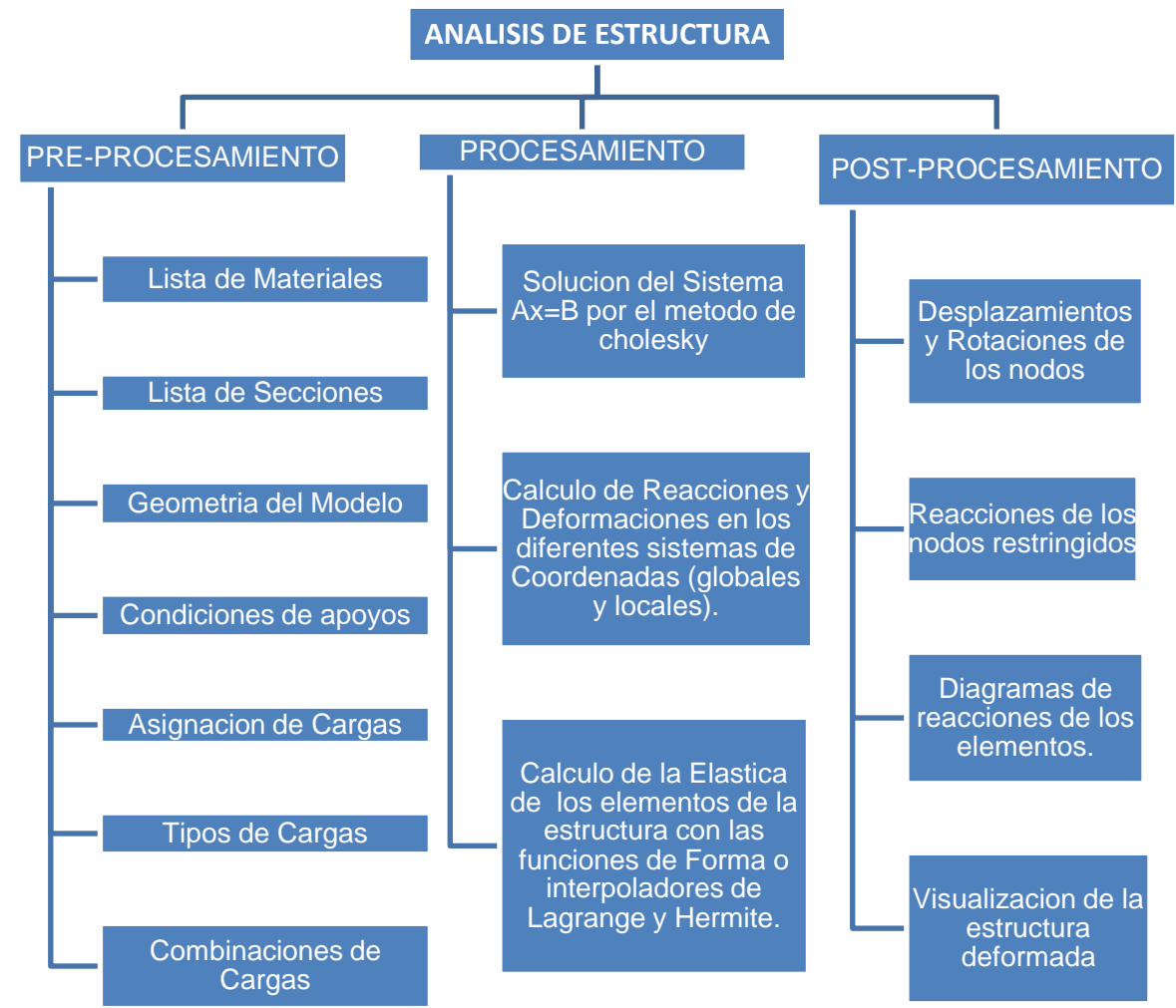
El algoritmo anterior muestra el ensamblaje de la matriz de rigidez del elemento en coordenadas locales, como se muestra a continuación:

$$K_{Elem} = \begin{bmatrix} k1 & k2 \\ k3 & k4 \end{bmatrix}$$

### **4.3.3 Procesos del Sistema de Análisis de Estructuras**

La gran mayoría de los programas enfocan su tarea en tres procesos fundamentales que requieren de un paso inicial, para luego seguir al otro, hasta llegar a la solución final. Los procesos involucrados son el pre-procesamiento, procesamiento y el post-procesamiento, que a su vez significa la entrada de información, el procesamiento de esa información y los resultados. BABEL 2.0, sigue estos mismos procesos para cumplir con la entrega de resultado. El usuario se encargan de establecer el modelos y cada una de sus características, luego ejecuta el análisis y el programa se toma su tiempo para analizar la estructura y por consiguiente, entrega los resultados, ya sea mediante tablas, diagramas o archivos externos.





El usuario se encarga de ingresar la información básica para el análisis, pero luego el programa realiza el siguiente procesamiento para cumplir con la entrega de los resultados del post-procesamiento.

El procesamiento de datos que ejecuta BABEL 2.0, está dividida en tres partes básicas que requieren de un orden lógico para llegar a una solución lógica. Las partes de la sub rutina, primero requieren de un Ensamblaje de las matrices involucradas, de la resolución del sistema, y del cálculo de reacciones.

Para el ensamblaje de las matrices, se requieren de unos datos iniciales que son las entradas de información del usuario, tales como el número de grados de

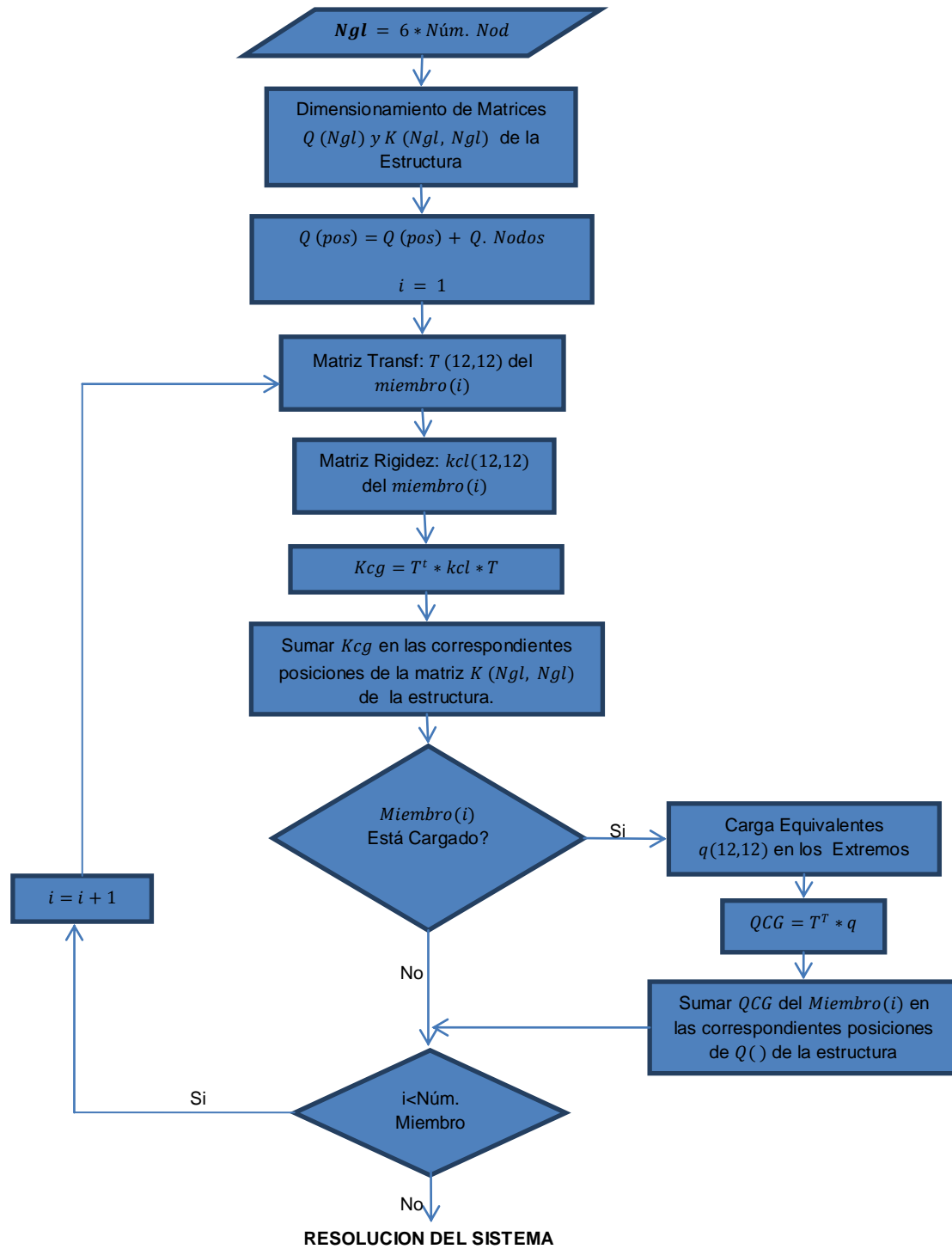
libertad ( $Ngl$ ), la geométrica de la estructura y los materiales, para luego dimensionar la matriz de rigidez de la estructura  $K(Ngl, Ngl)$  y la matriz de carga Global  $Q(Ngl)$ , de acuerdo al número de grado de libertad. Con la geometría y los materiales se obtiene la matriz de rigidez del elemento en coordenadas locales  $Kcl(12, 12)$ , con una dimensión de  $12 \times 12$ , debido a que existen seis (6) grados de libertad en cada extremo ( $3 desplazamiento y 3 giros$ ) y la matriz de transformación (o de paso)  $T(12 \times 12)$ , para transformar la matriz de  $Kcl$  en otra matriz en coordenadas globales  $Kcg$  después de la multiplicación entre  $Kcl$  y  $T$  ( $Kcg = T^t * kcl * T$ ). La matriz  $Kcg$ , se irá sumando a la matriz general de la estructura  $K(Ngl, Ngl)$ , en las correspondientes posiciones de los nodos vinculados del elemento. La matriz de carga global  $Q(Ngl)$ , es cargada inicialmente con la carga de los nodos, ya que estos por defectos están en coordenadas globales y no requieren de ningún calculo adicional; pero las cargas en los miembros deberán ser transformadas en cargas equivalentes en nodos  $q(12 \times 12)$ , con lo que se recurre a una serie de funciones para convertir la modalidad de carga aplicada sobre el elemento en cargas sobre los ejes de cada extremo, con lo que al multiplicarla por la transpuesta de la matriz de transformación  $QCG = T^t * q$ , será convertida en cargas globales  $QCG(12)$ . La matriz  $QCG$ , se irá sumando a la matriz global de carga  $Q(Ngl)$ , en las correspondientes posiciones de los nodos vinculados al elemento.

Para resolver el sistema de ecuaciones obtenidas en el paso anterior, se aplicara el método de la rigidez, donde se trata de encontrar la deformación de la estructura  $d(kgl)$ , considerando la estructura con un comportamiento lineal mediante la siguiente ecuación  $K(Ngl, Ngl) * d(Ngl) = Q(Ngl)$ , donde la matriz  $K$  y  $Q$ , son conocidas, por lo que queda encontrar  $d(ngl)$ , por algún método que permita resolver éste problema. El método aplicado en este caso corresponde a la solución de Cholesky, ya que es un método muy eficiente al momento de resolver

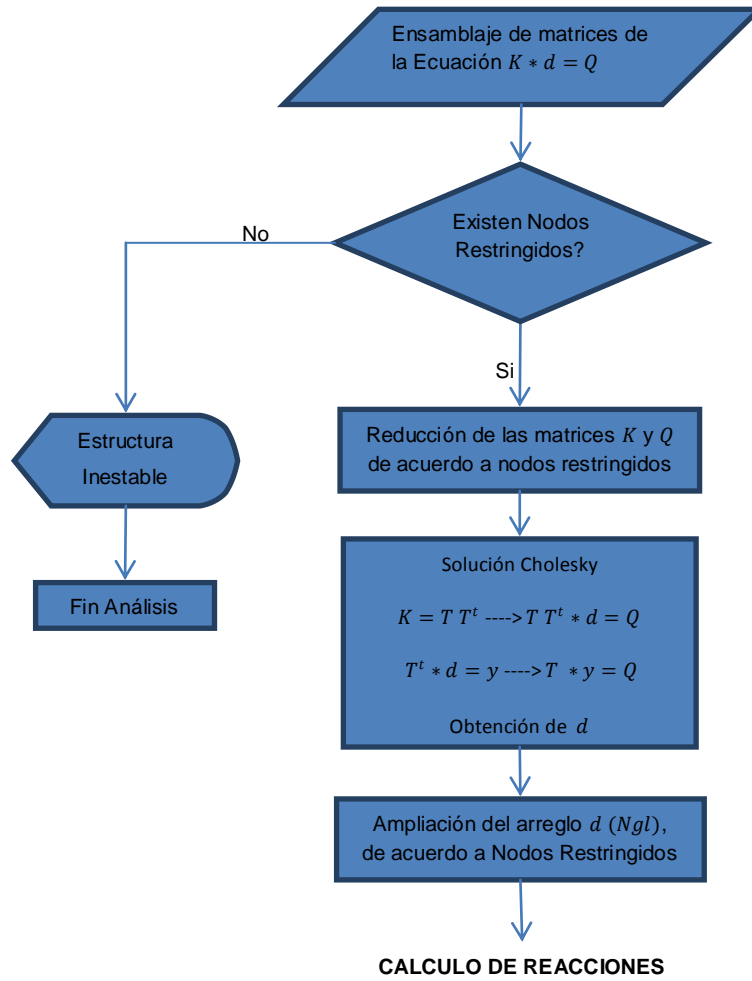
sistema  $Ax = B$ , pero antes de llegar a ésta parte, se pueden reducir las matrices globales de la estructura, dependiendo de las condiciones de apoyos, sabiendo que un eje restringido no permite deformación, lo que significa que puede ser eliminada esa fila y columna correspondiente de las matrices  $K$  y  $Q$ , para luego obtener la resolución del sistema  $d$ , del mismo tamaño que las matrices resultantes de  $Q$ . Por último esta matriz  $d$  es re-establecida a su tamaño real  $d(Ngl)$ , por motivos de cálculos posteriores, pero las posiciones de los grados de libertad añadidos son llenados con ceros (0). En el caso que no haya nodos restringidos en la estructura, se considerará como Inestable, debido a que se generan cero sobre la diagonal de la matriz de rigidez global y esto obliga a terminar el análisis por inestabilidad, al igual que si un elemento no está conectado al cuerpo estructural, con el que no habrá compatibilidad entre los elementos y se verá reflejado en la misma matriz mencionada.

El último paso a seguir, es el cálculo de las reacciones en los nodos y en los extremos de los elementos. El cálculo de las reacciones en los nodos es sencillo, ya que solamente requiere de la multiplicación de la matriz global de la estructura y de las cargas  $Rn = K * d$ , con lo que se obtienen las fuerzas y momentos concentrados en la dirección de los ejes globales de cada nodo. Posterior a estos, se deberá calcular las reacciones en los extremos de los elementos, extrayendo la deformación global  $dgm(12x12)$ , correspondiente a cada nodo de los extremos de éstos, que al multiplicarla por la matriz de transformación  $T(12x12)$ , se obtiene la deformación local de los elementos  $dln = T * dgm$ , desde ésta matriz se puede operar para calcular la elástica del elemento, las reacciones locales, y el comportamiento de la fuerza axial. Para el cálculo de la reacción en el elemento, se requiere nuevamente de la determinación de las reacciones de empotramientos  $p$ , que luego serán sumados al producto entre la rigidez local y la deformación local  $Rm = km * dln + p$ .

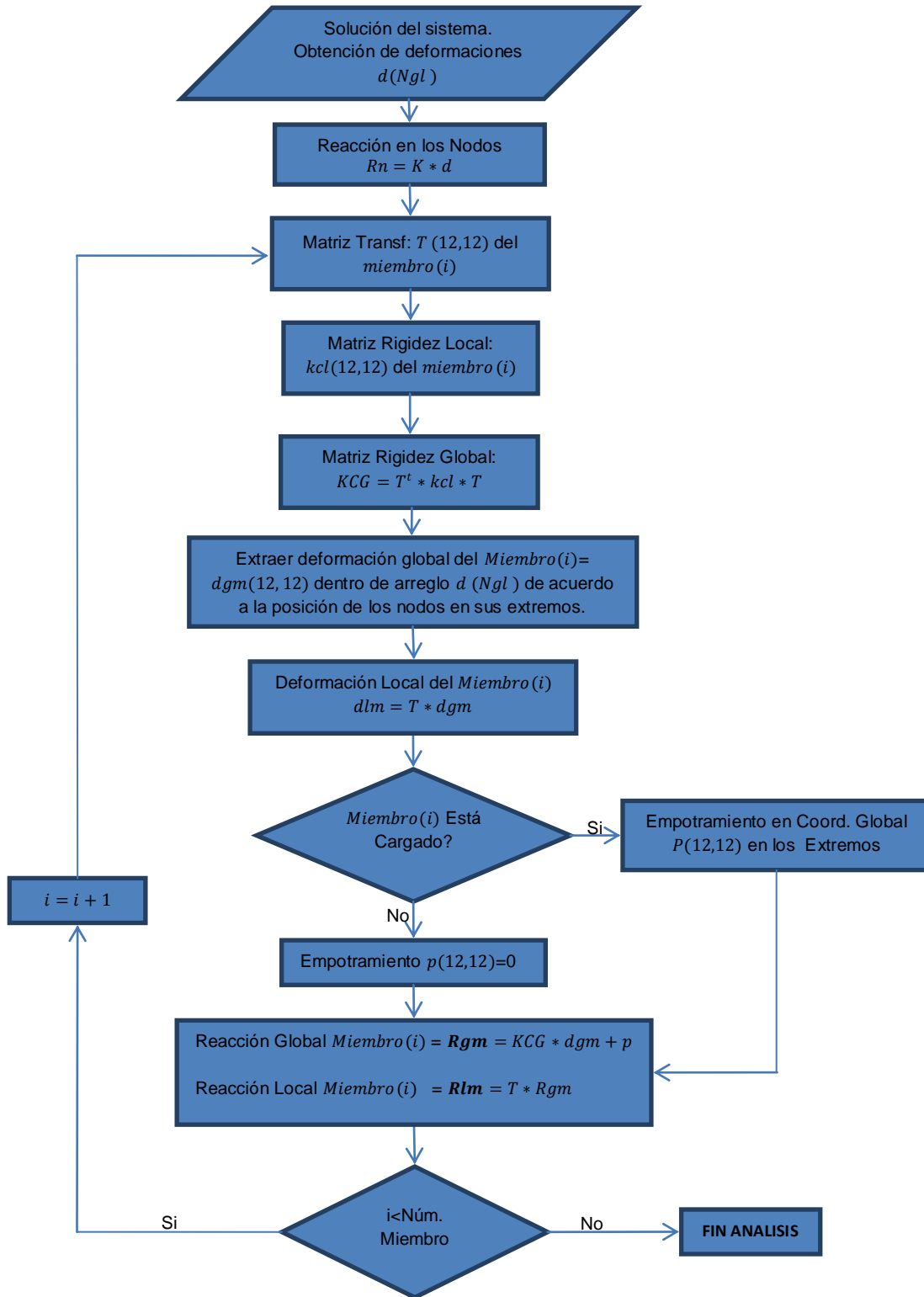
### 4.3.3.1 ENSAMBLAJE DE MATRICES DE LA ESTRUCTURA



### 4.3.3.2 RESOLUCION DEL SISTEMA



### 4.3.3.3 CALCULO DE REACCIONES



# **CAPITULO V**

## **REPASO DE ALGEBRA DE MATRICES**

## 5 ALGEBRA DE MATRICES

### 5.1 MATRIZ CUADRADA

Una matriz con el mismo número de filas y de columnas es llamada matriz cuadrada. Un ejemplo de una matriz cuadrada de (3x3) es:

$$A = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 7 \\ 3 & 9 & 2 \\ 8 & 1 & 5 \end{bmatrix}$$

Los elementos con el mismo subíndice forman la diagonal principal de la matriz cuadrada **A**. La diagonal principal se extiende de la esquina superior izquierda hasta la esquina inferior derecha de la matriz cuadrada. Los elementos fuera de la diagonal principal son términos fuera de la diagonal de elementos.

### 5.2 MATRIZ SIMÉTRICA

Si los elementos de la matriz cuadrada son simétricos respecto a su diagonal principal, la matriz es llamada matriz simétrica. Un ejemplo de una matriz simétrica 4x4 es:

$$A = \begin{bmatrix} 5 & 4 & -8 & 3 \\ 4 & -1 & 2 & 0 \\ -8 & 2 & 7 & 9 \\ 3 & 0 & 9 & 4 \end{bmatrix}$$



### 5.3 MATRIZ DIAGONAL

Si todos los términos que están fuera de la diagonal de elementos son cero, la matriz se conoce como matriz diagonal. Por ejemplo.

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### 5.4 MATRIZ IDENTIDAD

Una matriz diagonal con todos sus elementos iguales a 1, es llamada matriz identidad o unitaria. Las matrices unitarias generalmente se denotan por **I**.

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## 5.5 OPERACIÓN CON MATRICES

### 5.5.1 IGUALDAD

Dos matrices **A** y **B** son iguales si tiene el mismo orden y si sus elementos correspondientes son iguales. Por ejemplo:

$$A = \begin{bmatrix} 5 & 7 & 6 \\ 11 & -1 & 2 \\ 3 & 0 & 8 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 5 & 7 & 6 \\ 11 & -1 & 2 \\ 3 & 0 & 8 \end{bmatrix}$$

Ambas matrices tiene el mismo orden y los elementos de la matriz A son iguales a los elementos correspondientes con la matriz B, por lo que las matrices se consideran iguales,  $A = B$ .

### 5.5.2 ADICIÓN Y SUSTRACCIÓN DE MATRICES

Para sumar o restar dos matrices A y B, estas deben tener el mismo orden, y se llevara a cabo sumando o restando los elementos correspondientes de las dos matrices.

$$R = A_{11} + B_{11}$$

$$R = A_{11} - B_{11}$$

#### 5.5.2.1 POR EJEMPLO:

$$C = A + B$$

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 5 \\ 0 & 4 \\ 3 & 8 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 4 & 7 \\ 2 & 3 \\ 7 & 5 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 6 & 12 \\ 2 & 7 \\ 10 & 13 \end{bmatrix}$$

$$D = A - B$$

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 5 \\ 0 & 4 \\ 3 & 8 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 4 & 7 \\ 2 & 3 \\ 7 & 5 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} -2 & -2 \\ -2 & 1 \\ -4 & 3 \end{bmatrix}$$

Las matrices C y D conservan el mismo orden de las matrices A y B.

### 5.5.3 MULTIPLICACIÓN DE MATRICES

(21). La multiplicación de dos matrices solo se puede llevar a cabo si el número de columnas de la primera matriz es igual al número de filas de la segunda matriz.

Por ejemplo.

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 5 \\ 1 & 4 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 4 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

La matriz  $A$  es de  $2 \times 2$  y la matriz  $B$  es de  $2 \times 3$ , por lo que el producto ( $\mathbf{AxB}$ ) de estas dos matrices está definido, la matriz  $A$  tiene el mismo número de columnas que las filas de la matriz  $B$ . sin embargo, si la secuencia de la multiplicación cambiara a  $\mathbf{BA}$ , el producto no existiría ya que no cumpliría la condición inicial.

Cuando dos matrices son multiplicadas, la matriz producto obtenida tendrá el número de filas de la primera matriz y el número de columnas de la segunda matriz. Entonces si una matriz  $\mathbf{A}$  de orden  $mxn$  multiplicada por una matriz  $\mathbf{B}$  de orden  $nxs$ , entonces el orden de la matriz resultante  $\mathbf{C}$  será de  $mxs$ , entonces,

$$\begin{array}{ccc} \mathbf{A} & \mathbf{B} & = & \mathbf{C} \\ mxn & nxs & & mxs \end{array}$$

Para determinar cada término de la matriz resultante **C** utilizamos, la siguiente ecuación:

$$C_{ij} = A_{i1}B_{1j} + A_{i2}B_{2j} + \dots + A_{in}B_{nj}$$

Para apreciar el procedimiento para la multiplicación de matrices, podemos resolver el siguiente ejemplo:

Determinar **AB**

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

El orden de la matriz resultante **C** es de 2x2, establecido esto, comenzamos a determinar los términos de la matriz resultante **C**.

$$C_{11} = 2 * 1 + 2 * 1 = 4$$

$$C_{12} = 2 * 2 + 2 * 2 = 8$$

$$C_{21} = -1 * 1 + (-1) * 1 = -2$$

$$C_{22} = -1 * 2 + (-1) * 2 = -4$$

Entonces, obtenemos que **C** es igual a:

$$C = \begin{bmatrix} 4 & 8 \\ -2 & -4 \end{bmatrix}$$

#### 5.5.4 INVERSA DE UNA MATRIZ CUADRADA

La inversa de una matriz cuadrada  $\mathbf{A}$  esta definida como una matriz  $\mathbf{A}^{-1}$  con elementos de magnitudes tales que la multiplicación de la matriz original  $\mathbf{A}$  por su inversa da como resultado una matriz identidad  $\mathbf{I}$ .

$$\mathbf{A}^{-1}\mathbf{A} = \mathbf{A}\mathbf{A}^{-1} = \mathbf{I}$$

Por ejemplo, la matriz cuadrada:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 3 & 5 \\ 1 & 4 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{4}{7} & -\frac{5}{7} \\ -\frac{1}{7} & \frac{3}{7} \end{bmatrix}$$

Comprobemos que  $\mathbf{A}\mathbf{A}^{-1} = \mathbf{I}$

$$\mathbf{A}\mathbf{A}^{-1} = \begin{bmatrix} 3 & 5 \\ 1 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{4}{7} & -\frac{5}{7} \\ -\frac{1}{7} & \frac{3}{7} \end{bmatrix} =$$

Multiplicando las matrices, obtenemos:

$$c_{11} = 3 * \frac{4}{7} + 5 * \left(-\frac{1}{7}\right) = 1$$

$$C_{12} = 3 * \left(-\frac{5}{7}\right) + 5 * \left(\frac{3}{7}\right) = 0$$

$$C_{21} = 1 * \frac{4}{7} + 4 * \left(-\frac{1}{7}\right) = 0$$

$$C_{22} = 1 * \left(-\frac{5}{7}\right) + 4 * \left(\frac{3}{7}\right) = 1$$

Entonces,

$$AA^{-1} = \begin{bmatrix} 3 & 5 \\ 1 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{4}{7} & -\frac{5}{7} \\ -\frac{1}{7} & \frac{3}{7} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La operación de inversión es definida sólo para matrices cuadradas. La matriz inversa mantiene el mismo orden de las matrices de origen, en este caso el mismo orden de las matrices **A** y **B**.

### **5.5.5 TRANSPUESTA DE UNA MATRIZ**

La transpuesta de una matriz se obtiene intercambiando sus filas y columnas correspondientes. La matriz transpuesta usualmente se identifica por el superíndice **T** ubicado en el símbolo de la matriz original, por ejemplo, la matriz de 2x3.

$$A = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 1 \\ 7 & 3 & 6 \end{bmatrix}$$

Entonces, la matriz transpuesta de A es:

$$A^T = \begin{bmatrix} 4 & 7 \\ 0 & 3 \\ 1 & 6 \end{bmatrix}$$

# **CAPITULO VI**

## **MANUAL DEL USUARIO**



## INTRODUCCIÓN

Babel 2.0 es un programa que sirve para analizar estructuras, de acuerdo dos modalidades de cálculo que dependen del tipo de miembro. La primera corresponde a “miembros totalmente flexibles”, donde se considera que el miembro se deforma en los seis grados de libertad de cada nodo, y la segunda corresponde a “miembros transversalmente rígidos”, en la que los nodos del miembro no admiten giros en ninguno de sus ejes locales. En éste manual se explicara el uso general del programa, desde todos los puntos de vista. Para eso se ha dividido la aplicación en partes básicas, para su mayor comprensión. Los temas tratados estarán basados en la explicación de menús, barras, ventanas, comandos y botones, mediante la utilización de tablas e imágenes explicativas de los casos presentados. Después de leer este manual, el usuario será capaz de crear un proyecto o recuperarlo desde un archivo, hasta la obtención de los diferentes resultados del análisis en las diversas formas que ofrece el programa.

## REQUERIMIENTO DEL SISTEMA

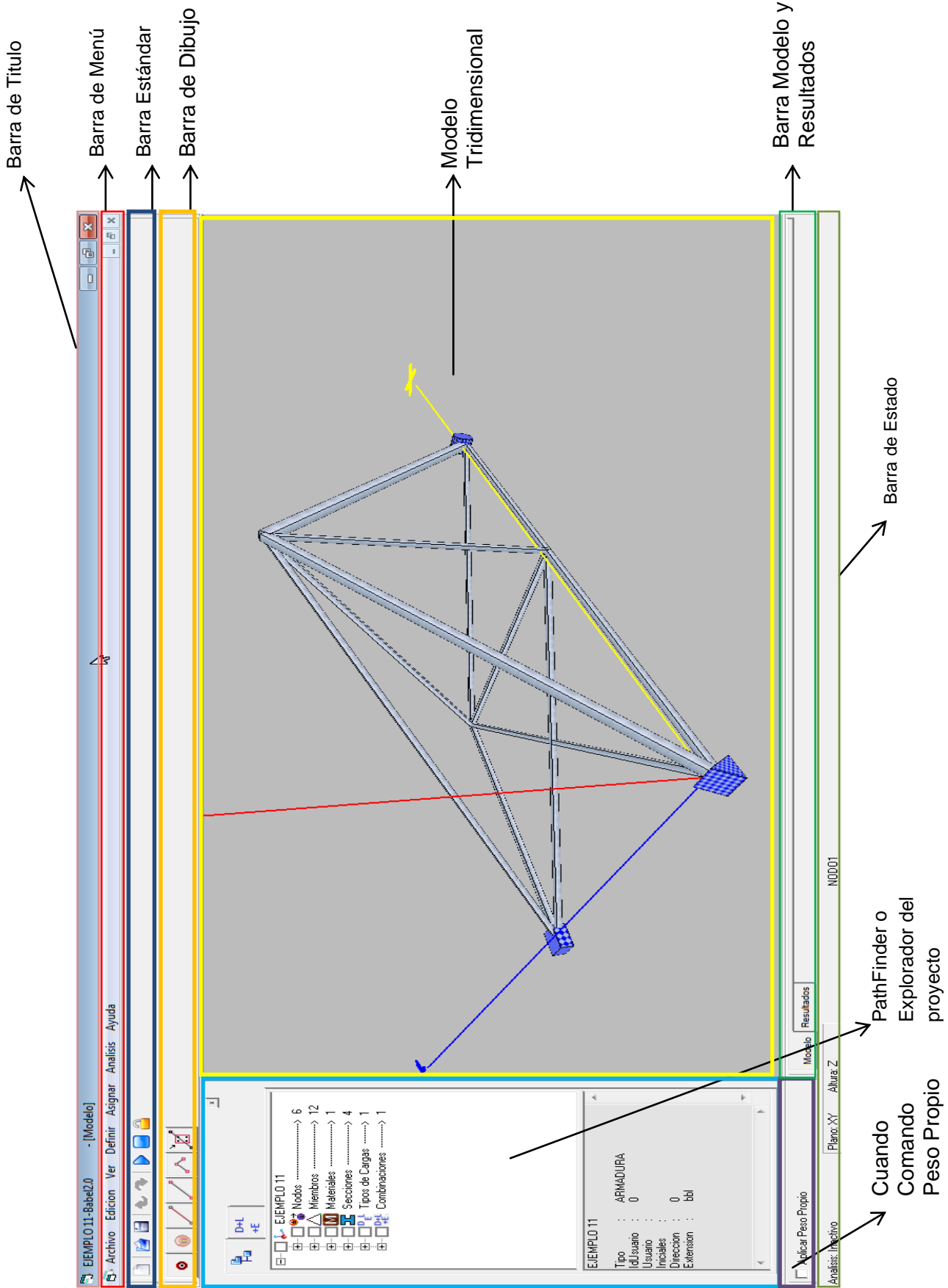
Para hacer uso de Babel 2.0, es necesario que usuario disponga de los siguientes requisitos mínimos que garantizaran que el programa pueda tener un excelente funcionamiento durante el análisis de la estructura que el usuario proponga:

- SISTEMA OPERATIVO: Los sistema donde se comporta muy bien el programa son:
  - ✓ Windows XP
  - ✓ Windows Seven
  
- DISPOSITIVOS BÁSICOS
  - ✓ Mouse con rueda de desplazamiento
  - ✓ Tarjeta Gráfica (Este dispositivo es opcional, pero existirán casos donde se hará necesario, por qué OpenGL lo requerirá)
  
- ARCHIVOS DE IMAGEN COMPATIBLES: Los archivos compatibles para aplicación de texturas Babel 2.0 son los formatos de mapa bits (\*.bmp) de 24 bits en los siguientes tamaños:
  - ✓ 256 x 256
  - ✓ 128 x 128
  - ✓ 64 x 64
  - ✓ 32 x 32
  - ✓ 16 x 16

## **6 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA**

### **6.1 CONOZCAMOS LA INTERFAZ GRAFICA**

En éste primer paso vamos a conocer el conjunto de ventanas y botones con el cual vamos a interactuar con el modelo tridimensional de la estructura, que va desde conocer la información básica de usuario, nombre y tipo de estructura, hasta los resultados finales de los nodos y de cada elemento. Para eso se ha dividido la ventana de Babel 2.0 en 9 partes para facilitar su comprensión:



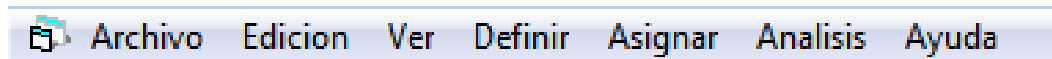
### 6.1.1 BARRA DE TÍTULO

En éste espacio se podrá ver el nombre del archivo que esté abierto, junto con el nombre del programa “Babél 2.0”. Así mismo se indica el tipo de ventana actual (“Modelo” o “Resultados”). En su parte derecha podemos ver que se agrupan los botones para cerrar, minimizar o maximizar el proyecto, tal cual como se puede ver en la imagen:



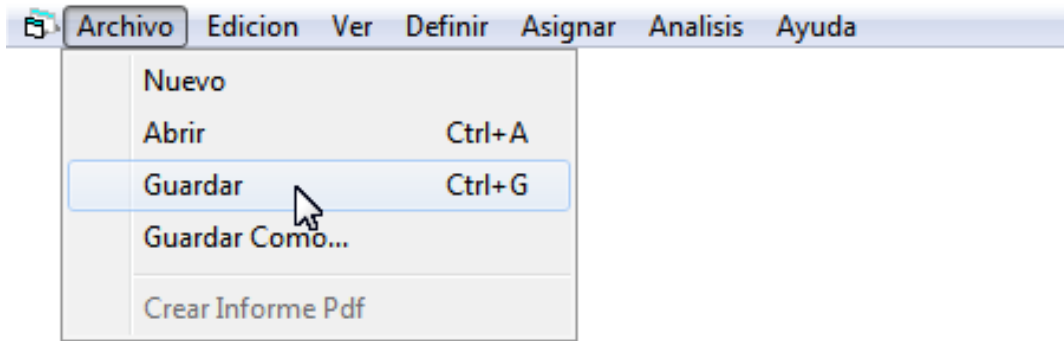
### 6.1.2 BARRA DE MENÚ

Esta barra contiene todos los comandos, suficiente para la construcción del modelo estructural, para la edición elementos, para el modo de visualización, para la generación de archivos, para la asignación de carga, para el análisis y otros.



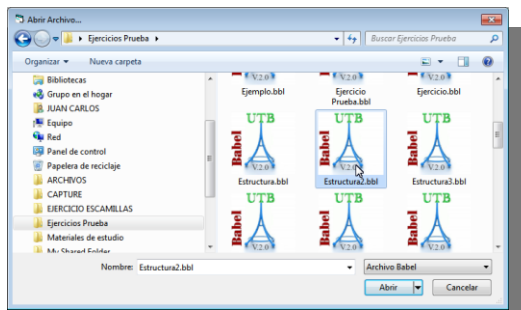
#### 6.1.2.1 Menú Archivo

En ésta sección el usuario puede iniciar un proyecto completamente nuevo o abrir un proyecto que se halla guardado. Si el proyecto es nuevo el usuario puede guardarlo en cualquier directorio del disco duro, generando un archivo con extensión “.bbl”, la cual está asociada al programa Babél 2.0.

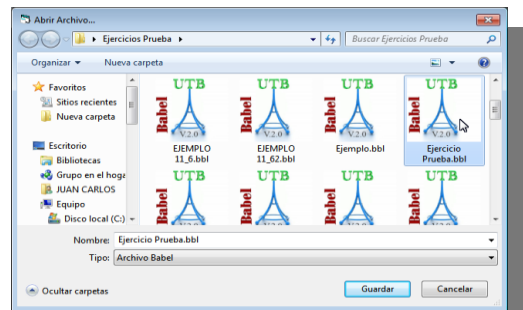


### 6.1.2.1.1 Guardar y Abrir proyecto

Cuando el usuario desea guardar o abrir un proyecto se muestra una ventana en donde se selecciona el archivo que se desea abrir, o la carpeta en donde se desea guardar la información de la estructura.



**Ventana abrir...**



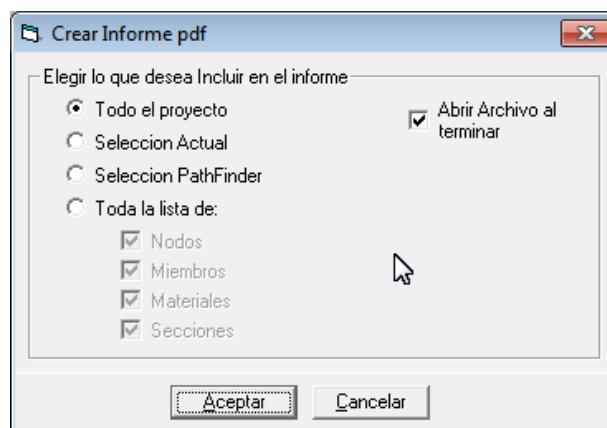
**Ventana Guardar...**

### 6.1.2.1.2 Crear Informe PDF

También se puede generar un informe completo o parcial en formato PDF del proyecto en cuanto a desplazamiento, rotaciones, y diagramas resultantes, en la que se incluye únicamente los nodos, los elementos, los materiales y las secciones asociadas a la estructura analizada. En la imagen se puede observar

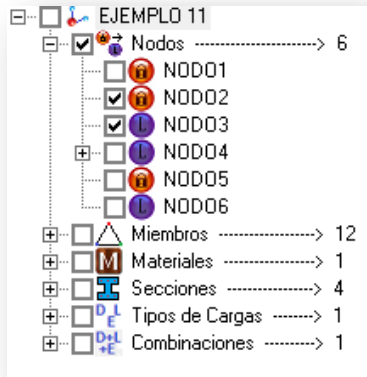
que el comando esta desactivado, pero se puede activar después que la estructura ha sido analizada.

Cuando el usuario haya analizado la estructura y desee obtener informe en PDF, primero debe clicar en “Archivo/Crear Informe Pdf”, luego se debe indica la carpeta en donde se guardara el archivo y por último se abrirá una ventana en donde se puede seleccionar lo que se desea incluir en el informe, tal y como muestra la siguiente ventana:



- Si escoge la opción “*Todo el proyecto*”, se crear un informe completo del análisis en los nodos, elemento, materiales y secciones utilizadas en la estructura.
- Si el usuario tiene seleccionado algunos elementos como nodos o miembros, puede usar la opción “*Selección actual*” y luego presionar aceptar. Con lo que se crea el informe de un tipo particular, ya sea de varios miembros o varios nodos. El informe de nodos seleccionados puede incluir los nodos restringidos o libres. El informe de miembros seleccionados, va asociado a los materiales y seccionadas utilizadas en dicho elementos.

- Si en el Pathfinder o explorador del proyecto se han marcado los elementos que se desean obtener resultado, aparecerá automáticamente marcada la opción “Selección Pathfinder” que al igual que la opción anterior crear informe específico de elementos seleccionados, de manera individual.

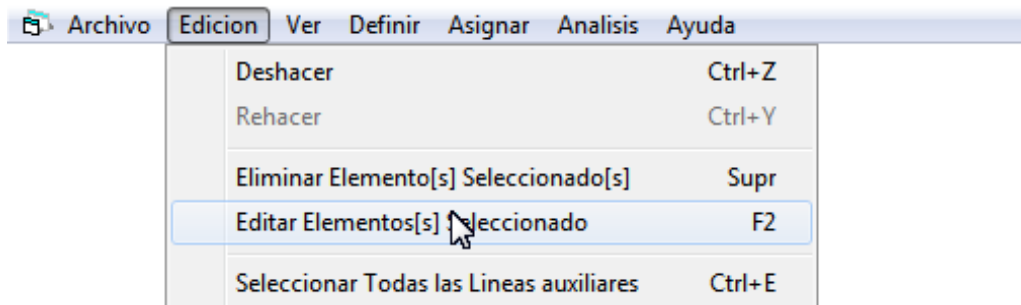


Para crear este tipo de informe primero deben aparecer en las casillas izquierdas de cada elemento una marca “☑”, que indica que éste elemento se tendrá en cuenta en el informe.

Si el usuario desea crear informe solamente de una lista específica puede seleccionar la opción “Toda la lista de” y marcar la lista que desee y luego aceptar.

### 6.1.2.2 Menú edición

En este menú encontramos los comandos más usuales de un programa, tales como “Deshacer [ctrl+z]”, “Rehacer [Ctrl+y]”, “Editar elementos [F2]”, “Eliminar Elementos [Supr]” o “seleccionar líneas auxiliares [Ctrl+E]”,.





Es importante que un programa sea capaz de editar elementos a medida que se está trabajando en un proyecto, así mismo debe ser capaz de recuperar el estado anterior con solo presionar los comandos rápidos (ctrl+z o ctrl+y):

#### *6.1.2.2.1 Comando Deshacer*

Recupera información del proyecto a un estado anterior a medida que se avanza en la construcción de la estructura.

#### *6.1.2.2.2 Comando Rehacer*

Permite recuperar información de proyecto, a un estado posterior de avance.

#### *6.1.2.2.3 Comando Eliminar Elemento*

Para eliminar elementos primero se debe tener seleccionados los elementos que se desean eliminar.

#### *6.1.2.2.4 Comando Editar Elemento*

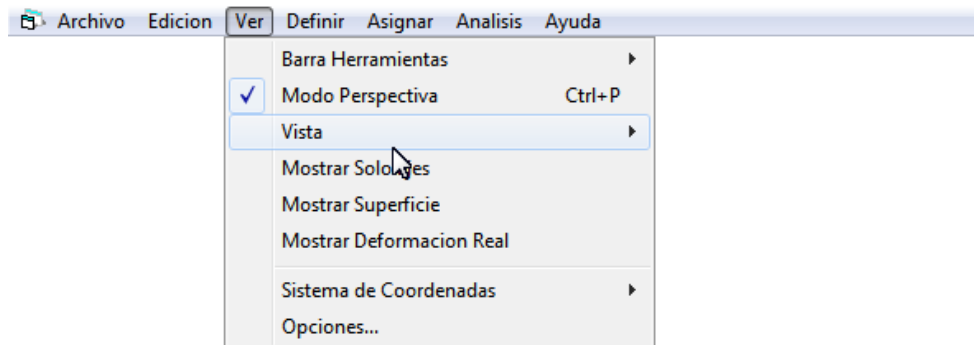
Para editar elementos primero se debe tener seleccionados los elementos que se desean editar.

#### *6.1.2.2.5 Comando Seleccionar Líneas auxiliar*

Si las líneas de referencias o guías, las cuales van orientadas de nodos a nodo, están visibles entonces puede seleccionar todas las líneas como éste comando y aplicar operaciones donde se aproveche la selección pertinente.

### 6.1.2.3 Menú Ver

En éste menú puede encontrar comandos para controlar la parte visual tanto del modelo como del espacio de trabajo.



#### 6.1.2.3.1 Ver Barras de herramientas

Esta opción permite mostrar u ocultar ventanas del espacio de trabajo como es la barra de estado, la barra estándar, la barra de dibujo o explorador del proyecto.

#### 6.1.2.3.2 Comando MODO PERSPECTIVA

Si este comando se encuentra activo indica que puede ver el modelo, tal cual como lo vería en la realidad, pero en caso contrario se vería en modo ortogonal en las diferentes vistas como son la superior, frontal, lateral derecha, lateral izquierda o detrás.

#### 6.1.2.3.3 Submenú Vista

Este submenú contiene los comandos para ver el modelo en las diferentes vistas y sus respectivas teclas rápidas:

✓ Arbitrario	F6
✓ Superior	F7
✓ Lateral derecha	F8
✓ Lateral izquierdo	F9
✓ Frontal	F11
✓ Detrás	F12

#### 6.1.2.3.4 Comando SOLO EJES

Si este comando está activo indica que solamente se verán los ejes del elemento, en caso contrario se mostrará la sección transversal.

#### 6.1.2.3.5 Comando MOSTRAR SUPERFICIE

Con este comando se puede ocultar/mostrar el plano del escenario.

#### 6.1.2.3.6 Comando DEFORMACION REAL

Cuando este comando está activo, no se tiene en cuenta el factor de escala y durante el análisis la estructura se deforma con los desplazamientos calculados. La deformación real tiene desventajas frente a una deformación a escala, porque si los desplazamientos son tan pequeños, no se podrá ver hacia donde se moverá o si el desplazamiento si lo desplazamientos son muy grandes entonces la estructuras mostrar una deformación fuera del escenario. La deformación a escala

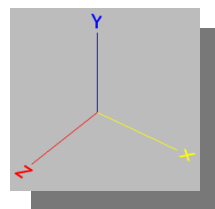
obliga a que el mayor desplazamiento o giro sea forzado a deformarse a las unidades configuradas por el usuario sin modificar los resultados originales.

#### 6.1.2.3.7 Escoger Sistema de Coordenadas

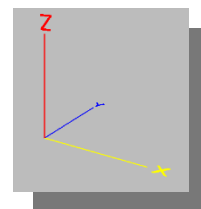
Babel 2.0 brinda la facilidad de cambiar de un sistema de coordenada a otro con solo seleccionar el plano en el cual estará soportada la estructura. Los dos sistema que maneja Babél 2.0 son el plano XY, donde la altura es Z y el plano XZ, donde la altura es Y.

Cuando se tiene construido una estructura con todos sus elementos ensamblados y las cargas aplicadas, el usuario puede cambiar de sistema de coordenadas, pero puede ocurrir lo siguiente:

- Todas las posiciones de los nodos se ajustaran al nuevo sistema de coordenadas.
- Si las cargas son globales también se aplicaran los cambios al nuevo sistema, pero si las cargas están orientadas con base a un sistema ejes locales los cambios serán ignorados. Más adelante se darán varios ejemplos para que sea entendible este caso.



*Sistema de Coordenada en Plano XZ*

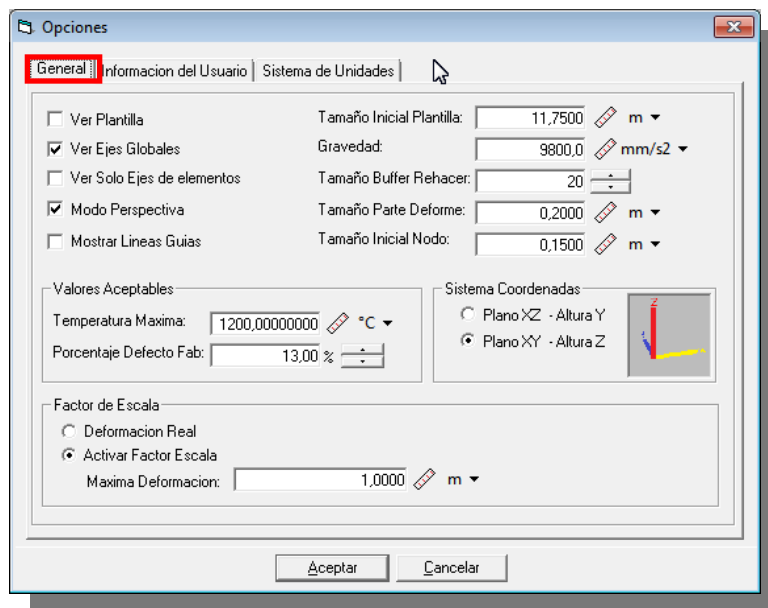


*Sistema de Coordenada en Plano XY*

### 6.1.2.3.8 Menú Ver/Opciones

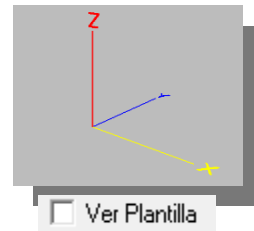
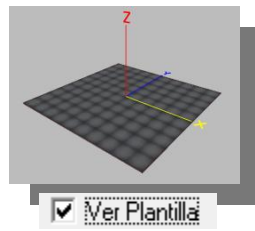
En ésta parte del menú ver, se podrá configura el sistema estructurar, ya sea en el sistema de unidades, información del usuario o la configuración inicial con la que va iniciar los proyecto posteriores a la configuración que se haga. Al clicar este comando se abrirá una ventana que contiene una pestaña general, información de usuarios y el sistema de unidades que se desea usar para la entrada y salida de datos:

#### ✓ Pestaña de Opciones Generales:

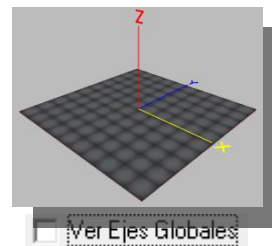
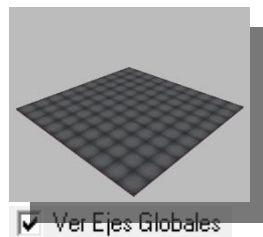


En esta pestaña el usuario puede configurar el escenario del proyecto presente y futuro, con el fin de que la configuración deseada permanezca en todos los proyectos siguientes. En la opción general se puede encontrar las siguientes informaciones:

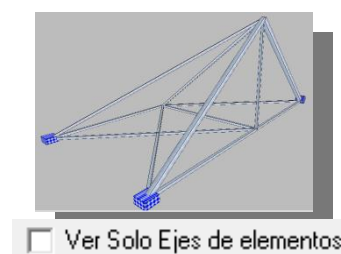
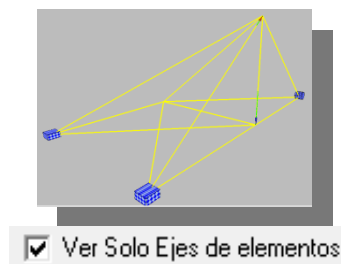
- **Ver plantilla:** si la casilla izquierda se encuentra activa, entonces todos los proyectos iniciaran con un plano o una superficie paralela al plano del sistema de coordenada, de lo contrario la superficie estará oculta. Las imágenes siguientes muestran los estados del comando:



- **Ver Ejes Globales:** si la casilla izquierda se encuentra activa, entonces todos los proyectos iniciaran con el sistema de coordenadas escogido en el recuadro “Sistema de coordenadas”, de lo contrario, quedar oculta. Las imágenes siguientes muestran los estados del comando:

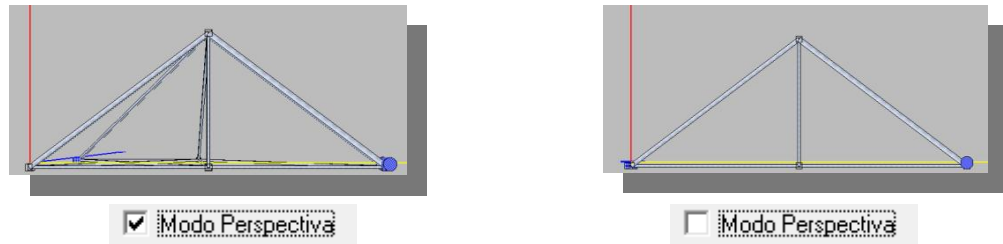


- **Ver Solo Ejes de elemento:** si la casilla izquierda se encuentra activa, entonces todos los proyectos iniciaran con el eje del elemento, de lo contrario, se verán la sección transversal y la textura del material asociado. Una ventaja de ver solamente los ejes de los elemento es que el modo de visualización es más rápido. Las imágenes siguientes muestran los estados del comando:

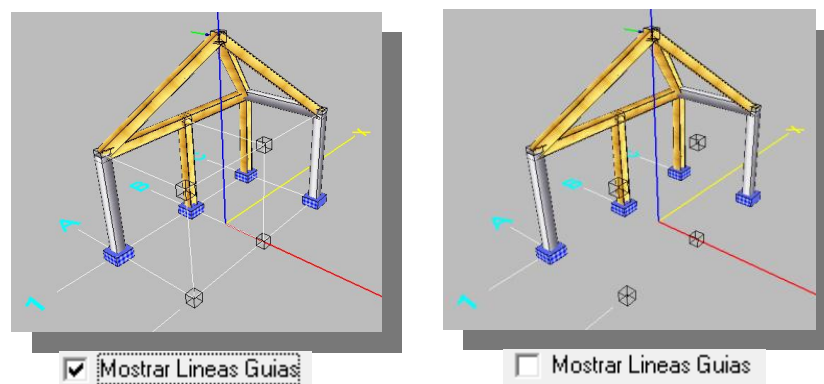


- **Ver Modo Perspectiva:** si la casilla izquierda se encuentra activa, entonces todos los proyectos iniciaran a modo perspectiva, de lo contrario, en modo ortogonal. Las vistas ortogonales no admiten rotaciones, solamente puede

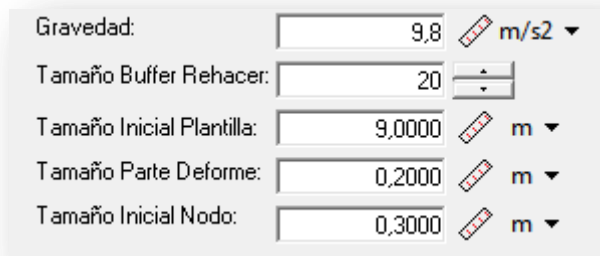
ver el modelo en las diferentes vistas y moverlo a en la pantalla. Las vistas que soporta Babel2.0 las puede ver en el menú “Ver/Vistas” y aplican tanto para modo perspectiva como para ortogonal.



- **Mostrar Líneas Guías:** si la casilla izquierda se encuentra activa, entonces todos los proyectos iniciaran con líneas visibles de nodo a nodo, de lo contrario, solo se mostraran los nodos de la estructura. La línea guías no hacen parte de la estructura, solamente ayudan a la colocación de miembros en la posición inicial y final de los nodos correspondientes. Las líneas se pueden ver de dos modos, mediante un sistema de grillas rectangulares y de modo libre, pero esto depende del modo en que se inicie el proyecto. Las líneas guías también se nombraran como líneas auxiliares. Las siguiente imágenes muestran cómo se verá este comando en el escenario:

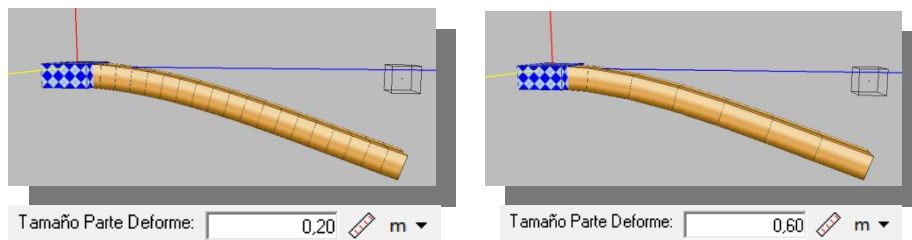


- **Otras configuraciones** que el usuario puede cambiar si desea, es la precisión de la gravedad. Existen personas que usan la gravedad en 9,8 m/s<sup>2</sup>, pero existen otras que usan un valor más redondo como 10 m/s<sup>2</sup>; este valor en la estructuras es solamente para el cálculo del peso de los miembros, que al multiplicarlo por la densidad del material asociado a cada elemento y el área de la sección transversal resulta una carga distribuida uniforme a los largo del elemento.



El tamaño de memoria por defecto para guardar la modificaciones de la estructura es 20, y se puede recuperar los cambios anteriores con solo presionar las teclas “**Ctrl+Z**”, si el usuario desea más espacio de memoria, puede agrandarlo a un máximo de 100.

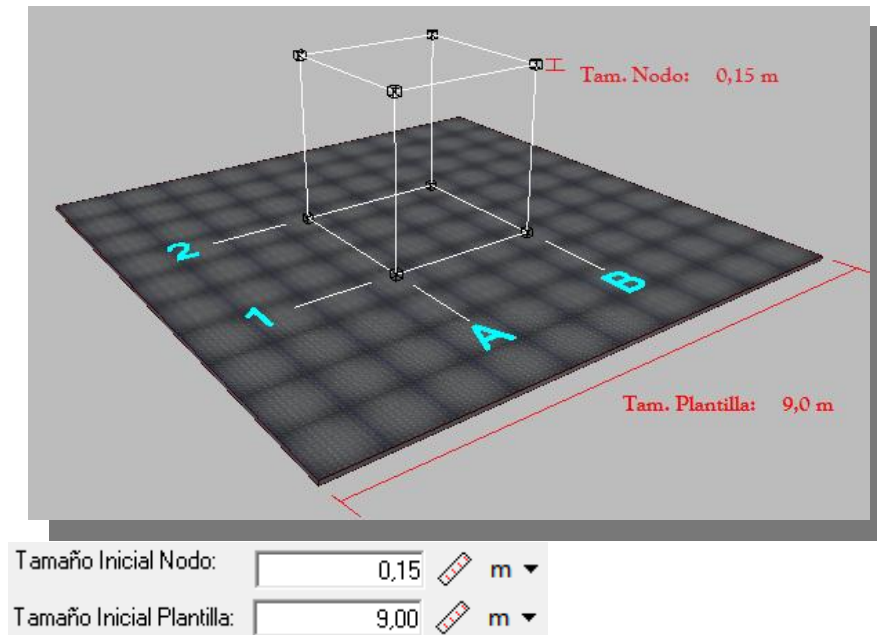
En esta configuración también se puede modificar el tamaño de las partes del elemento deformado, como se puede ver en las siguientes imágenes:



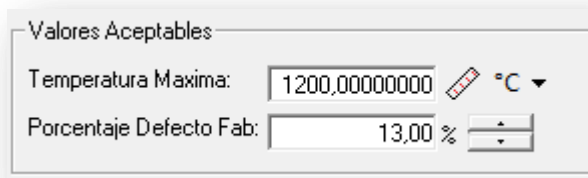
El tamaño inicial de la plantilla y de los nodos se pueden ajustar en las entradas “Tamaño Nodo Inicial” y “Tamaño Inicial de Plantilla”, pero estos



tamaños se van ajustando de acuerdo al tamaño de las aristas de las de las secciones transversales y la posición de los nodos respectivamente:

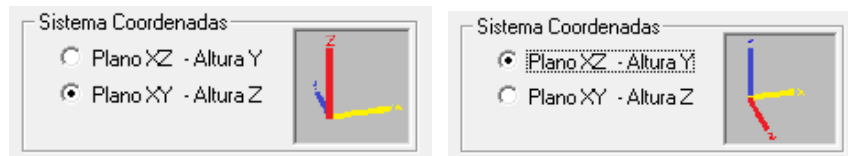


- **Valores aceptables del sistema:** esta configuración permite controlar la temperatura máxima que se le puede asignar a un elemento y el porcentaje máximo defecto que puede tener dicho elemento con respecto a su longitud. En la imagen siguiente se puede ver que el sistema soportaría máximo 1200 °C y el defecto que puede tener un elemento es del 13% máximo, cualquier otro valor no lo acepta.

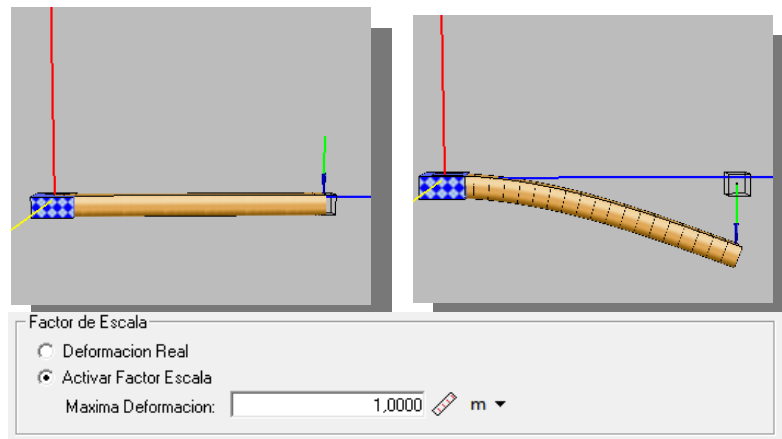


- **Sistema de coordenadas:** en este panel de control se puede configurar el sistema de coordenadas que se desea iniciar a los proyectos. A cada eje del sistema de coordenadas se le ha asignado un color para facilitar las

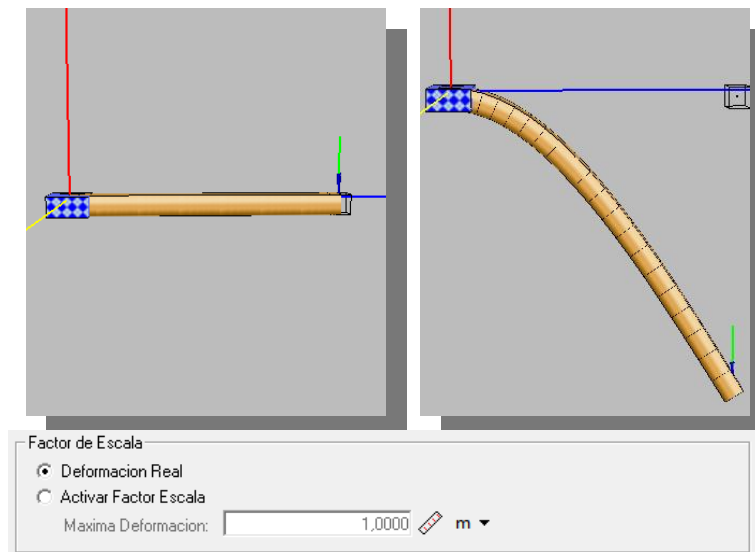
orientaciones de los ejes globales y locales, por lo cual podemos decir que para X="Color Amarillo", Y="Color Azul" y Z="Color Rojo". Es importante reconocer estos colores por que los sistemas de ejes locales no poseen texto que indiquen el nombre de estos ejes, pero el color debe indicarlo. Cambiar un sistema de eje desde este panel, debe implicar los mismos casos expuestos anteriormente: las siguiente imágenes muestran los dos tipos de coordenadas que soporta Babel 2.0:



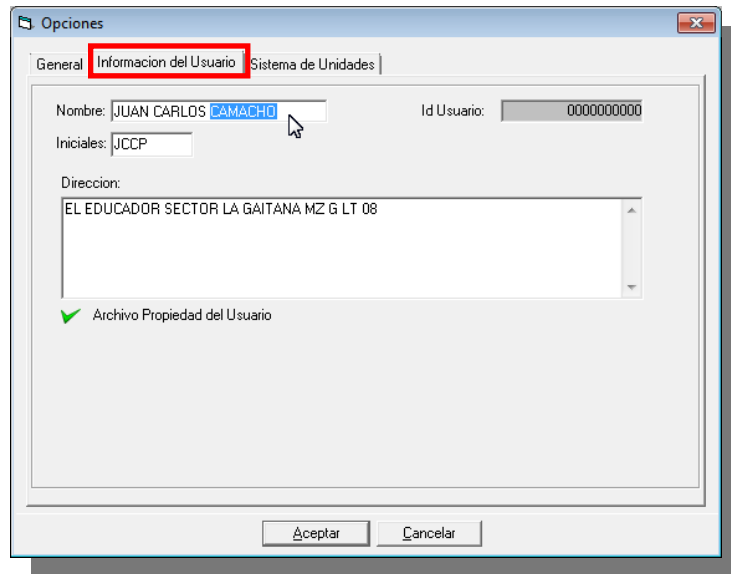
- **Factor de escala:** Si el usuario aplica un factor de escala a la deformación de la estructura que genere Babel 2.0, lo que está haciendo es forzando a que la máxima deformación, ya sea en desplazamiento o rotación, se deforme visualmente las unidades que se ingrese en la casilla "*máxima deformación*". Por ejemplo la imagen siguiente lo que indica es que la máxima deformación que tenga la estructura va a forzarse visualmente para que sea un metro, no importando si el máximo obtenido sea mayor o menor. Las siguiente imagen muestra como sería el comportamiento de esta comando:



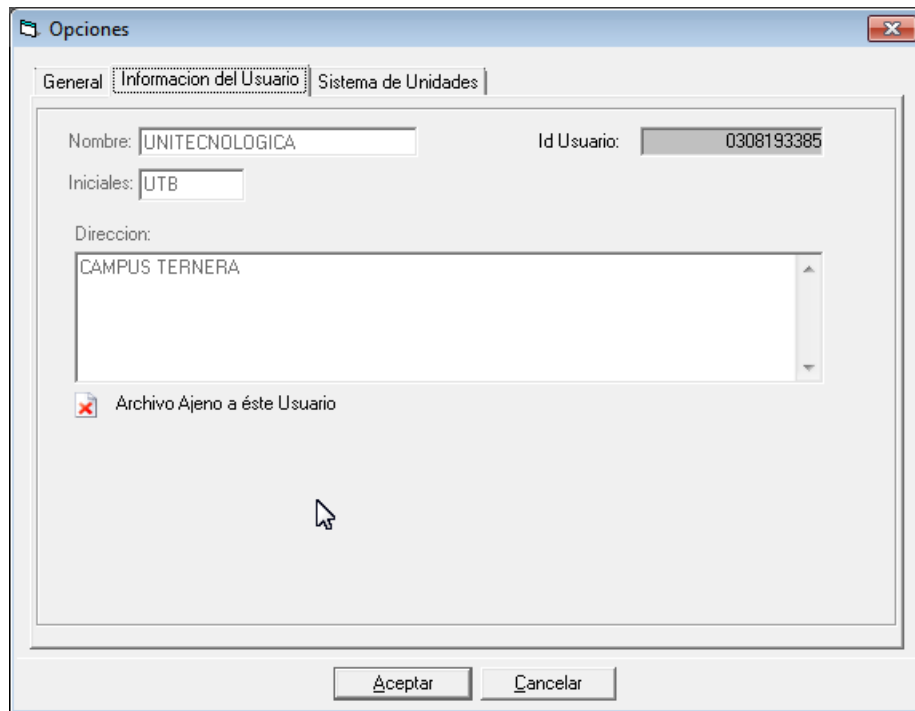
Pero si no se aplica un factor de escala, se verá la deformación tal cual fue calculado. La desventaja es que si la estructura tiene deformaciones muy grandes, entonces la deformación se saldrá del campo de visualización o escenario. En las siguientes imágenes se ve el mismo caso anterior pero utilizando la deformación real:



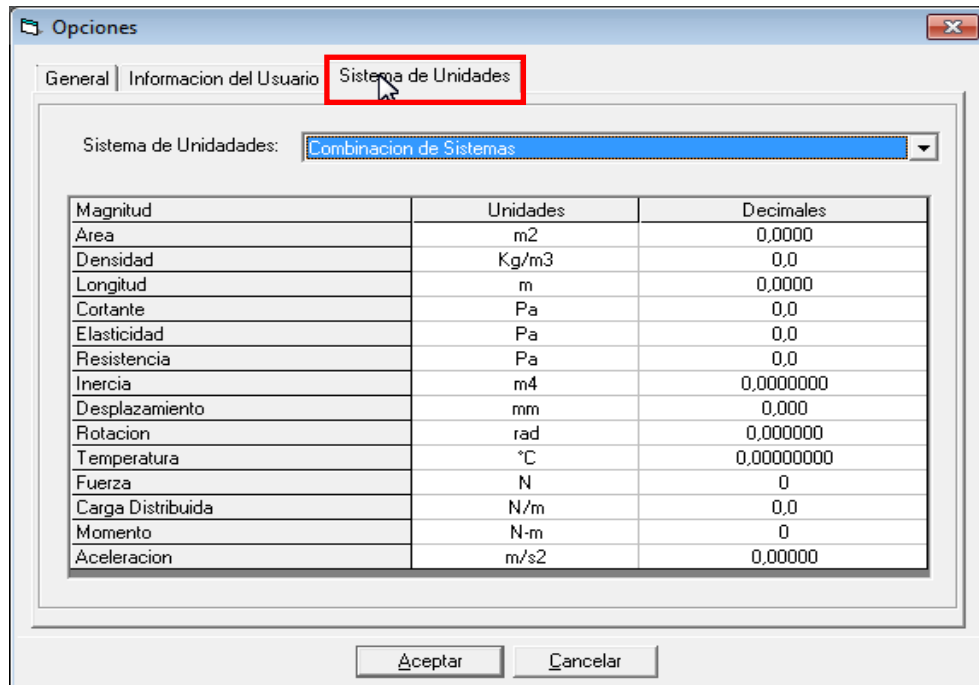
✓ Pestaña de opciones de Información del Usuario:



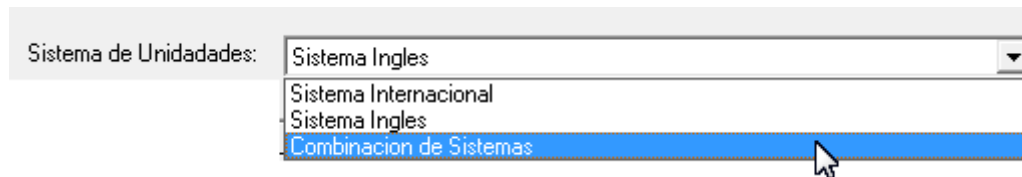
- La única entrada de información del usuario se hace desde esta ventana. Desde aquí se ingresa el nombre, algunas iniciales y la dirección de la vivienda o sitio desde donde se esté usando el programa. El ID de usuario es obtenido automáticamente al momento de la instalación de éste. Los archivos que arroja Babel 2.0 serán identificado con el número ID USUARIO, con lo cual, otra instalación de Babel 2.0 en otro sistema operativo no permitiría la modificación de esta información de usuario guardada en archivo ajeno e indicaría la autenticidad del archivo junto con una imagen. Si la autenticidad es propiedad del usuario, éste puede modificar la información básica del usuario, pero en caso contrario no. La siguiente imagen muestra la información del usuario quien creo el siguiente archivo:



✓ Pestaña de Opciones de Sistema de Unidades:



Desde esta ventana se puede configurar el sistema de unidades que se va usar en el proyecto. Los sistemas de unidades que soporta Babel 2.0 son dos:

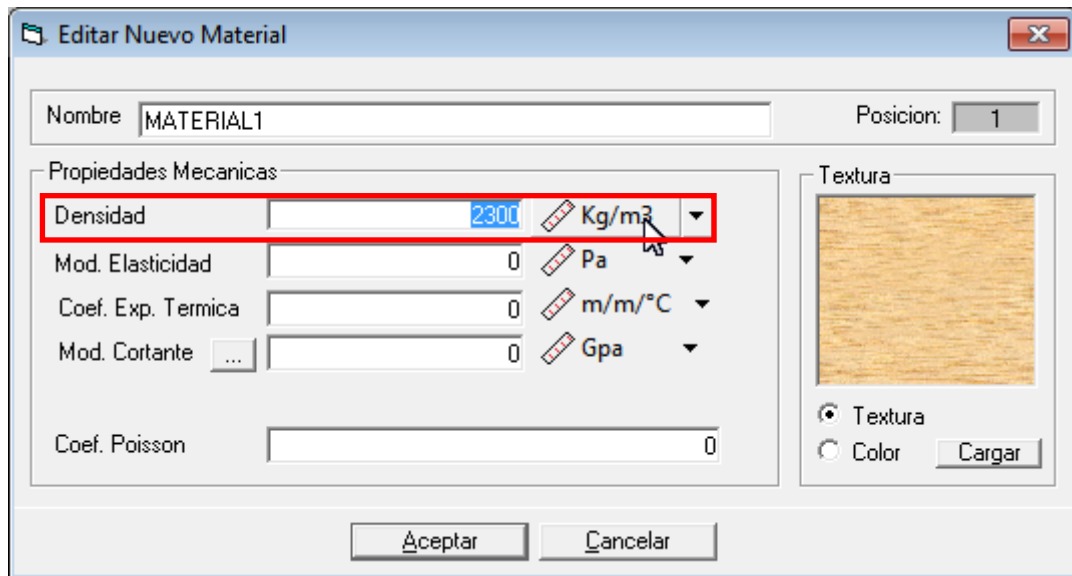


- Sistema Internacional.
- Sistema Ingles.
- El tercer sistema que aparece es una combinación de los dos sistemas mostrados anteriormente.

La tabla que se muestra a continuación es donde podemos visualizar y configurar las unidades principales del proyecto de acuerdo al tipo de magnitud utilizada. Al mismo tiempo podemos fijar el número de decimales con la que se va a mostrar la información.

Magnitud	Unidades	Decimales
Área	cm <sup>2</sup>	0
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	0,0
Longitud	m	0,0000
Cortante	Gpa	0,000
Elasticidad	Pa	0,0
Resistencia	Pa	0,0
Inercia	m <sup>4</sup>	0,0000000
Desplazamiento	m	0,000000
Rotacion	rad	0,000000
Temperatura	°C	0,00000000
Fuerza	N	0
Carga Distribuida	kN/m	0,0000
Momento	kN-m	0,00000
Aceleracion	m/s <sup>2</sup>	0,00000

Por ejemplo, el formulario donde se ingresa la información de un material podemos encontrar la magnitud “Densidad”, y al lado encontramos la unidad principal con la que vamos a ingresar la información de dicha magnitud.

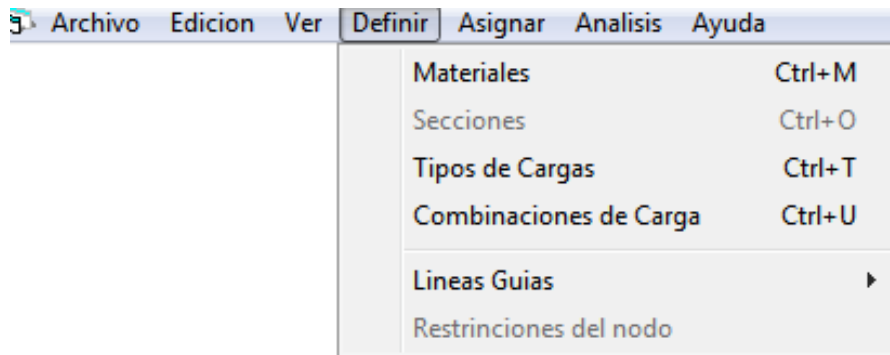


Para cambiar las unidades que se desean usar en el sistema estructural simplemente se selecciona una celda de la columna “Unidades” y aparecerá un control con una triangulo en su lado derecho, como muestra la tabla anterior y al clicar sobre dicho triangulo aparecerá una lista de unidades opcionales correspondientes al mismo tipo de magnitud. Así mismo en la columna “Decimales”, puede fijar el número de decimales que desea ver en la respectiva magnitud.

Al presionar el botón “Aceptar” de la ventana de opciones, queda guardada toda la información como la predeterminada de todos los proyectos posteriores. Si se presiona cancelar no se aplica ningún cambio.

#### 6.1.2.4 Menú Definir

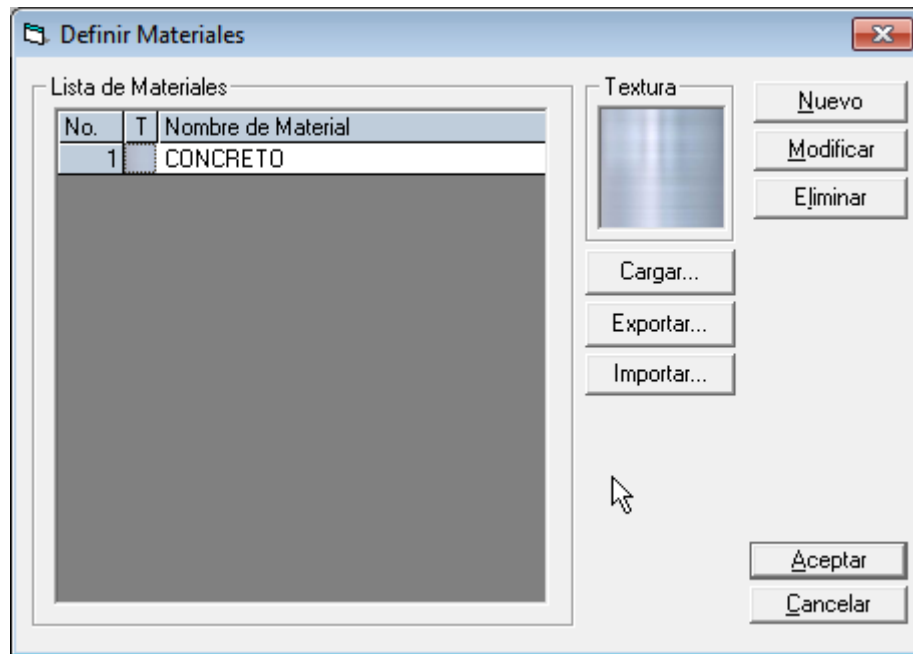
Desde este menú se podrán crear los elementos básicos de la estructura como son los materiales, las secciones transversales de los elementos, los tipos de cargas y las combinaciones de los tipos de cargas.



##### 6.1.2.4.1 Definir/Materiales

La primera fase para llevar a cabo la construcción de la estructura en Babel 2.0, es la definición de los materiales a usar en la estructura, los cuales van asociados a un tipo específico de sección transversal. Por ende, si no se ha definido ningún material entonces no se permite definir secciones. Al clicar en "Materiales" o al presionar las teclas "Ctrl+M" se abrirá la siguiente ventana, donde estará definido toda la lista de materiales:

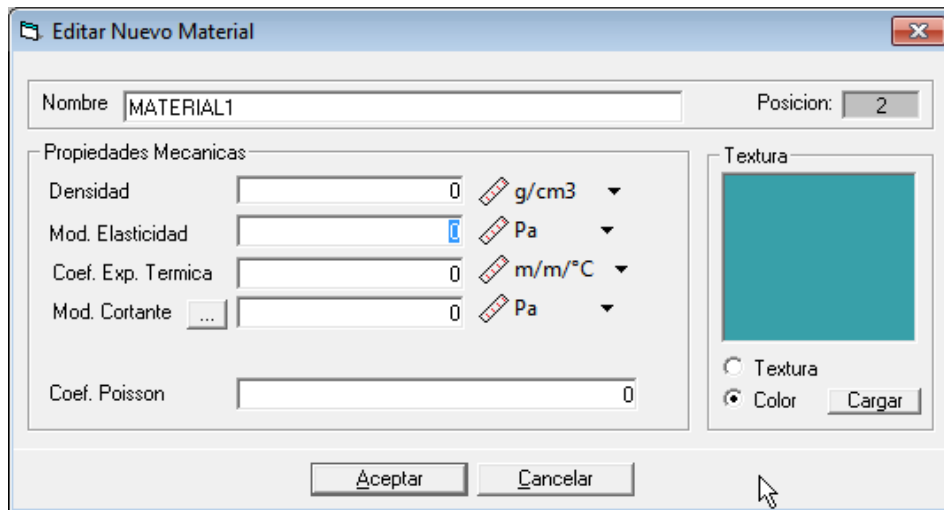




Desde esta ventana se puede crear, modificar, eliminar, exportar, importar, o cargar un material con todas las características básicas para el análisis de estructura:

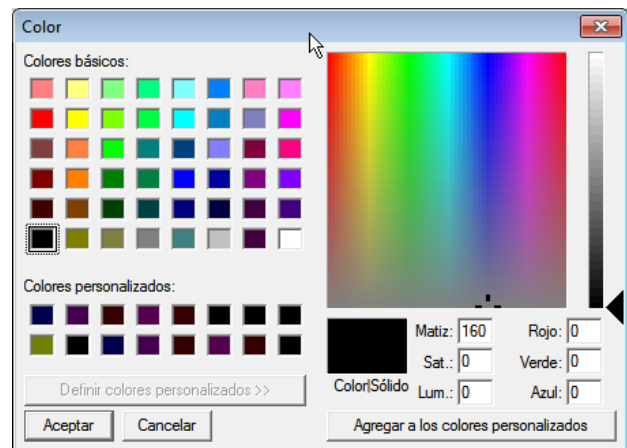
✓ Crear un Material Nuevo

Al presionar “Nuevo”, se abrirá una ventana donde se ingresara el Nombre del material, la densidad, el módulo de elasticidad, el coeficiente de expansión térmica y el coeficiente de Poisson en las unidades correspondientes. Al ingresar el coeficiente de poisson automáticamente se calcula el modulo cortante con base al módulo de elasticidad, pero si desea ingresar otro modulo cortante puede pulsar el botón que está al lado “...” e ingresar el valor deseado y este recalcula un nuevo valor para el coeficiente de poisson.

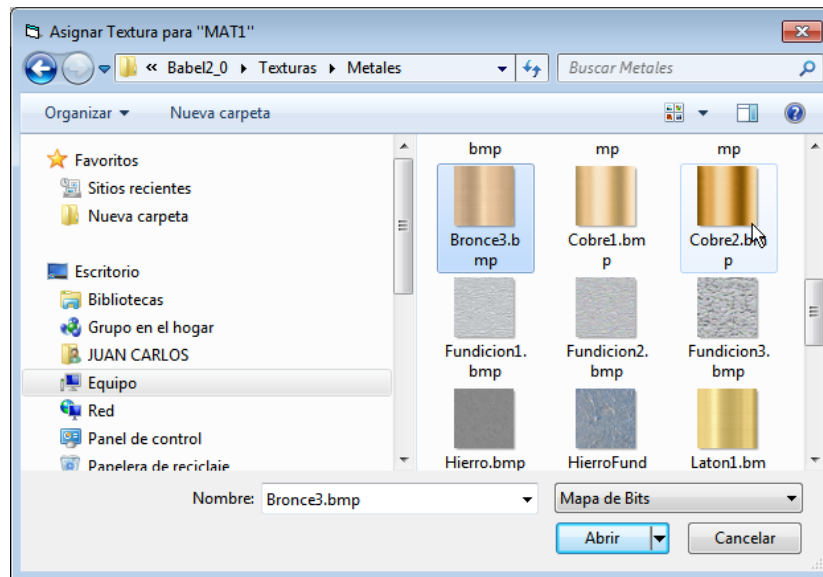


Si se desea ingresar un color o una textura al material, se debe seleccionar alguna de las opciones “Textura” o “Color”, y seleccionar el color o la imagen que representara al material. Por defecto aparece el color mostrado en el recuadro “Color”:

Para asignar un color al material debe estar seleccionada la opción “Color” y se presiona el botón “Cargar” y se abre una ventana con una paleta de colores, se escoge el color deseado y listo!:



Para Asignar una textura al material debe estar seleccionada la opción “Textura”, y luego presionar el botón “Cargar”. Se abre una ventana donde se debe seleccionar el archivo de imagen en formato “.bmp”, como muestra la siguiente imagen:



Los tamaños recomendables para aplicación de textura a los materiales en Babel 2.0 son los siguientes:

- 256x256
- 128x128
- 64x64
- 32x32
- 16x16

Cualquier otro tamaño es posible que no se aplique o produzca error.

✓ *Modificar un Material*

Para modificar un material debe seleccionar la fila que desee en la lista y presionar el botón “Modificar”, o puede dar doble click sobre el material deseado, y luego aparecerá la misma ventana del nuevo material, pero con los datos del material a modificar.

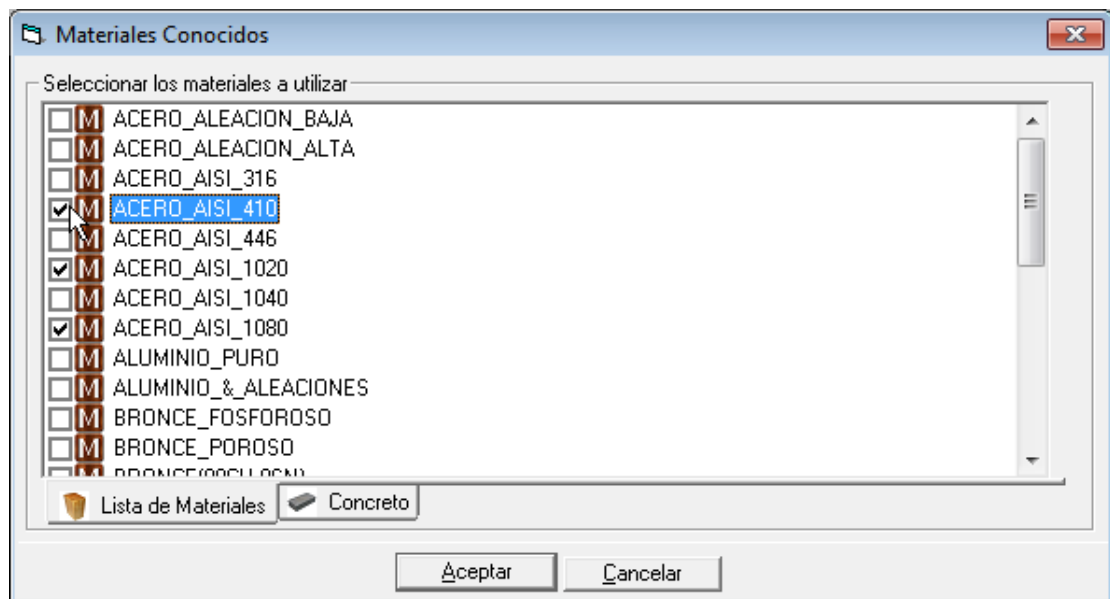
✓ *Eliminar un Material*

Para eliminar un material debe seleccionar la fila que desee en la lista y presionar el botón “Eliminar”. Para eliminar un material, éste no debe estar asociado a

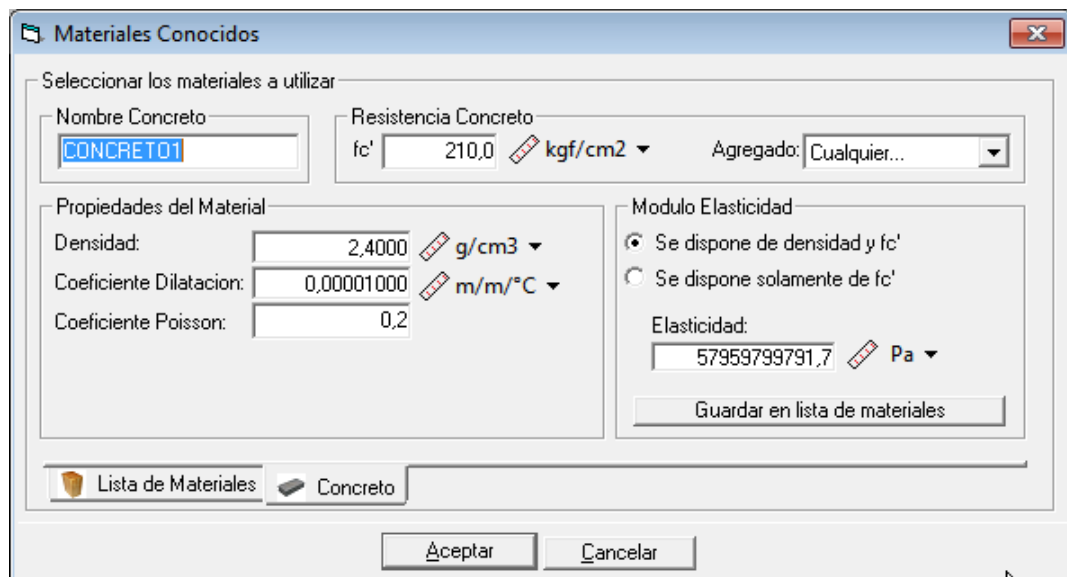
ningún tipo de sección, pero si el caso se presenta, debe primero ir la sección que contiene el material y desvincularlo.

✓ Cargar un Material

El usuario puede cargar uno o varios materiales ya conocidos de una base de dato, que contiene materiales comunes con sus texturas asociadas o puede crear un tipo de concreto de acuerdo a las normas NSR 2010. Para eso, se pulsa el botón “Cargar...” y aparecerá una ventana con dos pestañas en su parte inferior, para la selección del material o la creación del concreto respectivamente:



Para ingresar los materiales de la base de dato a la lista de materiales de la estructura, primero debe clicar sobre la casilla izquierda de los materiales que se desee y luego presionar aceptar. Igualmente puede crear un concreto de acuerdo a dos modos de cálculo, según la NSR2010 en su Título C:



Las propiedades del concreto aquí calculado varían de acuerdo al tipo de agregado, de la densidad, y de la resistencia, para obtener un módulo de elasticidad aproximado al deseado. El módulo de elasticidad puede ser calculado de acuerdo a dos opciones:

- Si el usuario dispone de la densidad exacta del material y la resistencia puede seleccionar la primera opción.
- Pero si el usuario dispone solamente de la resistencia del concreto debe seleccionar la segunda opción.

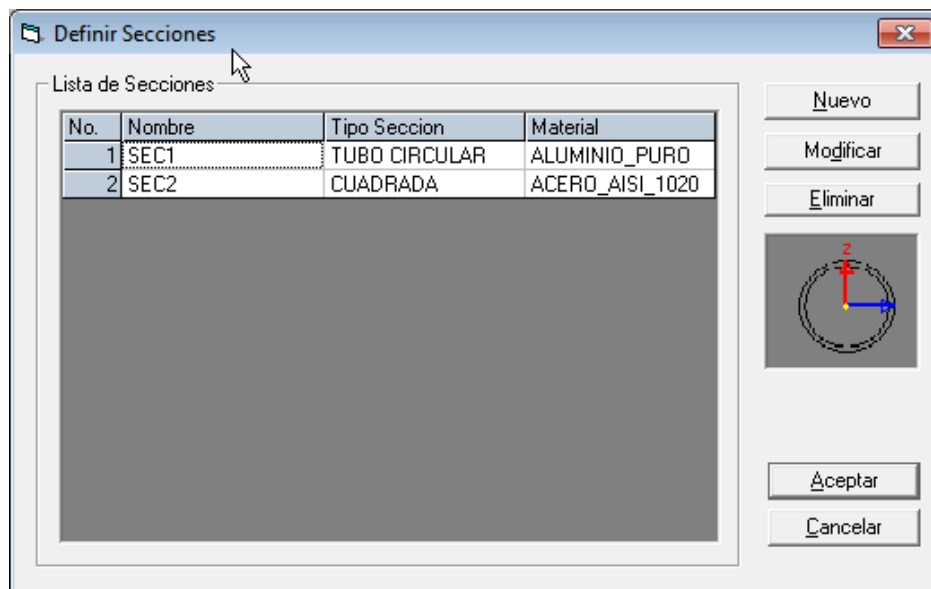
El usuario puede guardar el concreto creado en la base de dato con solo presionar el botón “Guardar en la lista de materiales”. Para futuros proyectos.

#### ✓ Exportar e Importar Materiales

Después de crear uno o varios materiales se puede guardar esta lista en un archivo independiente del proyecto mediante el botón “Exportar”, para cualquier otro uso futuro, el cual puede ser cargado nuevamente con el botón “Importar” e ingresar a la lista de materiales ya creadas. El botón Importar puede servir para extraer los materiales que se hallan creado en otra estructura.

#### 6.1.2.4.2 Definir/Secciones

Después de la definición de materiales se activa esta parte del menú, permitiendo la creación de secciones del sistema estructural, las cuales van asociado a un tipo de miembro. Al clicar en “Secciones” o al presionar las teclas “Ctrl+O” se abrirá la ventana siguiente donde se definirá toda la lista de secciones que se usaran en la estructura:

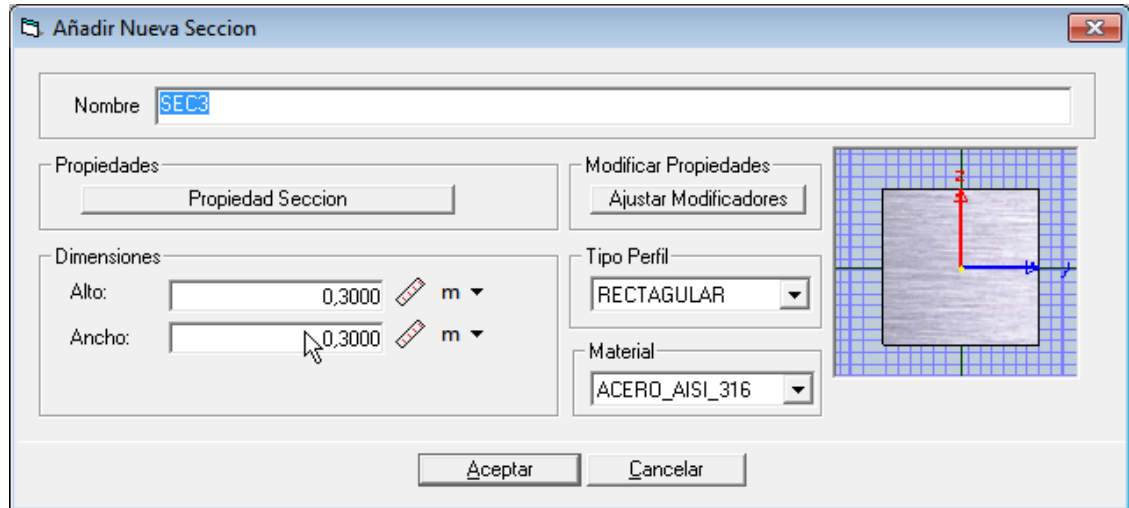


Al igual que la lista de materiales, las secciones también se pueden crear, eliminar, o modificar de acuerdo a las necesidades del usuario. En la tabla de la figura, se puede ver el nombre de la sección, el tipo y el material asociado. Para la edición de secciones se puede utilizar los botones de la parte superior derecha:

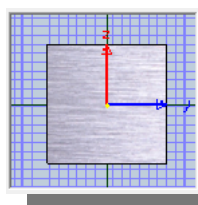
#### ✓ Crear nueva sección

Al presionar el botón “Nuevo”, se abrirá una ventana, en la que se puede configurar una sección, de acuerdo a geometrías ya conocidas. El formulario de secciones permite la asignación de un nombre descriptivo a la sección, por ejemplo “S30X30”, u otro nombre que permita la identificación inmediata al

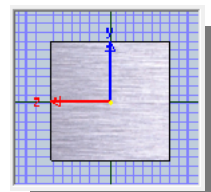
momento de usarlo, también permite la edición de las dimensiones y visualizarla simultáneamente en el control que grafica la sección.



El control que grafica la sección muestra los ejes locales inerciales, sobre la cual están orientados los cálculos de las propiedades de la sección, y coinciden con los ejes globales de la estructura si el elemento está orientado sobre el eje x de éste. Cuando el sistema de coordenadas globales cambia de un sistema coordenadas a otros, también cambia la orientación de los ejes inerciales como muestra las siguientes imágenes:



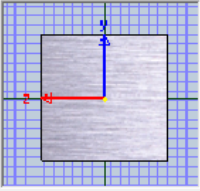
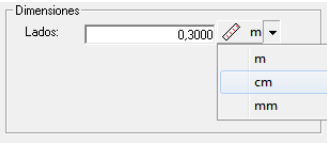
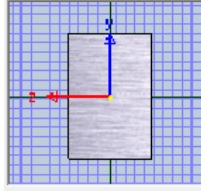
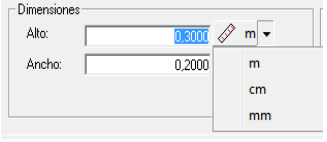
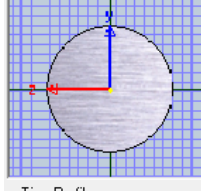
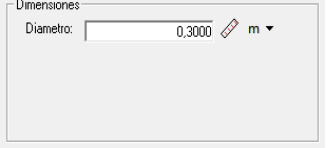
Ejes Inerciales cuando el sistema de coordenadas corresponde al plano XY



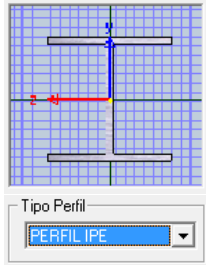
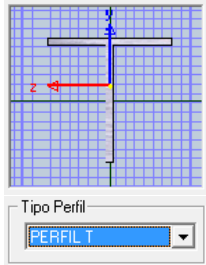
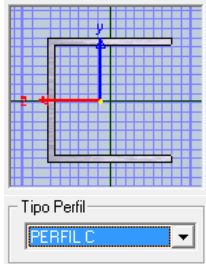
Ejes Inerciales cuando el sistema de coordenadas corresponde al plano XZ

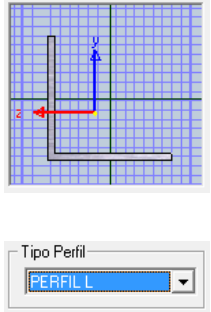
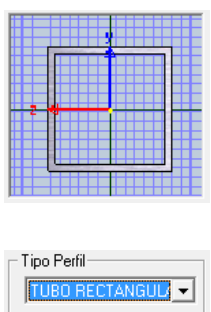
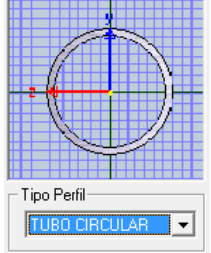
- **Tipos de perfiles:** en el recuadro, “Tipo de perfiles”, el usuario puede seleccionar el tipo de perfil que se ajuste a sus necesidades, y configurar

las dimensiones de acuerdo al tipo escogido. Los tipos de secciones que soporta Babel 2.0 son los que se muestran a continuación:

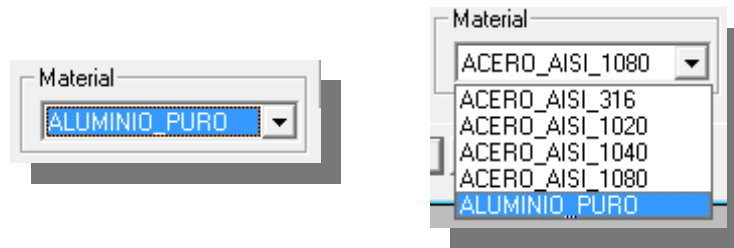
TIPO DE SECCION	SECCION	CUADRO DE DIMENSIONES	DESCRIPCION
CUADRADA	 <p>Tipo Perfil CUADRADA</p>		Este tipo de seccion unicamente pide la dimension de un lado del cuadrado, y puede ingresarlo en cualquiera de las unidades que aparecen de la lista derecha.
RECTANGULAR	 <p>Tipo Perfil RECTANGULAR</p>		La sección rectangular pide la altura y el ancho de la sección en cualquiera de las unidades que aparecen en su lado derecho.
CIRCULAR	 <p>Tipo Perfil CIRCULAR</p>		La sección circular requiere solamente la dimensión del diámetro.



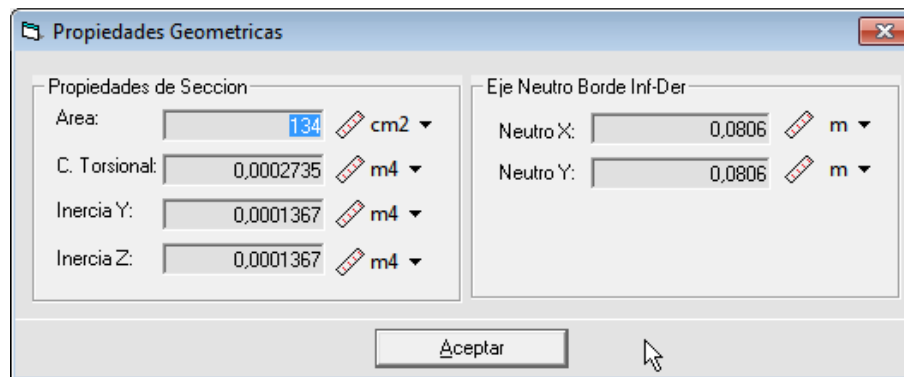
<p>PERFIL IPE</p>		<p>Dimensiones:</p> <p>Altura: <input type="text" value="0,3000"/> m ▾</p> <p>Ancho1: <input type="text" value="0,3000"/> m ▾</p> <p>Ancho2: <input type="text" value="0,3000"/> m ▾</p> <p>Esp.Alma: <input type="text" value="0,0150"/> m ▾</p> <p>Esp.Patrn: <input type="text" value="0,0150"/> m ▾</p>	<p>Para este tipo de sección se piden datos que tal vez el usuario desconoca, pero son facil de identificar. La <b>altura</b> es la medida vertical desde el borde superior al borde inferior, el <b>ancho 1 y 2</b> es el ancho de las alas superiores e inferior respectivamente, y el el <b>espesor del alma y patines</b>, es el grosor de la lamina central y las alas respectivamente.</p>
<p>PERFIL T</p>		<p>Dimensiones:</p> <p>Altura: <input type="text" value="0,3000"/> m ▾</p> <p>Ancho: <input type="text" value="0,3000"/> m ▾</p> <p>Esp.Alma: <input type="text" value="0,0150"/> m ▾</p> <p>Esp.Ala: <input type="text" value="0,0150"/> m ▾</p> <p>Saliente: <input type="text" value="0"/> m ▾</p>	<p>Los datos que se piden, en su mayoría son las mismos que se piden en la seccion IPE, excepto la ultima entrada, que son corresponde a la medida de una saliente vertical en los extremos de las alas.</p>
<p>PERFIL C</p>		<p>Dimensiones:</p> <p>Altura: <input type="text" value="0,3000"/> m ▾</p> <p>Ancho: <input type="text" value="0,3000"/> m ▾</p> <p>Esp.Alma: <input type="text" value="0,0150"/> m ▾</p> <p>Esp.Ala: <input type="text" value="0,0150"/> m ▾</p> <p>Saliente: <input type="text" value="0"/> m ▾</p>	<p>En este caso el alma queda siendo la lámina vertical. La saliente queda dispuesto en los extremos de las alas: en el ala superior el saliente va dirigido hacia abajo y el de abajo hacia arriba.</p>

<p>PERFIL L</p>		<p>Dimensiones</p> <p>Altura: <input type="text" value="0,3000"/> m</p> <p>Ancho: <input type="text" value="0,3000"/> m</p> <p>Esp.Alma: <input type="text" value="0,0150"/> m</p> <p>Esp.Ala: <input type="text" value="0,0150"/> m</p> <p>Saliente: <input type="text" value="0"/> m</p>	<p>Al igual que la seccion anterior, pero la saliente aplica para el ala horizontal, y solamente va dirigido hacia arriba.</p>
<p>TUBO RECTANGULAR</p>		<p>Dimensiones</p> <p>Altura: <input type="text" value="0,3000"/> m</p> <p>Ancho: <input type="text" value="0,3000"/> m</p> <p>Esp1: <input type="text" value="0,0150"/> m</p> <p>Esp2: <input type="text" value="0,0150"/> m</p>	<p>Para editar secciones tubular rectangular se piden el ancho y el alto de la seccion desde los bordes exteriores, y los espesores de las laminas verticales y horizontales respectivamente.</p>
<p>TUBO CIRCULAR</p>		<p>Dimensiones</p> <p>Diametro: <input type="text" value="0,3000"/> m</p> <p>Espesor: <input type="text" value="0,0150"/> m</p>	<p>En el recuadro solamente se pide el diámetro exterior de la sección circular y el espesor la lamina.</p>

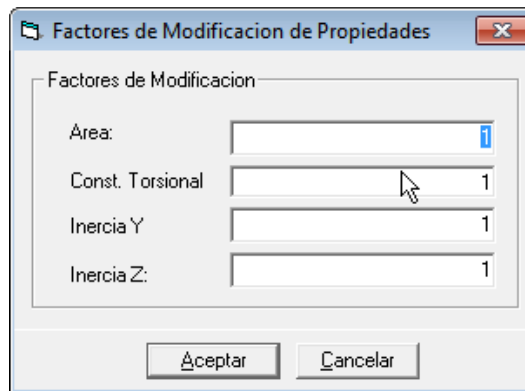
- Asociar materiales a tipos secciones:** Cuando se tiene definido el tipo de sección con las dimensiones deseadas, se puede asignar un tipo de material con solo seleccionarla de la lista que aparece en el recuadro "Material", que al presionar sobre el triángulo derecho, se despliega una lista con todos los materiales definido de la estructura, como indica la imagen siguiente:



- **Ver propiedades geométrica de la sección:** después de definir las dimensiones de la sección seleccionada, se puede visualizar los valores calculado de ésta sección transversal con base a los ejes Inerciales explicados anteriormente, con solo pulsar el botón “*Propiedad Sección*”, en donde se abre una ventana de solo lectura de las propiedades, como el área, momento de inercia en Y, momento de inercia en Z y el coeficiente de torsional. Aunque también puede ver la posición del eje neutro, sobre el cual girara la sección del miembro.



- **Ajustar modificadores de sección:** Babel 2.0 da la opción de modificar las propiedades geométricas calculadas anteriormente, con solo pulsar el botón “*Ajusta Modificadores*”, en donde se abre una ventana como se puede ver en la imagen:



Desde ésta ventana se puede modificar las propiedades geométricas. Por defectos los modificadores son 1, pero el usuario puede aumentar o disminuir este valor de acuerdo a su criterio.

✓ Modificar sección

Cuando se tiene una o varias secciones cabe la posibilidad de modificar alguna que no cumpla con un determinado espesor, por tanto el usuario, puede modificarlo, con solo seleccionar la sección deseada y presionar el botón “Modificar” o dar doble click con el puntero del mouse sobre dicha sección y se abre nuevamente la ventana de edición de sección, en donde podrá modificar las dimensiones, o cambiar de sección, e incluso, cambiar el tipo de material por otro.

✓ Eliminar Sección

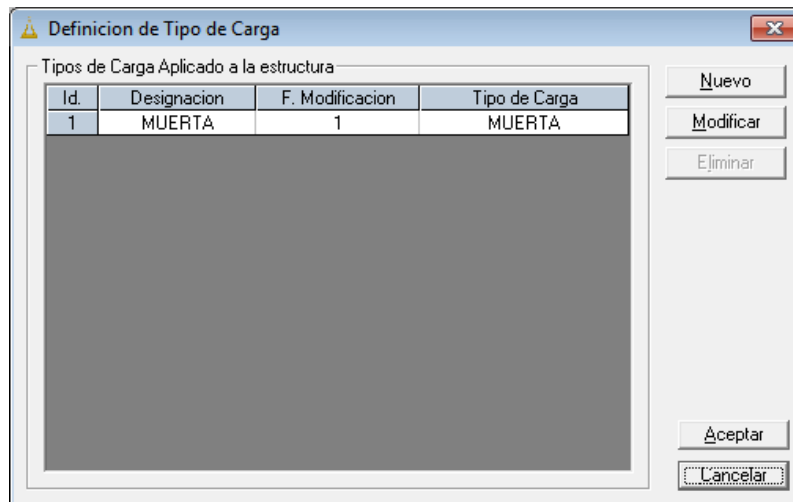
Para eliminar secciones, solamente debe seleccionar la sección y pulsar el botón “Eliminar”, pero si la sección está siendo utilizada por algún miembro de la estructura, entonces primero debe desvincular dicha sección para luego seguir con éste paso.

#### 6.1.2.4.3 Definir/Tipos de Cargas

Cuando se asignan cargas al sistema estructural, Babel 2.0 permite asociarlas a un tipo específico de carga, las cuales se definen en esta parte del menú, con un nombre descriptivo que corresponde a un tipo de carga ya conocido en el análisis de estructuras. Los tipos de cargas que se conocen para analizar estructuras son los siguientes:

- Carga muerta
- Carga viva
- Carga de nieve
- Carga sísmica
- Carga de viento

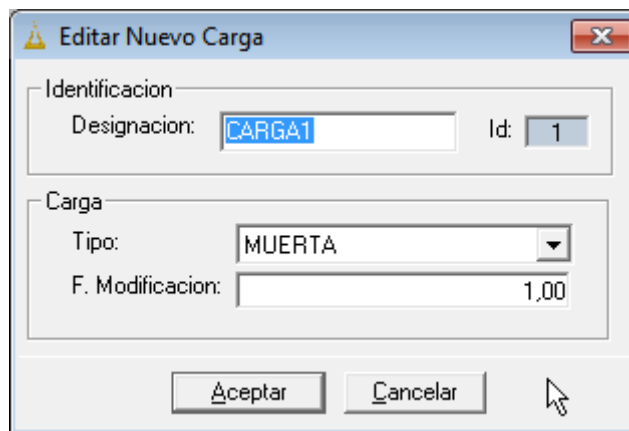
El usuario puede aplicar esos tipos de cargas en el análisis las veces que quiera, y con los nombres que le parezca descriptivo a la condición presentada. Cuando el usuario desea crear los tipos de cargas que intervienen en la estructura, simplemente debe presionar del menú, “Tipo de cargas” o pulsar las teclas “Ctrl+T”, y se abre una ventana con la lista de todos los tipos creados. Por defecto, aparece un tipo de carga inicial que es la “Muerta”, que luego el usuario puede modificarla o añadir otras:



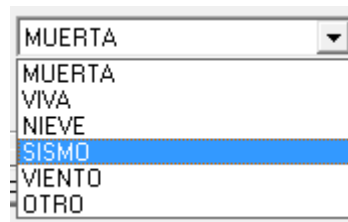
En la lista se muestra que a los tipos de cargas, se le atribuyen una designación, que puede ser desde de un nombre descriptivo hasta una letra, y un factor de modificación, el cual puede aumentar o disminuir la magnitud de las cargas que pertenezcan a un tipo concreto de carga definido con anticipación.

✓ Crear un nuevo Tipo de Carga

Al pulsar el botón “Nuevo”, se abre una ventana donde se ingresa el nombre del tipo, tipo de carga, y el factor de modificación.






Al desplegar la lista de “tipo”, se verán los tipos de cargas nombrados anteriormente, en la siguiente imagen:



El factor de modificación de carga es un valor que pre multiplica la magnitud de las cargas asociadas al tipo para evaluar el comportamiento de la estructura en una condición dada. El valor por defecto es la unidad para que no haya modificación, pero el usuario podría colocar el valor que se ajuste a sus requerimientos. Este

factor también puede usarse para anular el valor de las cargas que no desee tener en cuenta en el análisis sin necesidad de eliminarla, con solo colocar un factor igual 0.

-  Si el valor del factor de modificación es igual a la unidad, entonces la estructura se analizara con las magnitudes de carga aplicada.
-  Si el valor del factor de modificación es igual a cero, entonces las cargas que corresponden a este tipo, no se tendrán en cuenta en el análisis.
-  Si el valor del factor de modificación es diferente de 1, entonces las cargas que corresponden a éste tipo serán multiplicadas por este factor para obtener una carga disminuida o aumentada. Para el caso de la imagen las cargas de éste tipo, serán tenidos en cuenta en el análisis al doble.

✓ Modificar Tipo de Carga

Al seleccionar de la lista el tipo que desea modificar, se presiona el botón “Modificar” o al dar doble click sobre la misma fila, se muestra la misma ventana de edición de tipos de carga, con los últimos valores ingresados al tipo. El usuario puede modificar cualquiera información ingresada y luego presionar el botón “Aceptar”.

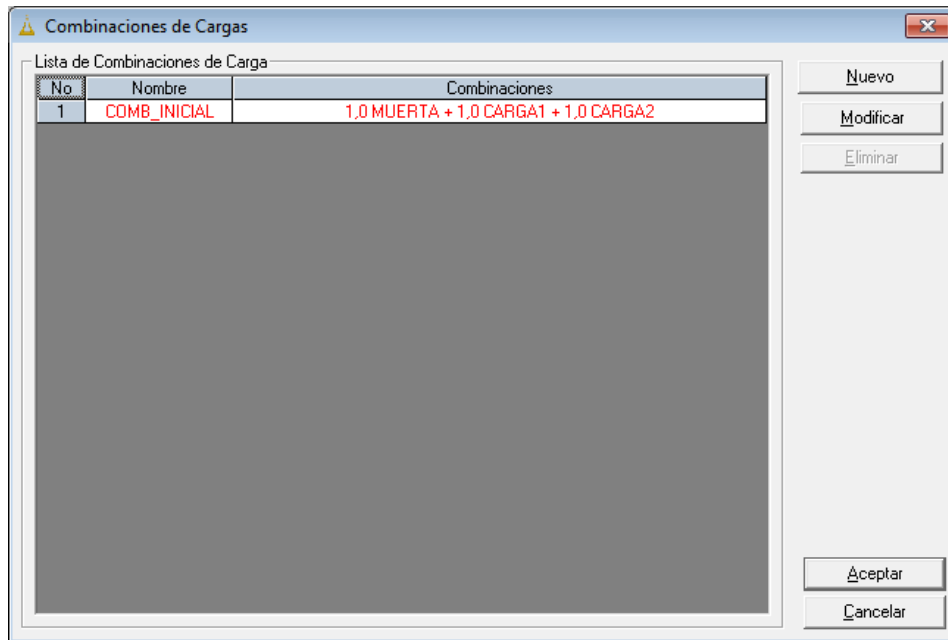
✓ Eliminar Tipo de Carga

Al seleccionar de la lista el tipo que desea eliminar, se presiona el botón “Eliminar” y listo. Para eliminar un tipo de carga, el usuario debe estar seguro de que el tipo seleccionado no esté asociado a ninguna carga aplicada a la estructura. La

primera carga de la lista no puede ser eliminada, porque es un tipo de carga por defecto.

#### 6.1.2.4.4 Definir/Combinaciones de cargas

Después de definir los tipos de cargas del sistema estructural, el usuario puede hacer combinaciones entre ellos para analizar el comportamiento de la estructura en diferentes casos. Esta herramienta es muy útil, para evaluar los tipos de cargas por separados, o por agrupación de acuerdo a un factor de modificación que se le asigna a cada tipo de carga. Este último factor de modificación no tiene nada que ver con el factor de modificación del tipo, son muy diferentes. Al entrar en “Combinaciones de Cargas”, o al pulsar la teclas “Ctrl+U”, se abre una ventana con las lista de combinaciones disponibles en el sistema estructura:



Al igual que la lista de Tipo de cargas, la lista de combinaciones tiene una combinación por defecto que es “COMB\_INICIAL”. Cada vez que se ingresa un nuevo tipo de carga, éste se suma automáticamente a este combo con un factor

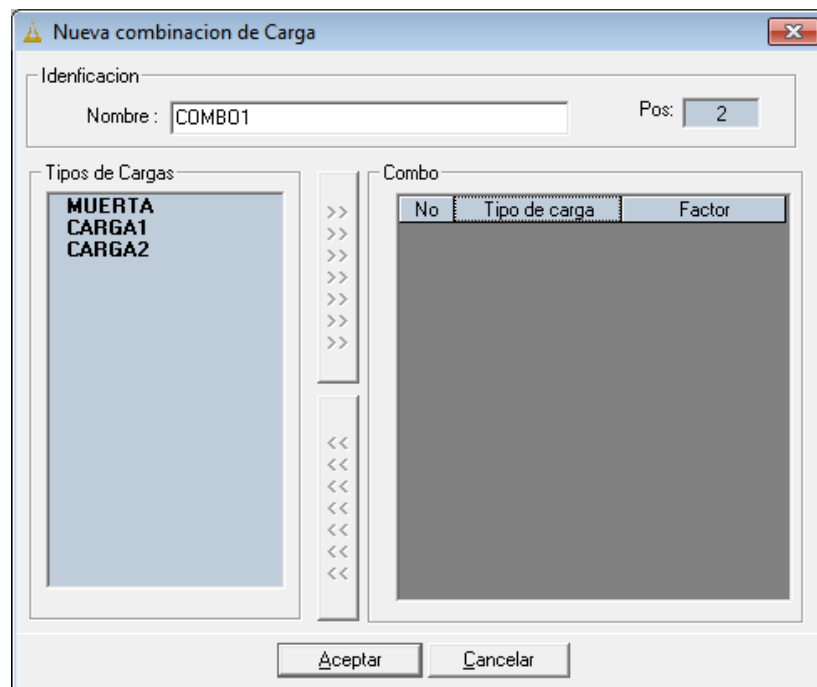


igual a 1, aunque el usuario puede excluir los tipos de cargas que desee de éste combo.

Durante el análisis, el usuario solamente puede usar un combo y los otros quedan disponibles para otro análisis. Más adelante se explicara cómo se usan los combos para analizar estructura. Ahora se explicara cómo se crean los combos con base a los tipos de cargas:

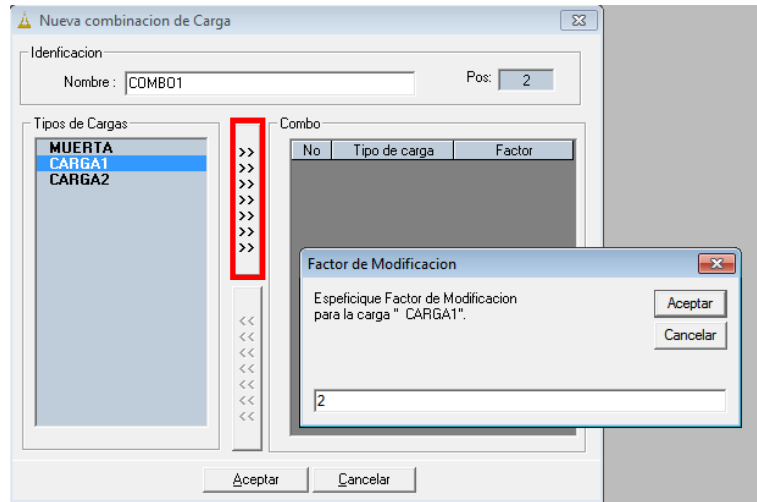
✓ Crear Nueva Combinación de Carga

Crear una combinación de carga es tomar a cada tipo de carga ya creado y aplicarle un factor de modificación diferente de cero. Al pulsar el botón “Nuevo” se abre la siguiente ventana, con la que se editan las combinaciones de carga:

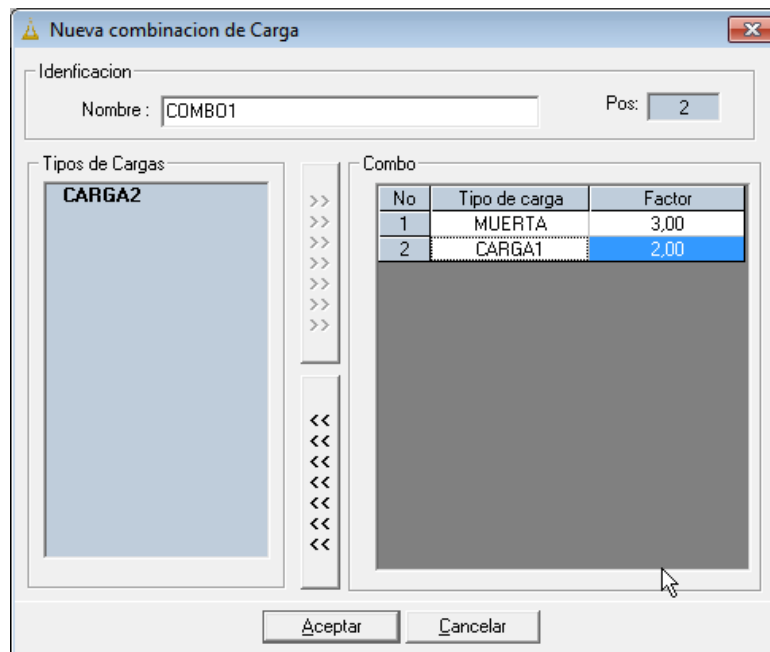


En la parte superior de esta ventana puede ingresar el nombre del combo, en su parte izquierda puede ver los tipos de carga disponibles, y en su lado derecho se define la combinación de los tipos de cargas con solo asignarle un factor de modificación.

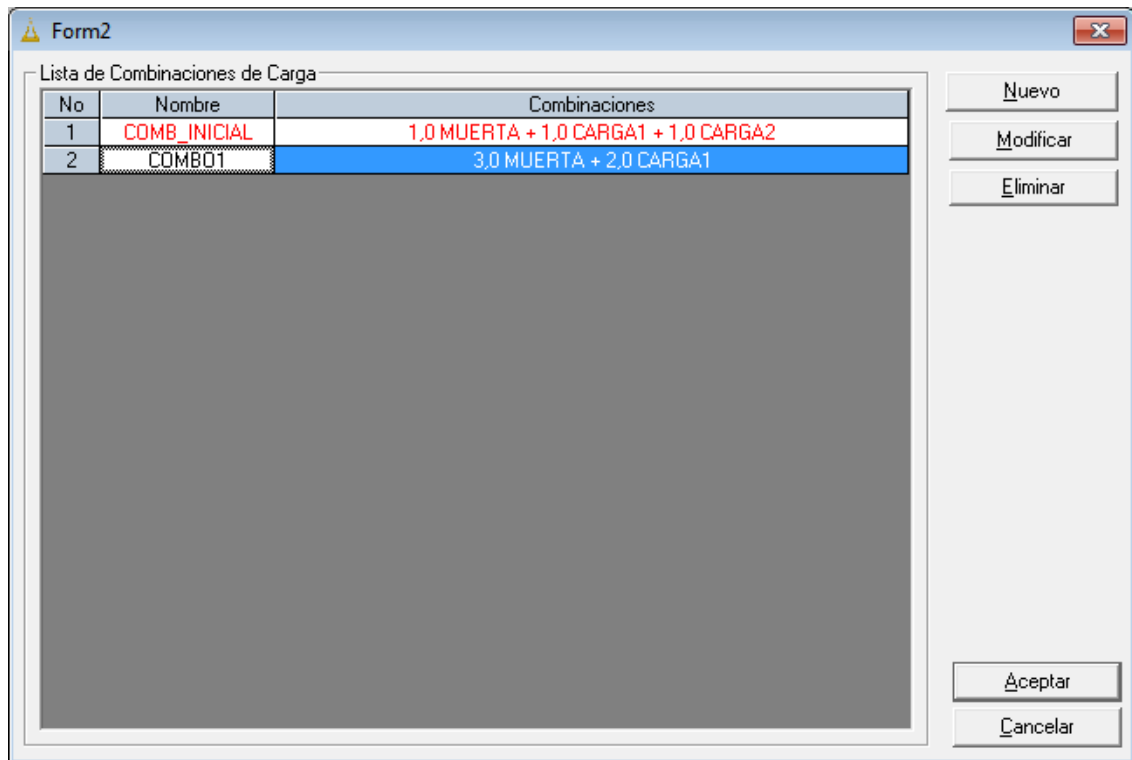
Para ingresar un tipo de carga al combo, se debe seleccionar el tipo de carga, presionar el botón añadir al combo ">>" o doble click sobre el mismo y digitar el factor correspondiente, como muestra las siguientes imágenes:



Al presionar "Aceptar" que la combinación como muestra la siguiente imagen:



Después que se tiene los tipos de carga en el combo, se presiona el botón “Aceptar” y se puede visualizar el nuevo combo creado en la lista de combinaciones:



✓ Modificar Combinación de Carga

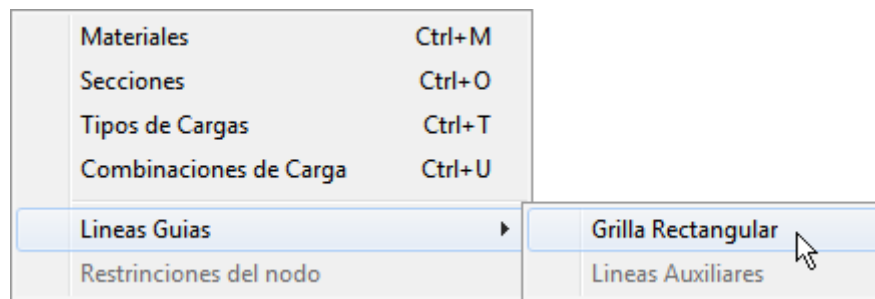
Para modificar combinación se debe seleccionar primero el combo, y luego presionar el botón “Modificar” o doble click sobre el combo y se abre nuevamente la ventana de edición de combo, en el que puede añadir otros tipos o puede quitar. Para añadir se siguen los mismos pasos anteriores, pero si se desea quitar de la lista de combo se debe seleccionar el tipo que desea quitar luego presionar el botón Quitar del combo “<<” o dar doble click sobre el tipo y asignarle un valor igual a cero.

✓ Eliminar Combinación de Carga

Para eliminar una combinación, simplemente se selecciona el combo que desee y luego presionar el botón “Eliminar”. La combinación Inicial COMB\_INICIAL, no puede ser eliminada porque es un combo por defecto, pero éste si podrá ser modificada.

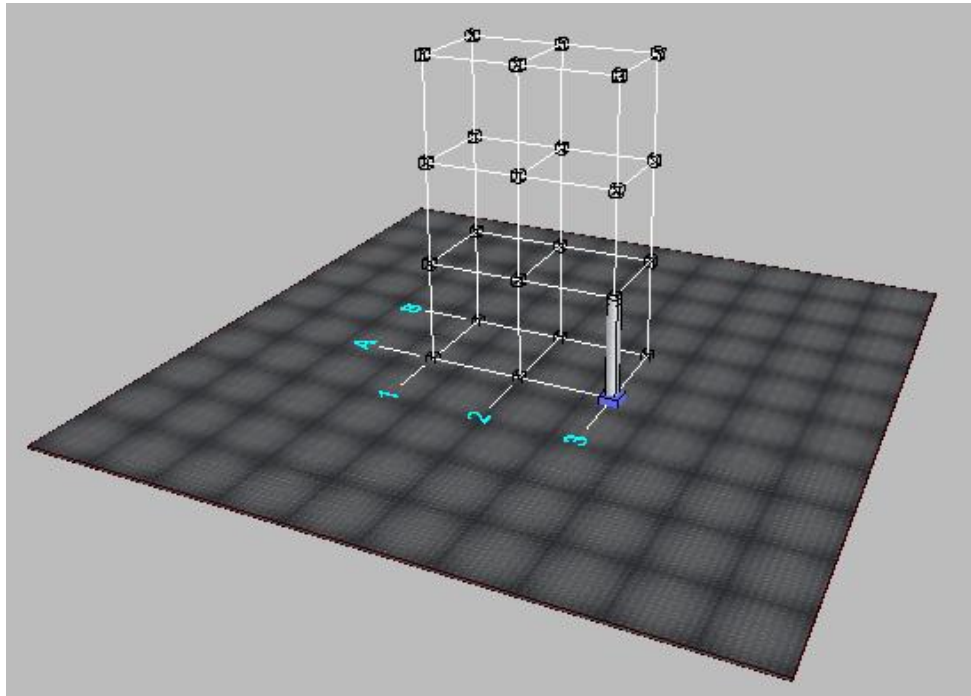
6.1.2.4.5 Definir/Líneas Guías

Antes de definir líneas guías es importante saber que Babel 2.0, puede crear solamente dos tipos de líneas guías: Las Grillas rectangulares y las líneas auxiliares.



✓ Grillas rectangulares

Esta es una modalidad de iniciar un proyecto en Babel 2.0, en el cual se le pide al usuario el número de columnas en una dirección, el número de columnas en la otra y el número de pisos:

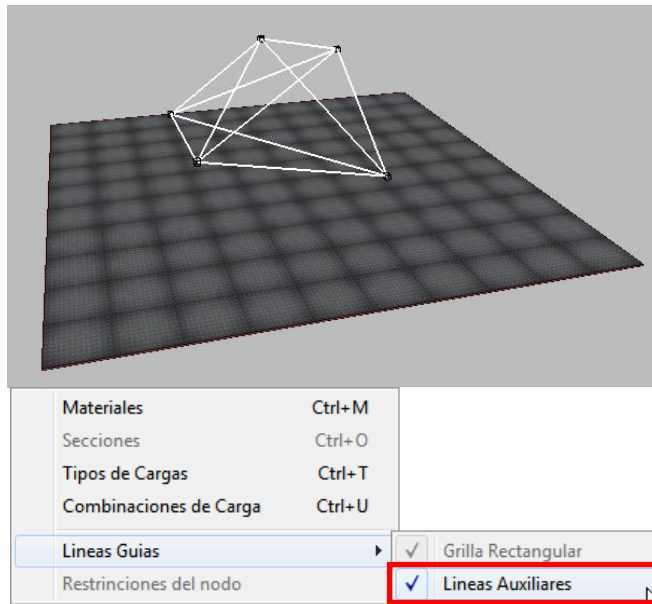


Cuando se crea un sistema de grillas rectangulares, los nodos se ubican automáticamente en el escenario y no pueden ser eliminados por el usuario, aunque se puede asignarle algún tipo de restricción.

Por defecto, los nodos que se encuentran en la superficie son empotrados, y por ende cuando el usuario está dibujando la estructura, puede ver que las columnas del primer piso aparecen restringidas en su base.

✓ Líneas Auxiliares

Ésta es otra modalidad de iniciar un proyecto en Babel 2.0, la cual se encarga de trazar líneas de nodo a nodo, en un sistema estructural libre. En esta modalidad el usuario puede fijar puntos en el espacio y automáticamente se trazaran todas las opciones de líneas con los nodos creados, y serán visibles si esta parte del menú aparece chequeado como muestra la imagen:



#### 6.1.2.4.6 Definir/Restricciones del nodo


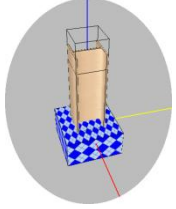

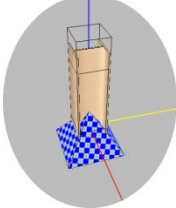
Esta opción del menú aparece inactiva mientras no se tiene ningún nodo seleccionado, en caso contrario, puede modificar el estado de restricción del nodo o los nodos seleccionados con solo pulsar en esta opción y aparece una ventana de edición para restricción de nodos:


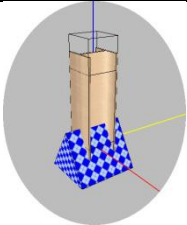

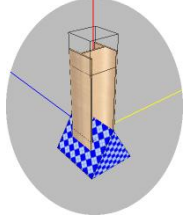

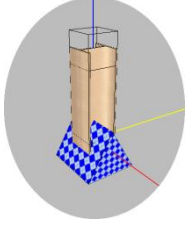

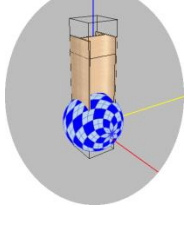

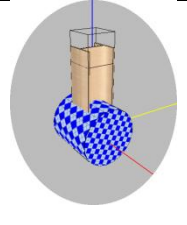

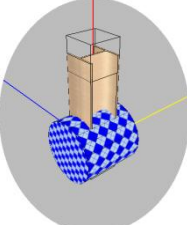


Las restricciones que se le pueden aplicar a un nodo, son siempre orientadas de acuerdo a la coordenadas globales, lo que significa que si el “Desplazamiento X” esta chequeado, entonces no habrá desplazamiento en esa dirección del eje global o si la “Rotación Z” no está chequeada significa que el miembro puede girar sobre ese eje.


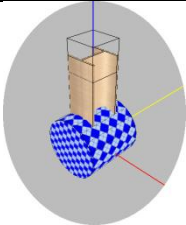

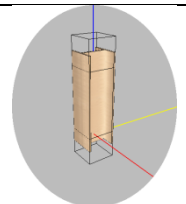
Babel 2.0 tiene reconocida ocho tipos de restricciones, aunque el usuario puede configurar la que desee, pero no se garantiza que se dibujen en el escenario, aunque si se tendrán en cuenta en el análisis.

Cabe recordar que el sistema de ejes globales está representado mediante líneas con colores amarillo, azul y rojo las cuales son los ejes X, Y, Z respectivamente, como se puede ver en las imágenes de la columna “Representación” de la siguiente tabla de tipos de restricciones:

TIPO DE RESTRINCION	IMAGEN	DESCRIPCION	REPRESENTACION
EMPOTRADO		Este tipo de restricción es totalmente restringido, es decir, que no permite ningún tipo de movimiento sobre los ejes globales.	
TOTALMENTE ARTICULADO		Este tipo de restricción solo admite rotación en cualquiera de los ejes pero no permite ningún tipo de desplazamiento en los ejes globales.	

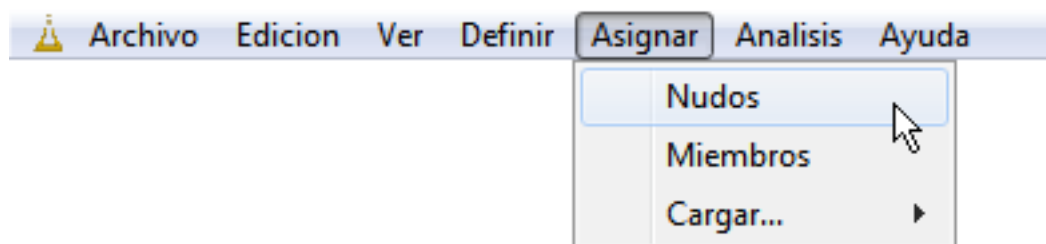
<p>ARTICULACION EN EJE X</p>		<p>Este tipo de restricción solo admite giros sobre el eje x, mientras que los demás permanecen totalmente restringidos.</p>	
<p>ARTICULACION EN EJE Y</p>		<p>Este tipo de restricción se hace visible cuando el sistema de coordenadas es el plano XY. Solamente permite giros sobre el eje Y, mientras los demás están restringidos.</p>	
<p>ARTICULACION EN EJE Z</p>		<p>Este tipo de restricción se hace visible cuando el sistema de coordenadas es el plano XZ. Solamente permite giros sobre el eje Z, mientras los demás están restringidos.</p>	
<p>PATIN</p>		<p>Este tipo de restricción permite cualquier giro, y desplazamiento sobre el plano seleccionado, pero no hay movimiento en la dirección de la gravedad.</p>	
<p>PATIN EJE X</p>		<p>Solo permite desplazamiento sobre el eje x, y un giro sobre el eje Y, si el plano seleccionado es XY o giro en Z, si el plano seleccionado es XZ.</p>	
<p>PATIN EJE Y</p>		<p>Solo permite desplazamiento sobre el Y, y giro en el eje X, si el plano seleccionado es XY.</p>	



PATIN EJE Z		Solo permite desplazamiento sobre el Z, y giro en el eje X, si el plano seleccionado es XZ.	
LIBRE		Desde este botón se puede liberar los nodos que tengan cualquier tipo de restricción. El nodo queda totalmente libre en la estructura.	

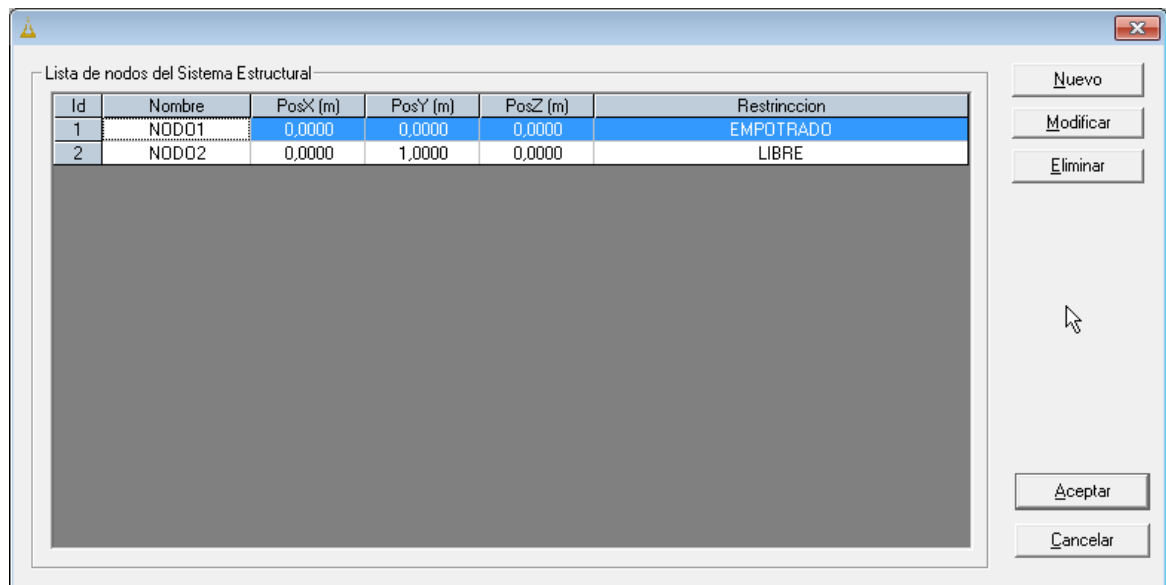
### 6.1.2.5 Menú Asignar

Desde éste menú se puede armar la estructura, especificando la ubicación de los nodos, las posiciones de los elementos de acuerdo a la posición de los nodos, y la aplicación de carga a los elementos o nodos. Cada una de la partes de este menú están interrelacionados de tal manera que uno depende del otro. Es decir, que para aplicar carga a un nodo, éste debería existir y por lo menos, un miembro debería estar conectado a él; o para aplicar carga a un miembro, debería primero existir los nodos donde se conecta dicho miembro, luego el miembro no debería ser un resorte o un miembro transversalmente rígido.



### 6.1.2.5.1 Asignar/Nudos

Un nudo o nodo es un punto sobre el sistema de ejes globales, donde se puede conectar uno o más miembros del sistema estructural y que puede tener ciertas características muy útiles para el análisis de estructuras. Un nudo posee una posición en el espacio, una numeración, un nombre y un tipo de restricción. Al pulsar sobre el menú “Nudos”, se abre una ventana con la lista completa de todos los nudos que posee el sistema estructural.



La ventana de Nudos muestra la Numeración, el Nombre, la posición y el tipo de restricción de nudos.

#### ✓ Fijar o crear un Nuevo nodo

Para crear un nuevo nodo se presiona el botón “Nuevo” y luego se abre una ventana como ilustra la siguiente imagen

El usuario puede asignarle el nombre que le parezca fácil de identificar, y será el mismo nombre con que el que se entregaran los resultados del análisis. En el recuadro “Posicionar Nodo”, se le asigna una posición en el sistema de ejes globales y en el recuadro “Tipo de apoyo” se puede editar las restricciones que tendrá el nodo. Por defecto el nodo es libre, pero si se desea cambiar esta condición, se escoge el tipo de apoyo de la lista desplegable.

✓ Modificar nodo

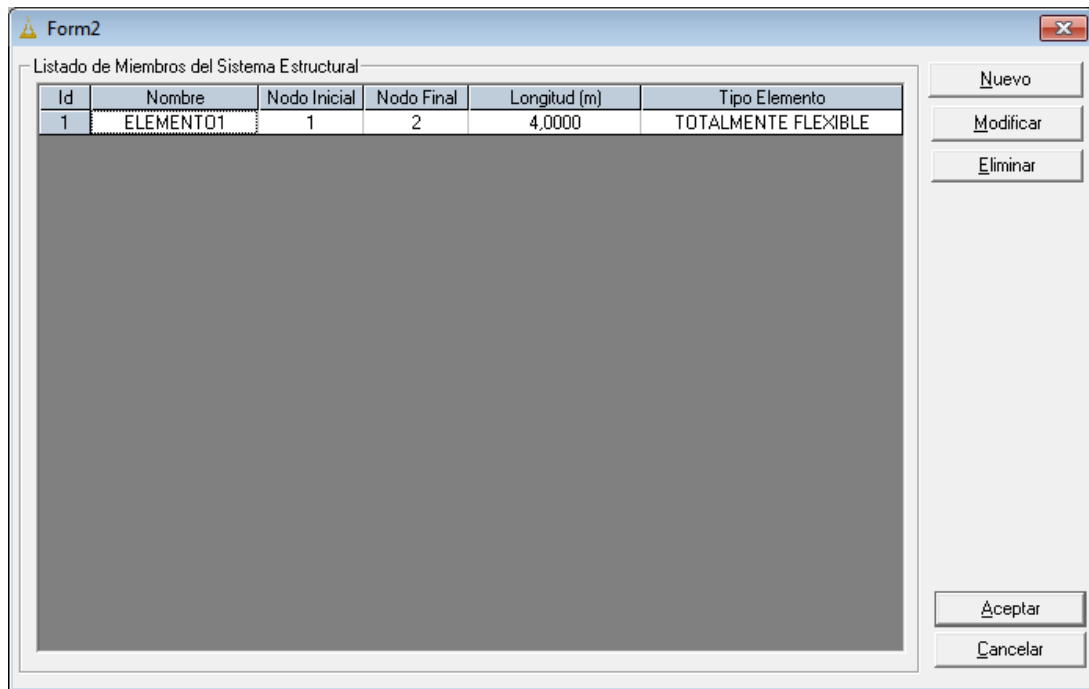
Para modificar un nodo, el usuario debe seleccionar primero el nodo y presionar el botón “Modificar” o doble click sobre el mismo, luego se abre la ventana de edición de nodos y es cuando puede cambiar la posición o las condiciones de apoyo cuando desee. Los cambios harán efecto cuando se presione “Aceptar” de la lista de nodos.

✓ Eliminar nodo

Para eliminar un nodo, se selecciona el nodo que se desea eliminar, y se presiona el botón “Eliminar”. Para eliminar un nodo, este no debería pertenecer a ningún miembro de la estructura. Tampoco se pueden eliminar los nodos que se crean en un sistema de grillas rectangulares, solamente pueden ser eliminados los nodos adicionales.

### 6.1.2.5.2 Asignar/Miembros

Para ubicar un miembro en la estructura debe haber por lo menos dos nodos creados. Si el usuario desea armar la estructura, debe tener listo los materiales, las secciones y los nodos del sistema estructural, para luego llegar a ésta parte del menú, donde se verá una ventana con toda lista de miembros de la estructura, como se verá en la siguiente imagen:



En esta ventana, los miembros son enumerados en el mismo orden que son creados, se muestra el nombre, ID de nodos en los extremos, la longitud y el tipo de elemento del sistema estructural. Es importante saber que Babel 2.0, brinda la opción de analizar tres tipos de elementos, las cuales pueden ser:

- **Elemento Totalmente Flexible:** Este tipo de elemento, puede deformarse en los seis grados de libertad que tiene cada nodo, y los tipos de proyectos en donde se utiliza esta modalidad en Babel 2.0, son los tipos Libres y Rectangular.

- **Elemento Transversalmente Rígido:** Este tipo de elemento no permite giros en sus extremos, solamente admite desplazamientos. Esta forma de análisis se atribuye a proyectos como cerchas o armaduras, donde por lo general, solamente se evalúa la fuerza axial.
- **Elemento Resorte:** Los elementos que son de éste tipo, son analizados con base a una constante o coeficiente de muelle, y no con el tipo de sección al que está asociado por defecto. Los proyectos donde se puede usar resortes son los tipos libres y rectangulares.

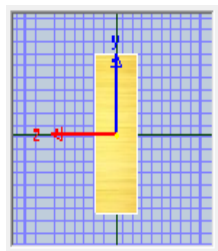
✓ Crear un nuevo Miembro

Cuando el usuario quiere colocar elementos en la estructura, debe pulsar el botón “Nuevo”, y llenar el siguiente Formulario:

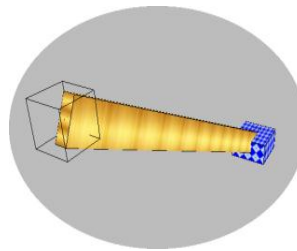
Donde se pide el nombre del nuevo elemento, la ubicación del nodo inicial y final, la rotación que tendrá la sección, se pide el tipo de sección que se desea usar y el tipo de elemento. Cuando se tienen los nodos al que estará sujeto el miembro, se calcula automáticamente su longitud.

Cuando se tiene las secciones ya creadas, pueden ser aplicadas a los miembros con solo seleccionarla de la lista en el recuadro “Escoger Sección”. Como las secciones que se crean en el menú “Definir/Secciones”, no poseen rotación, aquí

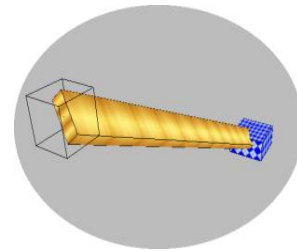
en la ventana de edición de elemento puede definirse la rotación que tendrá la sección y a sus ver los ejes inerciales, como muestra la siguientes imagen:



Sección Rectangular

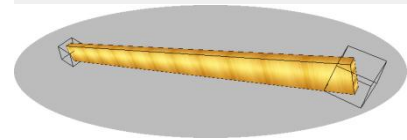
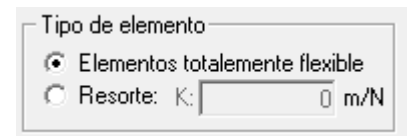


0° de Rotación de la Sección

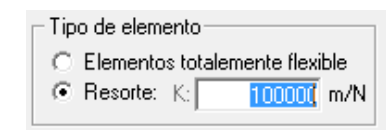


45° de Rotación de la Sección

Cuando se desea fijar el tipo de elemento en el recuadro “Tipo de elemento”, se selecciona una de las dos opciones, donde al seleccionar el primero, puede usarse la información de la sección para el cálculo, y se mostrara como indica la imagen:



Y el segundo modo corresponde a un resorte donde se ingresa su constante en unidades “m/N”, y se representará en la estructura tal cual como indica la siguiente imagen:



**Aplicar mi propio peso** Si se desea aplicar el peso del miembro de manera individual en el análisis se debe activar la opción “Aplicar mi propio peso”, como muestra la imagen.

✓ Modificar un miembro

Cuando se requiere modificar un miembro, se debe seleccionar de la lista el elemento y se presiona el botón “Modificar” o dar doble click sobre el mismo y se visualiza la misma ventana de edición de miembros, donde puede hacer los cambios que se desee.

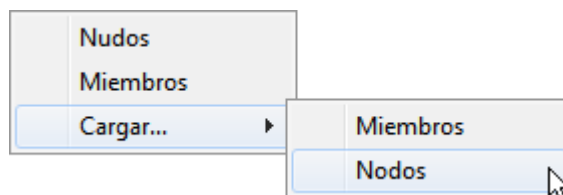
✓ Eliminar un miembro

Se puede eliminar un miembro de la lista con solo seleccionarlo y presionar el botón “Eliminar”.

Todos los cambios serán aplicados a la estructura, cuando se pulse el botón “Aceptar”, de la lista de miembros.

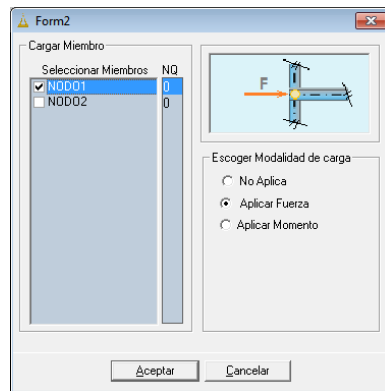
#### 6.1.2.5.3 Asignar/Carga

Esta es una de las últimas partes de la construcción de la estructura en Babel 2.0. Cabe advertir que las cargas que se analizan en este programa corresponden a las cargas en los nodos, y si los elementos poseen cargas, se realiza un conjunto de procedimientos para transformar esas cargas, a cargas equivalentes en los extremos. Las cargas pueden ser aplicadas a:

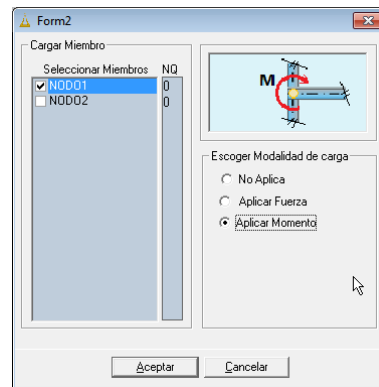


✓ Carga en nodos

Las cargas que se aplican a los nodos son de fuerzas y de momentos, las cuales van orientadas de acuerdo a los ejes globales. Al presionar este menú se muestra la siguiente ventana.

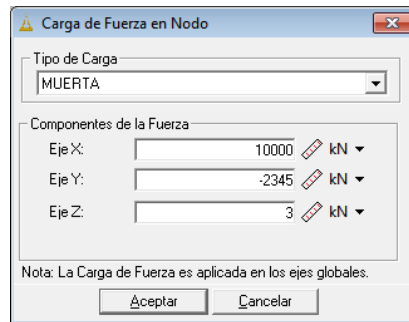


Aplicar Fuerza

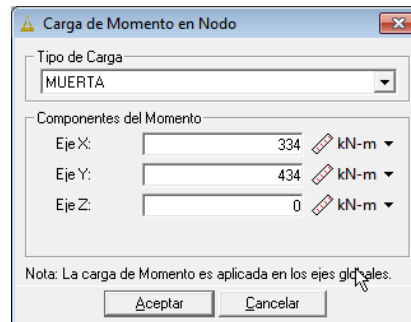


Aplicar Momento

En esta ventana, el usuario puede seleccionar los nodos a los que desea aplicarle la misma carga. Para aplicar carga a nodos se debe primero chequear los nodos, luego escoger la modalidad de carga (“Fuerza o Momento”) y por ultimo presionar el botón “Aceptar”. Después se abre una ventana donde se ingresa las componentes de cargas de los ejes globales del nodo y el tipo de carga al que corresponde, como muestra la siguiente imagen:



Carga de Fuerza en  
nodo

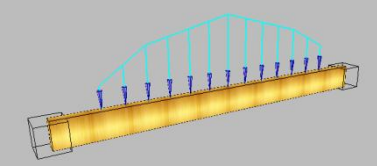
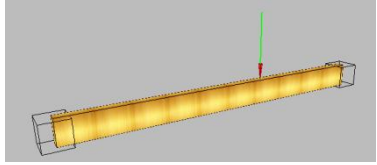
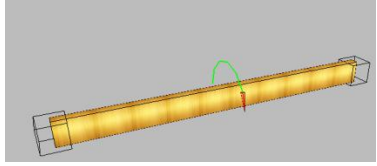


Carga de Momento en  
nodo

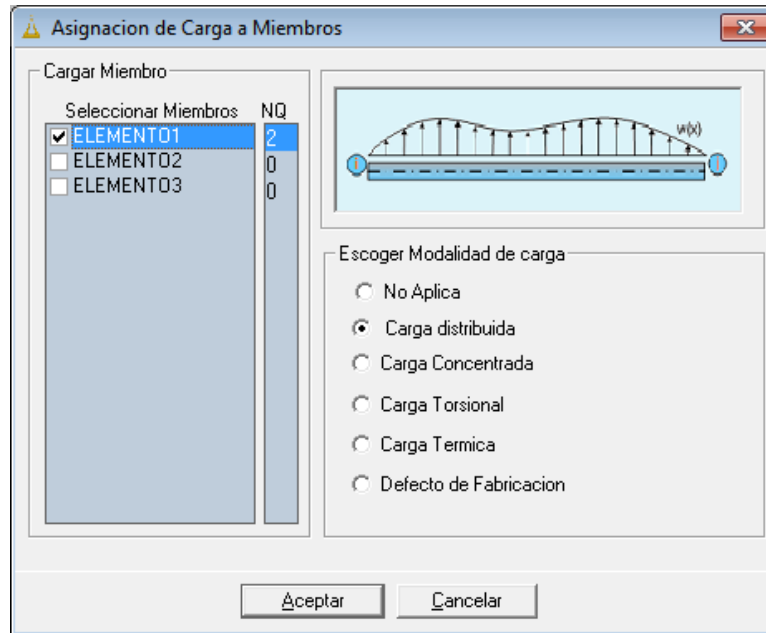
### ✓ Carga en Miembro

En Babel 2.0 solo se permite asignar cinco modalidades de cargas, las cuales pueden modelar las necesidades básicas para el análisis de estructura. Las modalidades de cargas son:



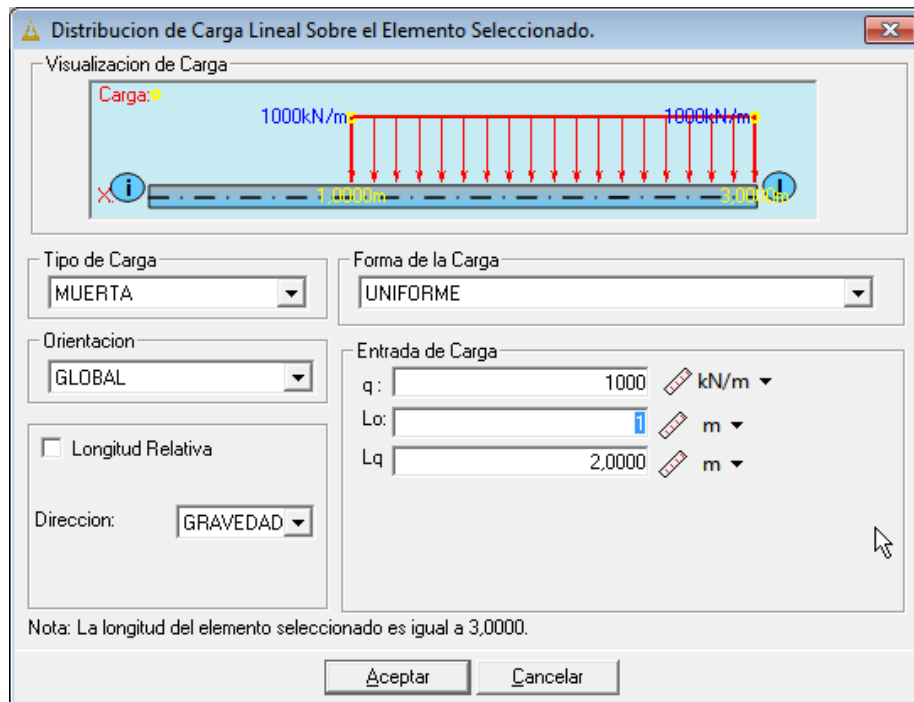
MODALIDAD CARGA	REPRESENTACION	DESCRIPCION
CARGA DISTRIBUIDA		<p>En ésta modalidad de carga, el usuario puede editar la forma de la carga a su gusto. Las formas más usuales en Babel 2.0 son: Uniforme, triangular, trapezoidal y variable.</p>
CARGA CONCENTRADA		<p>Este modo de carga es una fuerza que puede ser ubicada en cualquier posición sobre el elemento y en cualquier dirección de acuerdo al sistema de ejes globales y locales.</p>
CARGA TORSIONAL		<p>Este un carga de momento, que puede estar ubicada sobre el elemento y solamente está orientada en el eje X del sistema de coordenadas locales.</p>
CARGA DE TEMPERATURA	NO APLICA	<p>Con esta modalidad se le puede asignar una carga de temperatura uniforme a los elemento dentro de un rango aceptable. Con esta temperatura Babel2.0 calcula el alargamiento y así mismo, la fuerza generada en los extremos.</p>
CARGA DEFECTO DE FABRICACION	NO APLICA	<p>Esta modalidad permite al usuario definir la longitud faltante en los elemento, y después Babel 2.0 calcula el esfuerzo generado en los extremos.</p>

Cuando se quiere cargar un miembro, se sigue el menú “Asignar/Carga/Miembros” y se abre una ventana, donde se deben seleccionar los elementos que se desean cargar, luego se elige la modalidad y por último se pulsa el botón “Aceptar”. La siguiente imagen muestra la ventana donde se siguen los pasos anteriores:



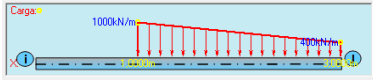
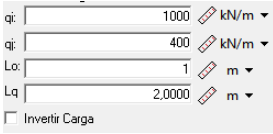
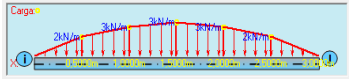
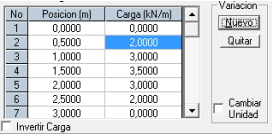
En la lista de miembro aparecen los nombres de los miembros de la estructura, y en la otra, se muestra el número cargas según la modalidad seleccionada. Es decir, si se tiene la modalidad “Carga distribuida” y aparece un número en la Lista “NQ”, significa que el elemento de esa posición, tiene el número de cargas distribuidas como indica.

- **Aplicar Carga Distribuida:** al chequear los miembros de la lista y al seleccionar la modalidad “Carga distribuida”, aparecerá una ventana como se muestra a continuación:



Desde esta ventana se puede editar la carga distribuida de tres formas, como se muestra en la siguiente tabla:

FORMA DE CARGA	VISUALIZACION	DATOS DE ENTRADA	DESCRIPCION
UNIFORME		q: <input type="text" value="1000"/> kN/m Lo: <input type="text" value="1"/> m Lq: <input type="text" value="2,0000"/> m	<b>q:</b> es el valor de la carga lineal uniforme. <b>Lo:</b> es la posición inicial de la carga. <b>Lq:</b> Longitud de carga.
TRIANGULAR		qi: <input type="text" value="1000"/> kN/m Lo: <input type="text" value="1"/> m Lq: <input type="text" value="2,0000"/> m <input type="checkbox"/> Invertir Carga	<b>qi:</b> es el valor de la carga en el extremo i del elemento. <b>Lo:</b> es la posición inicial de la carga. <b>Lq:</b> Longitud de carga.

			<p><b>Invertir Carga:</b> podemos voltear la carga con chequear este control.</p>																								
TRAPEZOIDAL			<p><b>qi:</b> es el valor de la carga en el extremo i del elemento.</p> <p><b>Lo:</b> es la posición inicial de la carga.</p> <p><b>Lq:</b> Longitud de carga.</p> <p><b>Invertir Carga:</b> para invertir la podemos voltear la carga con chequear éste control.</p>																								
VARIABLE		 <table border="1" data-bbox="912 1102 1182 1239"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>Posición (m)</th> <th>Carga (kN/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,0000</td><td>0,0000</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,5000</td><td>2,0000</td></tr> <tr><td>3</td><td>1,0000</td><td>3,0000</td></tr> <tr><td>4</td><td>1,5000</td><td>3,5000</td></tr> <tr><td>5</td><td>2,0000</td><td>3,0000</td></tr> <tr><td>6</td><td>2,5000</td><td>2,0000</td></tr> <tr><td>7</td><td>3,0000</td><td>0,0000</td></tr> </tbody> </table>	No	Posición (m)	Carga (kN/m)	1	0,0000	0,0000	2	0,5000	2,0000	3	1,0000	3,0000	4	1,5000	3,5000	5	2,0000	3,0000	6	2,5000	2,0000	7	3,0000	0,0000	<p>Quando se elige esta modalidad aparece una tabla donde se edita la posición sobre el elemento y la magnitud de carga en esa misma posición. Se puede ingresar nueva variación en el botón “Nuevo”. O eliminar el que seleccione, con el botón “Quitar”</p>
No	Posición (m)	Carga (kN/m)																									
1	0,0000	0,0000																									
2	0,5000	2,0000																									
3	1,0000	3,0000																									
4	1,5000	3,5000																									
5	2,0000	3,0000																									
6	2,5000	2,0000																									
7	3,0000	0,0000																									

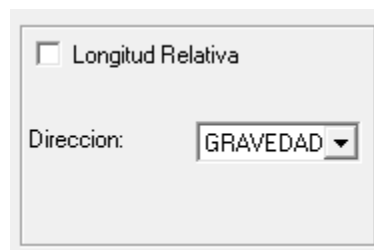
En las otras entradas de este formulario podemos cambiar el tipo de carga al que corresponde la carga que estamos creando, también podemos elegir el tipo de coordenadas que vamos a usar para la orientación de dicha carga, en los recuadros que se muestran a continuación.



Tipo de Carga: MUERTA

Orientacion: GLOBAL

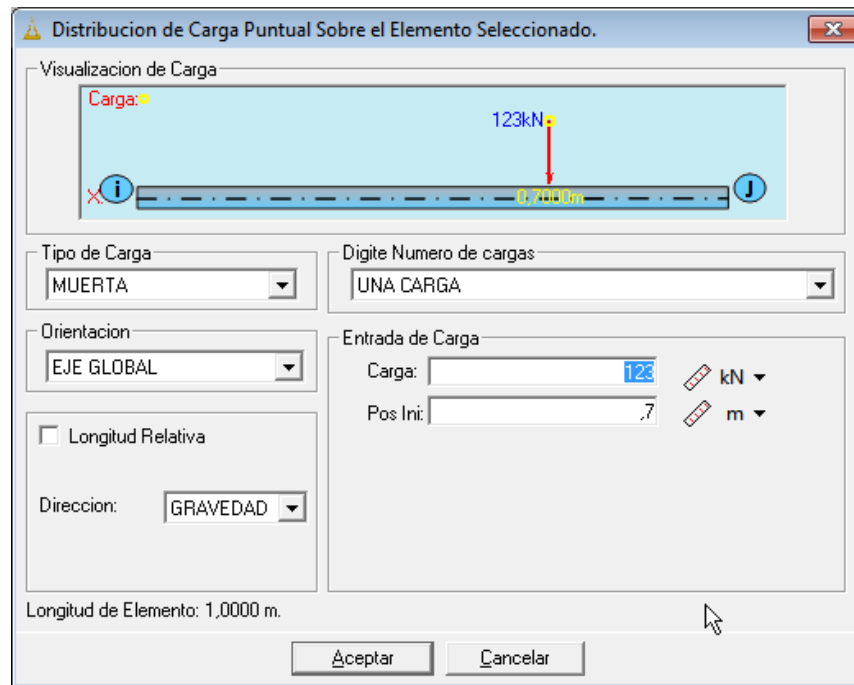
En el recuadro que se encuentra más abajo, podemos dar dirección a la carga con base a la orientación elegida en el recuadro anterior. En este mismo recuadro también podemos activar el control “Longitud Relativa”, con la que podemos digitar las posiciones sobre el elemento con valores entre 0.00 y 1.00.





Longitud Relativa

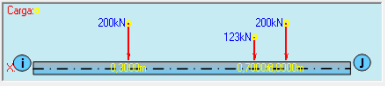
Direccion: GRAVEDAD

- **Aplicar Carga Concentrada:** al chequear los miembros de la lista y al seleccionar la modalidad “Carga Concentrada”, aparecerá una ventana como se muestra a continuación:



En el recuadro Digite número de carga puede elegir una de las siguientes Opciones:

NUMERO DE CARGAS	VISUALIZACION	DATOS DE ENTRADA	DESCRIPCION
UNA CARGA			<p><b>Carga:</b> es la magnitud de carga puntual sobre el elemento.</p> <p><b>Posición Inicial:</b> es el punto sobre el elemento donde está ubicada la carga</p>

<p>VARIAS CARGAS</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>Posicion (m)</th> <th>Carga (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,3000</td> <td>200,00000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,7000</td> <td>123,00000</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,8000</td> <td>200,00000</td> </tr> </tbody> </table>	No	Posicion (m)	Carga (kN)	1	0,3000	200,00000	2	0,7000	123,00000	3	0,8000	200,00000	<p>Desde esta opción se puede crear agrupaciones de carga puntual en el elemento, en las diferentes posiciones.</p>
No	Posicion (m)	Carga (kN)													
1	0,3000	200,00000													
2	0,7000	123,00000													
3	0,8000	200,00000													

En las otras entradas de este formulario podemos cambiar el tipo de carga al que corresponde la carga que estamos creando, también podemos elegir el tipo de coordenadas que vamos a usar para la orientación de dicha carga, en los recuadros que se muestran a continuación.

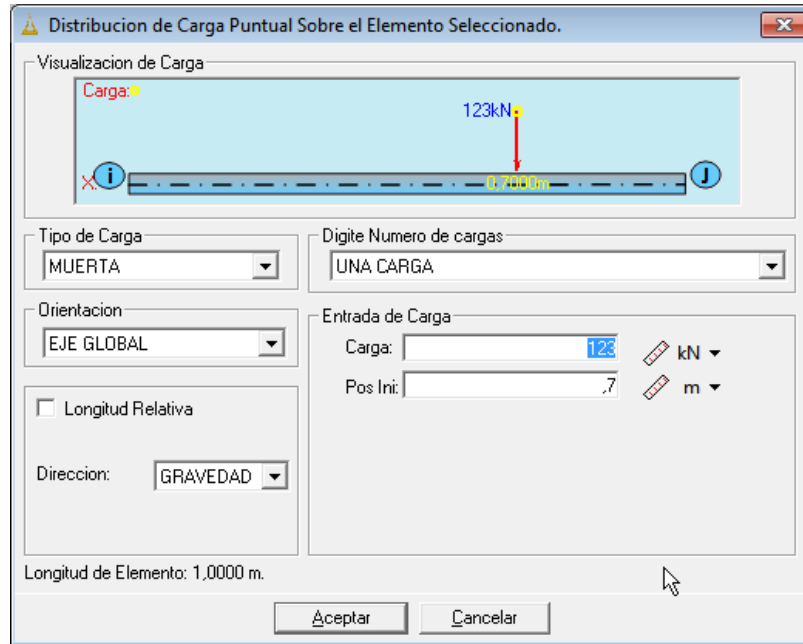
<p>Tipo de Carga</p> <p>MUERTA</p>	<p>Orientacion</p> <p>GLOBAL</p>
------------------------------------	----------------------------------

En el recuadro que se encuentra más abajo, podemos dar dirección a la carga con base a la orientación elegida en el recuadro anterior. En este mismo recuadro también podemos activar el control “Longitud Relativa”, con la que podemos digitar las posiciones sobre el elemento con valores entre 0.00 y 1.00.

Longitud Relativa

Direccion: GRAVEDAD

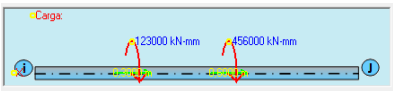
- **Aplicar Carga Torsional:** al chequear los miembros de la lista y al seleccionar la modalidad “Carga Concentrada”, aparecerá una ventana como se muestra a continuación:



En el recuadro “*Digite número de carga*” puede elegir una de las siguientes Opciones:

NUMERO DE CARGAS	VISUALIZACION	DATOS DE ENTRADA	DESCRIPCION
UNA CARGA		Carga: 123,00001 kN-m P. Inic: 0,3000 m	<b>Carga:</b> es la magnitud de carga puntual sobre el elemento. <b>Posición Inicial:</b> es el punto sobre el elemento donde está ubicada la carga



<p>VARIAS CARGAS</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Posicion(m)</th> <th>Carga(kN-mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.3000</td> <td>123000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.6000</td> <td>456000</td> </tr> </tbody> </table>	No.	Posicion(m)	Carga(kN-mm)	1	0.3000	123000	2	0.6000	456000	<p>Desde esta opción se puede crear agrupaciones de carga torsional en el elemento en las diferentes posiciones.</p>
No.	Posicion(m)	Carga(kN-mm)										
1	0.3000	123000										
2	0.6000	456000										

En las otras entradas de este formulario podemos cambiar el tipo de carga al que corresponde la carga que estamos creando. Todas las cargas que se crean de esta modalidad están orientadas en el eje X local.

Tipo de Carga

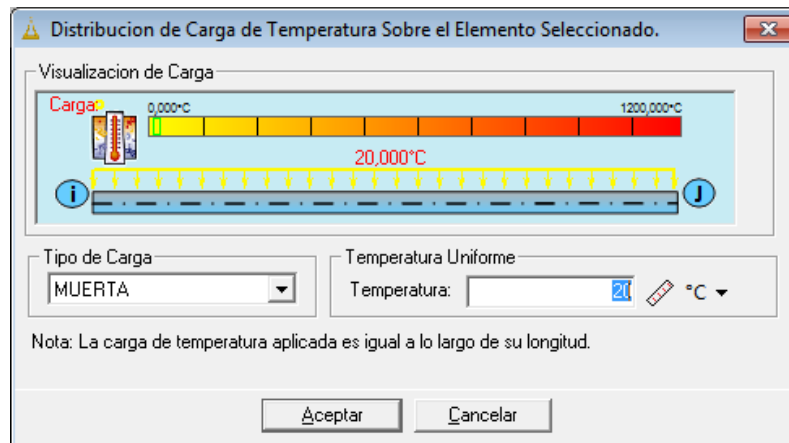
MUERTA

En el recuadro que se encuentra más abajo, podemos dar el sentido de la carga alrededor del eje x local. En este mismo recuadro también podemos activar el control “Longitud Relativa”, con la que podemos digitar las posiciones sobre el elemento con valores entre 0.00 y 1.00.

Longitud Relativa

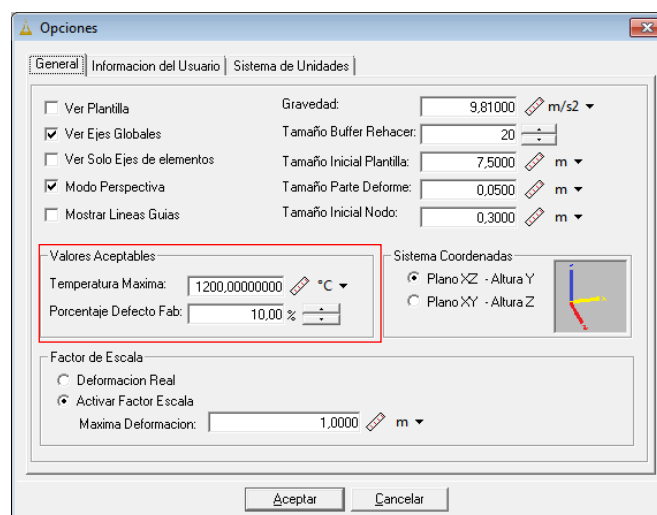
Sentido Giro: POSITIVO

- **Aplicar Carga Térmica:** al chequear los miembros de la lista y al seleccionar la modalidad “Carga Térmica”, aparecerá una ventana como se muestra a continuación:

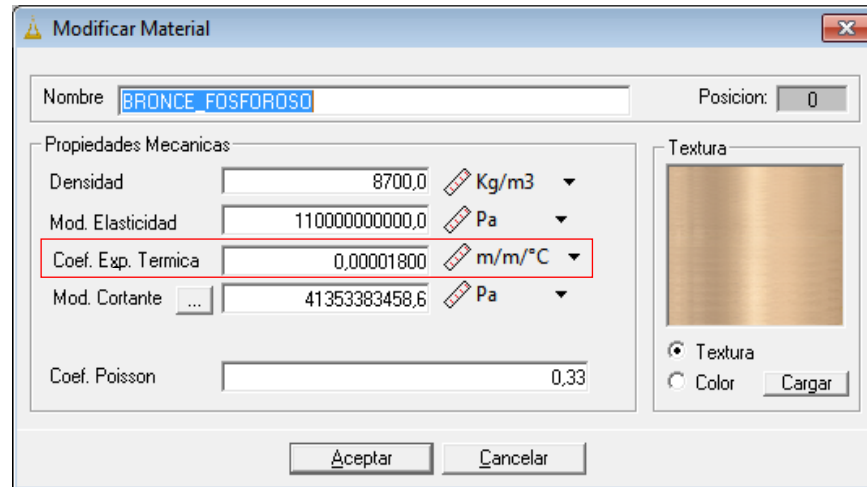


Desde esta ventana se puede asignar una carga de temperatura a los miembros seleccionados, y el tipo de carga al que corresponde. En la banda que se encuentra en la parte superior, que muestra un rango de temperatura entre 0 y 1200°C, podemos señalar con el puntero del ratón la temperatura deseada o podemos escribir el valor directamente en la entrada de temperatura. No se puede asignar una temperatura fuera de ese rango porque no es permitido.

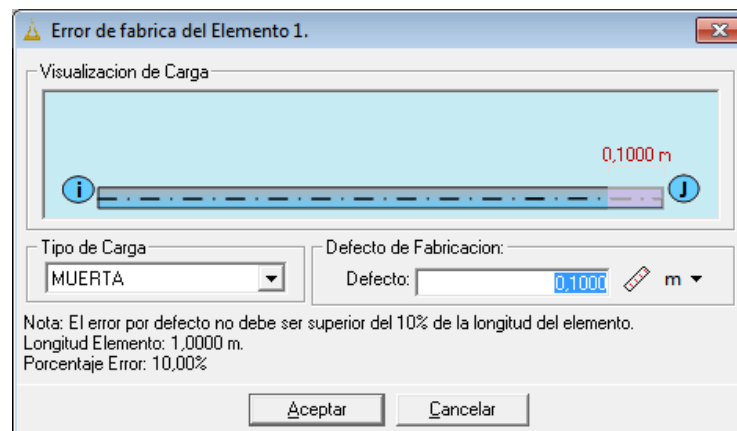
Si se desea colocar una temperatura mayor a 1200°C, entonces debe ir al menú “Ver/Opciones” y en la pestaña general podemos ver un recuadro de “Valores Aceptables”, podemos escribir la temperatura máxima que soportará el sistema estructural.



Para que la temperatura asignada en los elementos, haga efecto en el comportamiento de la estructura, los materiales asociados deberían tener un coeficiente de expansión térmica diferente de cero.



- **Aplicar Carga de Error de Fabricación:** al chequear los miembros de la lista y al seleccionar la modalidad “Carga de Defecto de Fabricación”, aparecerá una ventana como se muestra a continuación



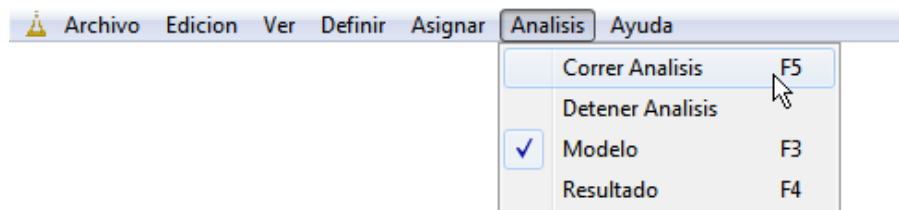
Desde esta ventana se ingresa la medida que le hace falta al elemento para alcanzar la longitud deseada. También se puede escoger el tipo de carga al que pertenece este tipo de carga. En la nota que aparece en la parte inferior de la ventana, se especifica el porcentaje máximo de error que

puede soportar el sistema y el porcentaje actual. El porcentaje actual no puede ser mayor que máximo, ya que el programa no permitiría el ingreso de dicho error.

Para fijar un porcentaje de error máximo, el usuario debería ir al menú “Ver/Opciones” y en la pestaña “General” se verá un recuadro de “Valores Aceptables” donde se ingresa el porcentaje máximo de error de fabricación del sistema.

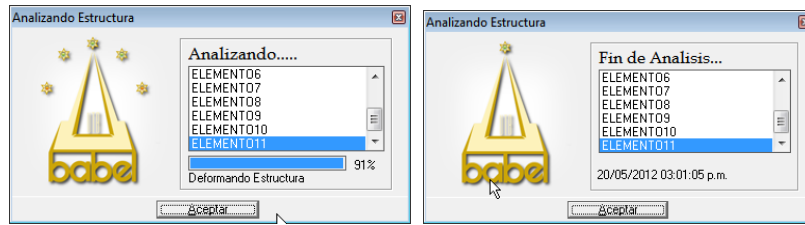
#### **6.1.2.6 Menú análisis**

Este menú es el encargado de ejecutar el análisis completo de la estructura, de acuerdo a las condiciones que el usuario halla establecidos en cada elemento de la estructura.



##### **6.1.2.6.1 Análisis/Correr Análisis**

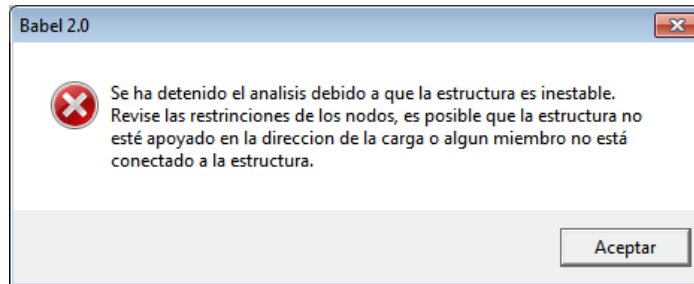
Cuando la estructura está lista para ser analizada, el usuario puede pulsar el menú “Análisis/Correr Análisis” o presionar la tecla “F5” y ver el comportamiento de la estructura de acuerdo a las consideraciones que se hayan tenido en cuenta para el análisis. En la que el usuario puede ver una pequeña ventana donde se puede ver el progreso y el estado de un determinado análisis, como se muestra en la siguiente imagen.



Después que el usuario haya ejecutado el análisis de la estructura, puede ver los diferentes resultados arrojados en cuanto a deformaciones y reacciones en los nodos y elementos.

✓ Errores durante el análisis

Si durante el análisis ocurre algún tipo de error, es posible que no cumpla con alguna de las siguientes condiciones y por ende, se mostrara el siguiente mensaje que detendrá el análisis:



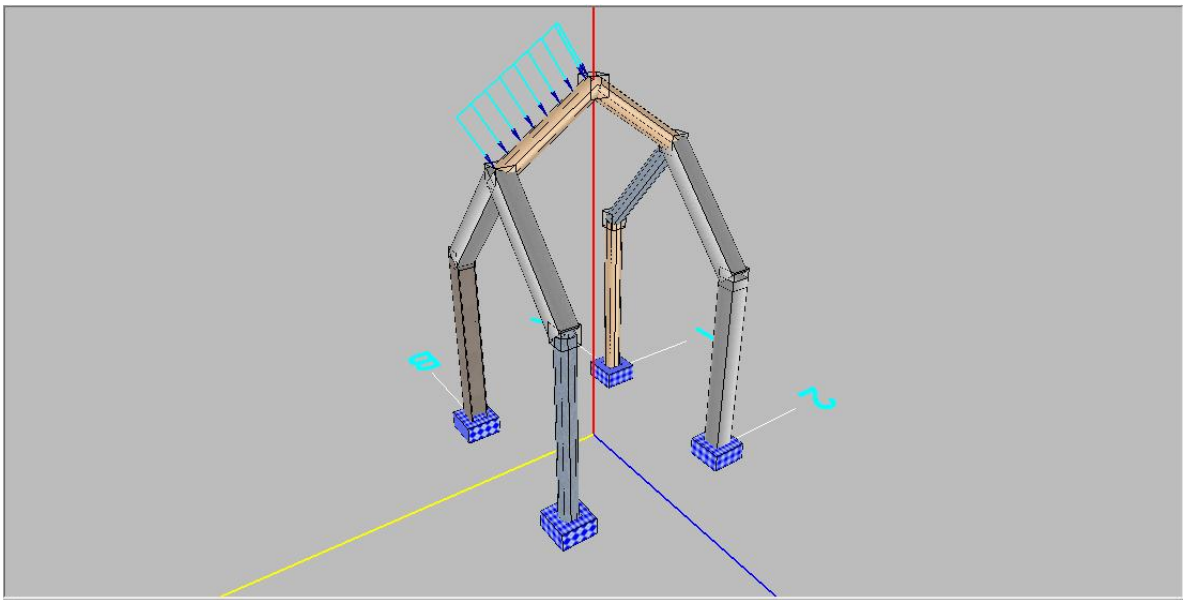
- Si todos los apoyos de la estructura son libres o las restricciones aplicadas no garantizan una estabilidad de acuerdo a las condiciones de carga, entonces el análisis no se llevará a cabo.
- Si existen miembros que no están conectado al cuerpo estructural, entonces, la matriz general de la estructural no cumplirá con las condiciones de compatibilidad, por lo cual producirá error de análisis, y por ende el análisis se detendrá.

#### 6.1.2.6.2 *Análisis/Detener Análisis*

Cuando la estructura se encuentra deformada el usuario puede volver al estado normal de la estructura al pulsar el menú “Análisis/Detener Análisis”, pero los resultados del análisis siguen intactos, por lo cual, pueden ser vistos por el usuarios en las diversas formas que ofrece babel 2.0.

#### 6.1.2.6.3 *Análisis/Modelo*

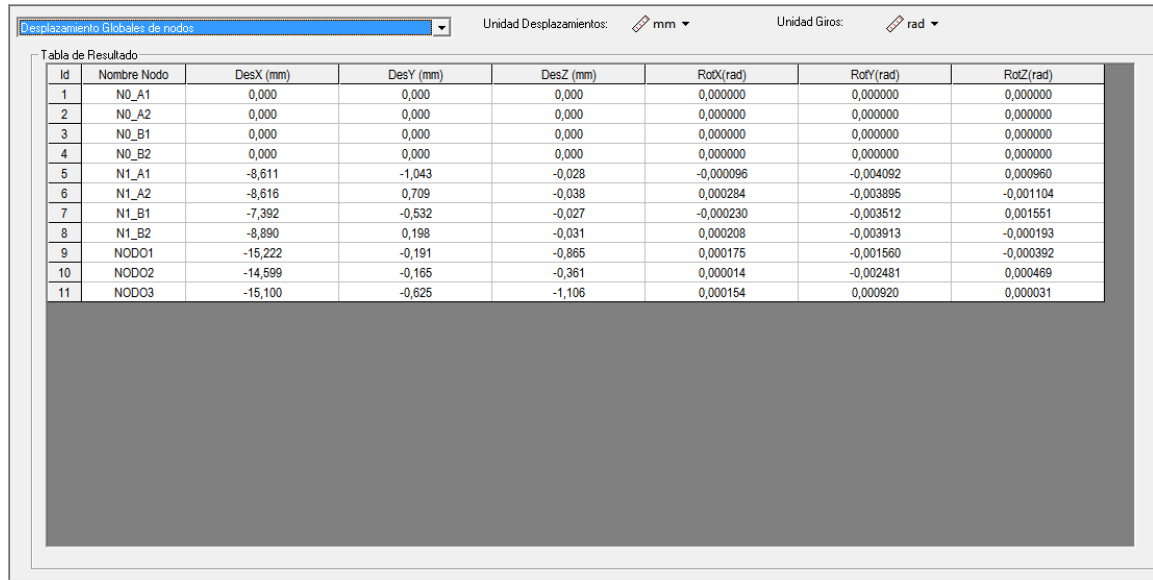
Cuando el usuario desea ver la estructura armada en una dimensión tridimensional, puede chequear este menú, y utilizar las diversas formas de análisis desde esta ventana:



Más adelante se explicara cada una de las funciones de esta ventana.

#### 6.1.2.6.4 Análisis/Resultados



Cuando se ha analizado la estructura, el programa guarda toda la información de los resultados del último análisis, y el usuario puede ver esa información con solo pulsar éste menú. La información que brinda esta tabla es la siguiente:



Id	Nombre Nodo	DesX (mm)	DesY (mm)	DesZ (mm)	RotX(rad)	RotY(rad)	RotZ(rad)
1	N0_A1	0,000	0,000	0,000	0,000000	0,000000	0,000000
2	N0_A2	0,000	0,000	0,000	0,000000	0,000000	0,000000
3	N0_B1	0,000	0,000	0,000	0,000000	0,000000	0,000000
4	N0_B2	0,000	0,000	0,000	0,000000	0,000000	0,000000
5	N1_A1	-8,611	-1,043	-0,028	-0,000096	-0,004092	0,000960
6	N1_A2	-8,616	0,709	-0,038	0,000284	-0,003895	-0,001104
7	N1_B1	-7,392	-0,532	-0,027	-0,000230	-0,003512	0,001551
8	N1_B2	-8,890	0,198	-0,031	0,000208	-0,003913	-0,000193
9	NODO1	-15,222	-0,191	-0,865	0,000175	-0,001560	-0,000392
10	NODO2	-14,599	-0,165	-0,361	0,000014	-0,002481	0,000469
11	NODO3	-15,100	-0,625	-1,106	0,000154	0,000920	0,000031

- Desplazamiento Globales de los nodos
- Reacciones globales de los nodos
- Desplazamiento locales de los miembros
- Reacciones locales de los miembros
- Reacciones globales de los miembros
- Reacciones axiales de los miembros


También puede escoger la unidad en la que se desea ver la información contenida en la tabla, los controles que se muestran en la parte superior de la tabla.

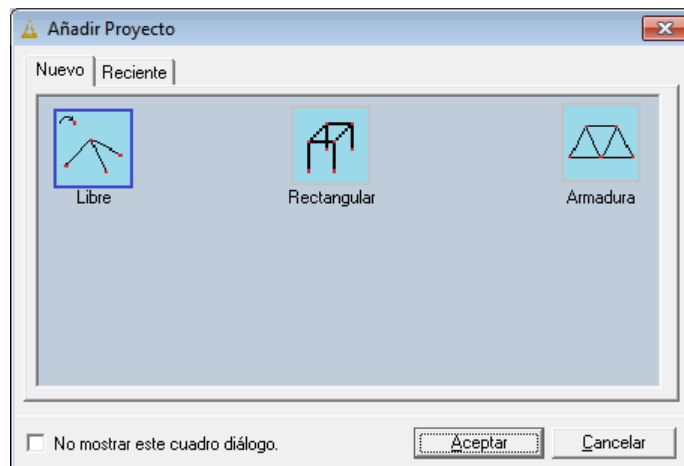
Unidad Fuerza:  kN ▼      Unidad Momento:  kN-m ▼

### 6.1.3 BARRA ESTANDAR

Con esta barra se pueden usar los comandos rápidos para iniciar un proyecto, para abrir un proyecto guardado, Guarda el proyecto, recuperar cambios que se hayan hecho en el proyecto, correr análisis y detener análisis respectivamente, como se muestra la siguiente imagen:



-  **Crear un nuevo proyecto:** Con este comando el usuario puede iniciar un proyecto desde el comienzo, de acuerdo a la elección de una de los siguiente tipos:





Un proyecto tipo libre, implica que el usuario solo puede asignar nodos en el espacio tridimensional de manera arbitraria y durante el análisis el análisis de la estructura armada, los elementos son considerado como TOTALMENTE FLEXIBLE y se permite el ingreso de resorte, como se explicó en la sección de asignación miembros.

Un proyecto tipo rectangular es una manera rápida de crear nodos en el espacio tridimensional de acuerdo a la configuración que se ingrese en el





plano XY y la altura que tendrá la estructura rectangular, aunque el usuario puede ingresar nodos adicionales al sistema de grilla rectangular. Los elementos que se crean en este tipo de proyecto son también TOTALMENTE FLEXIBLE y se permite el ingreso de resorte.

Un proyecto tipo armadura es equivalente a uno libre, pero los elementos creados son TRANSVERSALMENTE RIGIDOS y no se permite la asignación de elemento tipo resorte.

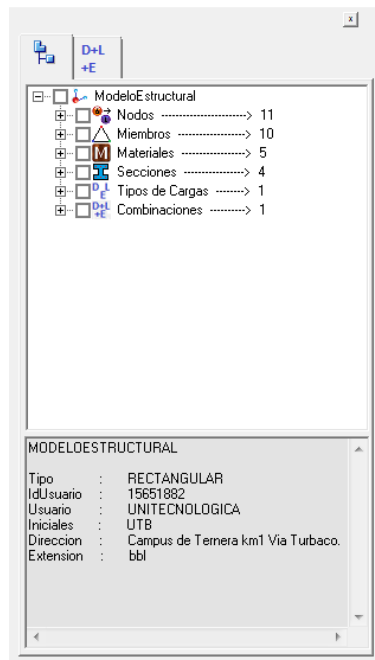
-  **Abrir un proyecto:** mediante este comando se puede abrir un proyecto guardado en el disco duro, y es equivalente al menú “Archivo/Abrir...”.
-  **Guardar el proyecto:** con éste comando podemos guardar el proyecto nuevo, o guardar los cambios que se hayan hecho al archivo.

Cuando el proyecto es nuevo, el archivo que se guarda, lleva la información del usuario quien creó el archivo, pero cuando el archivo fue abierto por el comando anterior, la información de usuario no será modificada, es decir que el propietario del archivo será el mismo que inició el proyecto. Solamente puede modificar el archivo el dueño del archivo desde el computador donde se inició dicho proyecto.

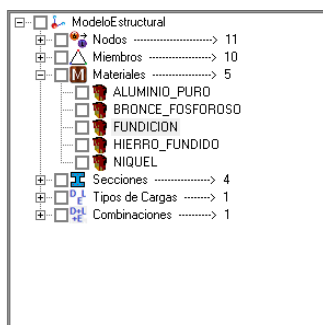
-  **Recuperar cambios:** a medida que el usuario realiza cambios a la estructura, va a necesitar recuperar el estado anterior o posterior de la estructura. Es por esto que podemos usar este comando que permite deshacer o rehacer cambios de edición.
-  **Análisis de Estructura:** para analizar la estructura el usuario puede usar el primer comando y para detenerla puede usar el segundo.

### 6.1.4 EXPLORADOR DEL PROYECTO O PATHFINDER

Desde ésta ventana, el usuario puede ver todas las ramificaciones del proyecto, el número de componentes o elementos que conforman la estructura, la información de cada uno de esos elementos, y la edición del elemento seleccionado desde un menú especial para ese tipo de componente seleccionado.

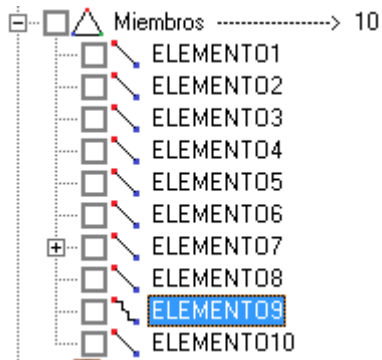


En el árbol que se muestra en el primer recuadro, se puede ver el número de nodos, miembros, materiales, secciones, tipos de cargas, y combinaciones de cargas en el sistema estructural. Así mismo, al desplegar cada uno de esos componentes, se visualizará la lista de nombre de cada elemento creado en el sistema estructural.



El nombre principal del encabezado corresponde al nombre del archivo abierto y es la que contiene toda la lista de nombres de nodos, miembros, materiales, secciones, tipos de cargas, y combinaciones. Y con ayuda de las imágenes que se encuentra al lado de cada
















nombre, el usuario se hará una idea del tipo de elemento que corresponde a la vida real. Un ejemplo claro podemos verlo en la siguiente imagen:



















En la lista de miembro de la imagen podemos deducir que hay 10 miembros, que el ELEMENTO7 está cargado con alguna de las modalidades de cargas explicadas anteriormente y que el ELEMENTO9 es un resorte.

Las imágenes de representación que muestra estas ramificaciones tienen un significado y lo podemos ver en la siguiente tabla:

IMAGEN	SIGNIFICADO
	Esta imagen representa que el nodo esta libre.
	Si el nodo tiene algún tipo de restricción aparecerá esta imagen de representación.
	Representa a un miembro normal de la estructura, que posee sección transversal.
	Representa a un miembro tipo resorte.
	Esta imagen representa a cualquier material que este sobre el sistema estructural.
	La sección es cuadrada.
	La sección es rectangular.
	La sección es circular.
	La sección tiene Perfil IPE.

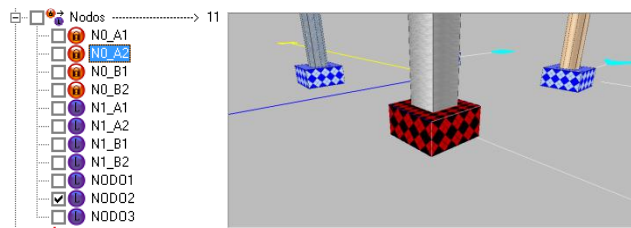
<b>T</b>	La sección tiene Perfil T.
<b>L</b>	La sección tiene Perfil L.
<b>C</b>	La sección tiene Perfil C.
	La sección es un tubo rectangular.
	La sección es un tubo circular.
<b>D</b>	Representa un tipo de carga muerta.
	Es una carga distribuida, que pertenece a un tipo de carga muerta.
	Es una carga puntual, que pertenece a un tipo de carga muerta.
	Es una carga torsional, que pertenece a un tipo de carga muerta.
	Es una carga de temperatura, que pertenece a un tipo de carga muerta.
	Es una carga de defecto de fabricación, que pertenece a un tipo de carga muerta.
<b>L</b>	Representa un tipo de carga viva.
	Es una carga distribuida, que pertenece a un tipo de carga viva.
	Es una carga puntual, que pertenece a un tipo de carga viva.
	Es una carga torsional, que pertenece a un tipo de carga viva.
	Es una carga de temperatura, que pertenece a un tipo de carga viva.
	Es una carga de defecto de fabricación, que pertenece a un tipo de carga viva.
	Representa un tipo de carga de viento.
	Es una carga distribuida, que pertenece a un tipo de carga de viento.
	Es una carga puntual, que pertenece a un tipo de carga viento.

	Es una carga torsional, que pertenece a un tipo de carga viento.
	Es una carga de temperatura, que pertenece a un tipo de carga viento.
	Es una carga de defecto de fabricación, que pertenece a un tipo de carga viento.
	Representa un tipo de carga de nieve.
	Es una carga distribuida, que pertenece a un tipo de carga de nieve.
	Es una carga puntual, que pertenece a un tipo de carga nieve.
	Es una carga torsional, que pertenece a un tipo de carga nieve.
	Es una carga de temperatura, que pertenece a un tipo de carga nieve.
	Es una carga de defecto de fabricación, que pertenece a un tipo de carga nieve.
	Representa un tipo de carga sísmica.
	Es una carga distribuida, que pertenece a un tipo de carga sísmica.
	Es una carga puntual, que pertenece a un tipo de carga sísmica.
	Es una carga torsional, que pertenece a un tipo de carga sísmica.
	Es una carga de temperatura, que pertenece a un tipo de carga sísmica.
	Es una carga de defecto de fabricación, que pertenece a un tipo de carga sísmica.
	Representa a todas las combinaciones de carga.

Desde esta ventana se puede hacer muchas acciones para trabajar conjuntamente con el modelo estructural. Con esta ventana podemos realizar lo siguiente:

#### 6.1.4.1 Seleccionar un elemento

- Cuando selecciona un elemento en el explorador de proyecto, éste automáticamente se selecciona el elemento correspondiente en el modelo tridimensional y toma el punto de atención del usuario, como muestra la siguiente imagen:



Este tipo de selección solamente aplica para los nodos y los miembros, pero para los materiales y las secciones ocurren de otra manera.

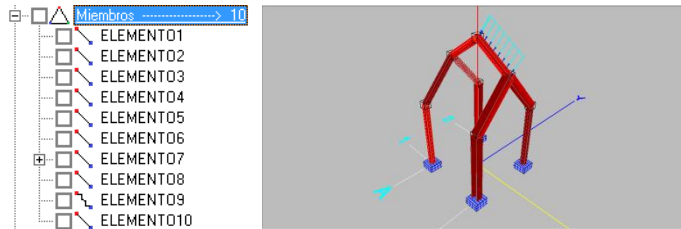
- Cuando se selecciona un material o sección en el explorador del proyecto, automáticamente se seleccionan todos los miembros que contienen ese material o sección seleccionada. En la siguiente imagen podemos ver este caso:



Para cancelar cualquier punto de atención, el usuario debe presionar la tecla "ESC".

#### 6.1.4.2 Seleccionar todos los elementos.

Cuando el usuario desee seleccionar todos los elementos de una lista de la estructura puede seleccionar el encabezado de dicha lista en el explorador del proyecto. La siguiente imagen ilustra éste caso:






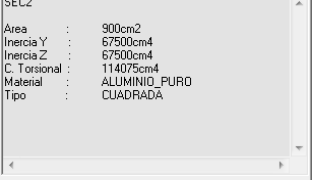
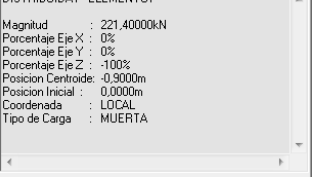
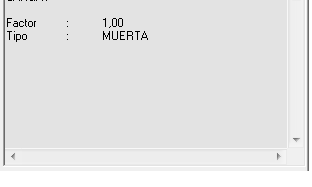
Al aplicar este modo de selección en los nodos se seleccionan todos los nodos. Si lo aplico a miembros, secciones o materiales se seleccionan todos los miembros de la estructura.

#### 6.1.4.3 Obtener información del elemento seleccionado


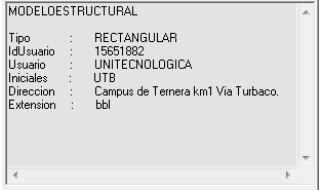
Cuando selecciona cualquier elemento de la ramificación en el segundo recuadro que está ubicado en la parte inferior (área gris), se muestra la información necesaria del elemento seleccionado, como se puede ver en la siguiente imagen:



Desde esta ventanita se puede ver la información de cualquiera de los elementos seleccionados, como nodos, miembros, materiales, cargas, tipos de carga, combinaciones de carga y la información de usuario. En la siguiente tabla se mostrara un ejemplo de cada uno de estos casos:

ELEMENTO SELECCIONADO	IMAGEN DE EJEMPLO
UN NODO	
UN MIEMBRO	
UN MATERIAL	
UNA SECCION	
UNA CARGA	
UN TIPO DE CARGA	

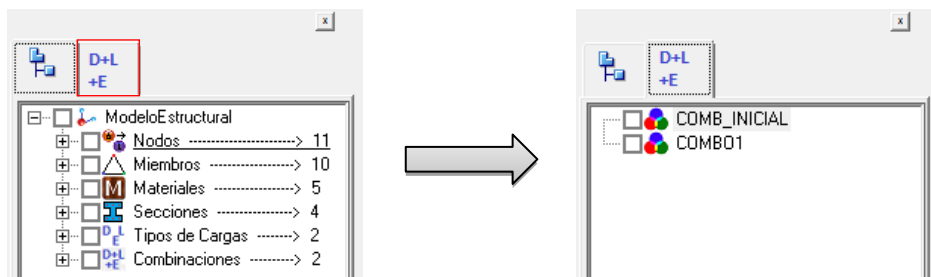


<p>UNA COMBINACION DE CARGA</p>	
<p>NOMBRE DEL PROYECTO (Información de usuario)</p>	

#### 6.1.4.4 Aplicar Combinación de carga para el análisis

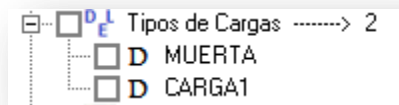
Para aplicar combinaciones de carga desde explorador de proyecto, debemos seguir los siguientes pasos:

- Definir tipos de cargas (menú “*Definir/Tipos de Cargas*”).
- Definir combinaciones de los diferentes tipos de cargas (menú “*Definir/Combinaciones de Carga*”).
- En la ventana del explorador de proyecto o PathFinder, encontramos dos pestañas; la primera corresponde al árbol del proyecto y la segunda, las combinaciones de cargas que se definieron en el paso anterior.

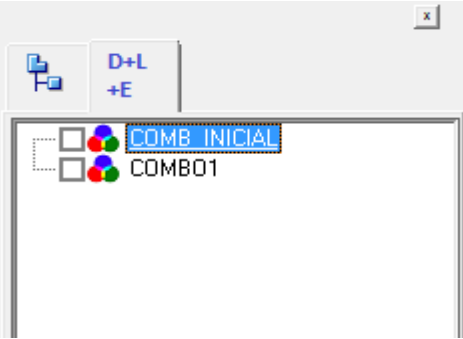
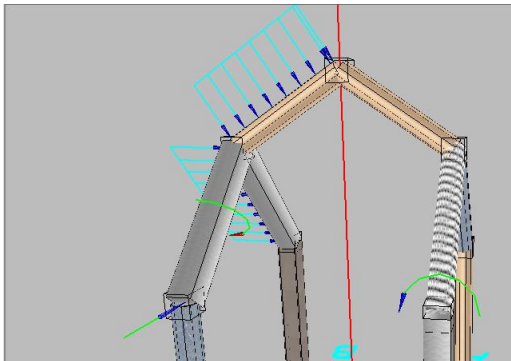

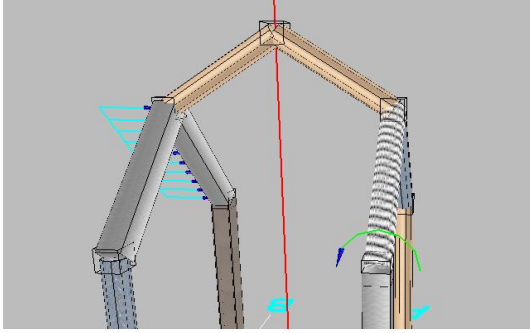


- Cuando el usuario clickea o selecciona uno de los Combos de la lista, queda automáticamente definido como la combinación actual. En la imagen anterior está seleccionada “COMB\_INICIAL”, la cual el análisis se hará con base a esa combinación de carga.

Cuando el usuario selecciona uno de los casos de cargas en la lista de combinaciones de cargas, en el modelo tridimensional solo se verán aquellos tipos de cargas que se tiene en cuenta en el combo seleccionado. Mostraremos un ejemplo de este caso para evaluación de cargas:

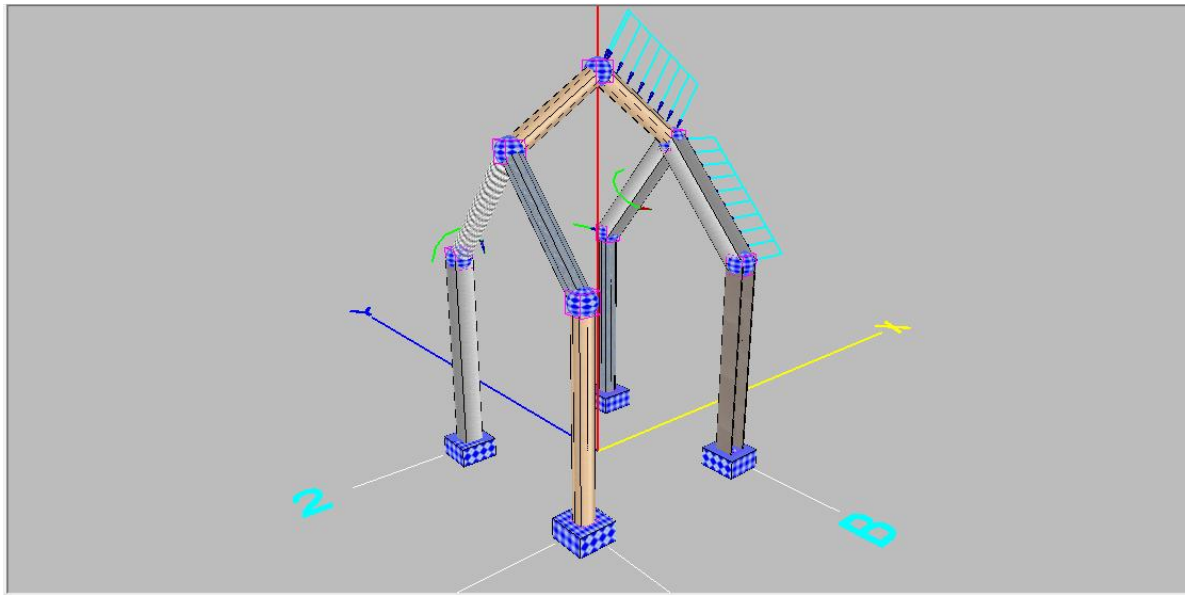


En la imagen anterior donde se ve el árbol del proyecto, indica que hay dos tipos de cargas que son la “MUERTA” y “CARGA1”, lo que significa que en la combinación inicial “COMB\_INICIAL”, se tendrá por defecto una combinación “1.00 MUERTA+1.00 CARGA1”, pero si el usuario desea crear otra combinación, donde solamente se tenga en cuenta los tipos de cargas “CARGA1”, y luego se éste se llamara “COMBO1”, se tendría dos combinaciones de cargas. Y para los tipos de cargas creados, el usuario ha asignado cargas en algunos elementos de la estructura, y le ha definido un tipo. Al momento que el usuario selecciona “COMB\_INICIAL”, de la lista de combinaciones de carga el modelo tridimensional mostrara todas las cargas, porque ésta combinación tiene en cuenta todo, pero si selecciona “COMBO1”, entonces en el modelo tridimensional se mostraran solamente los tipos de carga “CARGA1”, por ser el único tipo que tiene el combo. Este ejemplo lo podemos ilustrar mejor con las siguientes imágenes:

SELECCIÓN DE COMBINACION	MODELO TRIDIMENSIONAL
	
	

### 6.1.5 *MODELO TRIDIMENSIONAL*

En esta área de trabajo, se puede visualizar la estructura que el usuario desea modelar, y analizar en el espacio tridimensional. En el modelo tridimensional, el usuario puede interactuar con la estructura, ya sea para su construcción, la obtención de información, visualización, edición, selección y otras acciones que le facilitan su ubicación en la estructura.



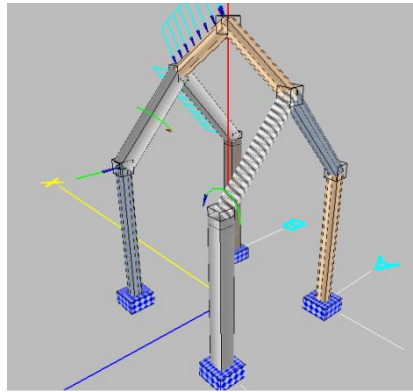
En esta ventana se dibuja la estructura de acuerdo a las condiciones que el usuario le parezca adecuado. En esta área de trabajo se pueden hacer las siguientes acciones:

#### **6.1.5.1 Visualizaciones**

Una parte muy importante para comprender mejor el problema presentado en el análisis de estructuras, es la visualización de los elementos que conforman la estructura, tal cual como se presentaría en la vida real. El modo de visualización que presenta Babel 2.0 se debe gracias a una librería gráfica llamada OpenGL 1.1, la cual es la encargada de graficar la estructura en la pantalla de computador, generando un efecto de realismo, al utilizar texturas y elementos primarios como puntos, líneas y polígonos en el espacio tridimensional. La visualización que el usuario puede disfrutar en Babel 2.0, son las siguientes:

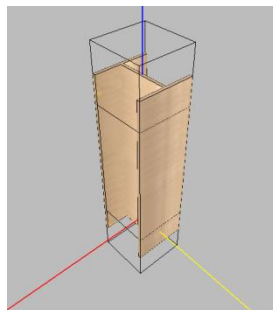
### 6.1.5.1.1 Visualización de Materiales

Los materiales creados para estructura tienen dos opciones de visualización que puede ser un color o una textura, y en el modelo tridimensional se pueden diferenciar los elementos que tienen un determinado material, como muestra la siguiente imagen.

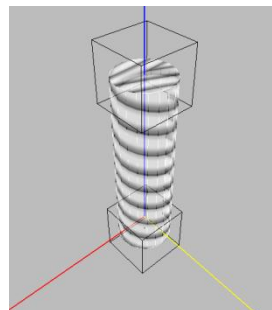


### 6.1.5.1.2 Visualización de secciones

Los miembros que tienen una determinada sección se le pueden visualizar su perfil extruida a lo largo del eje del miembro. Para miembros que son tipo resorte se verá una sección circular con una textura helicoidal.



Visualización de sección en miembro normal

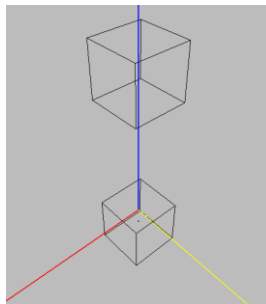


Visualización de Miembros tipo resorte

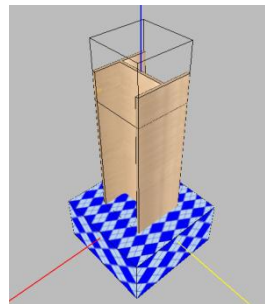
### 6.1.5.1.3 Visualización de nodos

Para saber dónde se ubican los nodos en el escenario, es importante mostrarlos en la posición  $\langle x, y, z \rangle$ , y son representado en Babel 2.0, como un cubo que tiene el mismo tamaño que el lado mayor de todas la secciones.

Si el nodo es libre se visualizará con la descripción anterior, pero si tiene algún tipo de restricción se mostrara con la representación mostrada en la tabla del ítem 1.2.4.6.



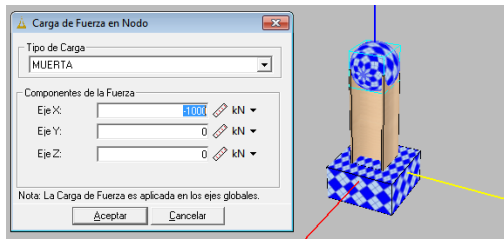
Visualización de  
nodo Libre



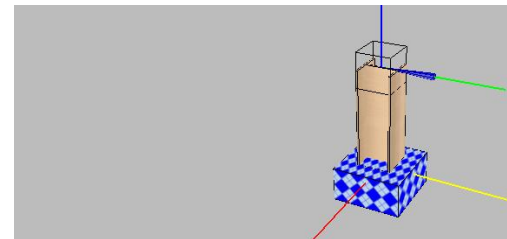
Visualización de  
nodo Restringido

### 6.1.5.1.4 Visualización de Cargas

Las cargas que se aplican a la estructura, son fuerzas que tienen una magnitud y una dirección, por lo que es importante visualizarla en el escenario en la dirección real con base al sistema de coordenadas. Las cargas que se dibujan en el modelo tridimensional flechas que apuntan a la dirección que el usuario especifique al momento de definir las.



Definición de carga en el nodo en la dirección del eje X



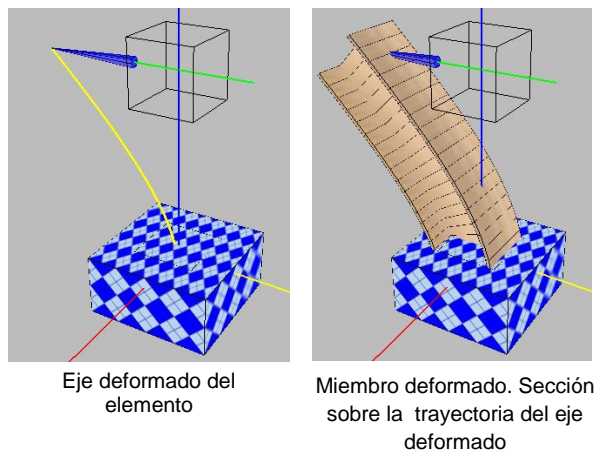
Visualización de la carga en el nodo en la dirección del eje X

### 6.1.5.1.5 Visualización de elementos seleccionados

ELEMENTO SELECCIONADO	DESCRIPCION	VISUALIZACION
NODO	Cuando un nodo está seleccionado se visualiza una esfera dentro del cubo que lo representa.	
MIEMBRO	Cuando un miembro está seleccionado, éste se torna un color rojizo.	
APOYO	Cuando un apoyo esta seleccionado, éste se torna un color rojizo.	
CARGA	Cuando una carga esta seleccionado, éste se torna un color rojizo.	

#### 6.1.5.1.6 Visualización de elementos deformados

Después que se ha analizado la estructura, es muy importante visualizar el comportamiento de ésta con base a las condiciones de carga que el usuario haya definido. Visualizar la estructura deformada es equivalente a ver cada elemento deformado. Visualizar un miembro deformado equivale a mover la sección transversal sobre la trayectoria del eje deformado del miembro, como ilustra la siguiente imagen:



#### 6.1.5.2 Selección de elementos

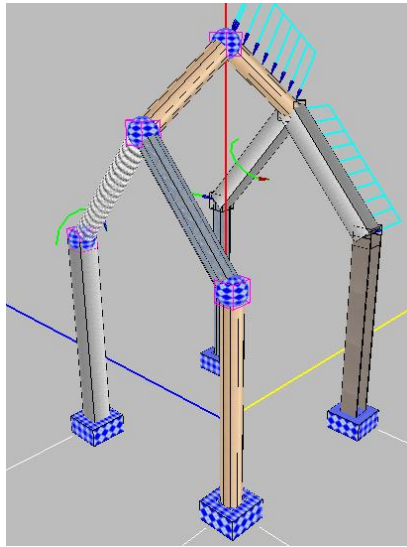
Para editar elementos del modelo tridimensional es esencial que el usuario pueda seleccionar con el puntero del ratón cualquier elemento del escenario. Los elementos que el usuario puede seleccionar son los nodos, los miembros, las cargas y los apoyos.

Cuando el usuario selecciona un tipo específico de elementos, no se permiten seleccionar otros. Es decir, si seleccionamos nodos, no se permite seleccionar miembros ni cargas ni apoyos.



#### 6.1.5.2.1 *Seleccionar varios elementos*

Cuando el usuario desea seleccionar varios elementos de un mismo tipo simultáneamente, debe tener presionado la tecla “SHIFT”, y seleccionar uno por uno los elementos que desee. En el ejemplo siguiente, se muestra la selección de varios nodos, pero se necesita presionar la tecla “SHIFT” por anticipado.



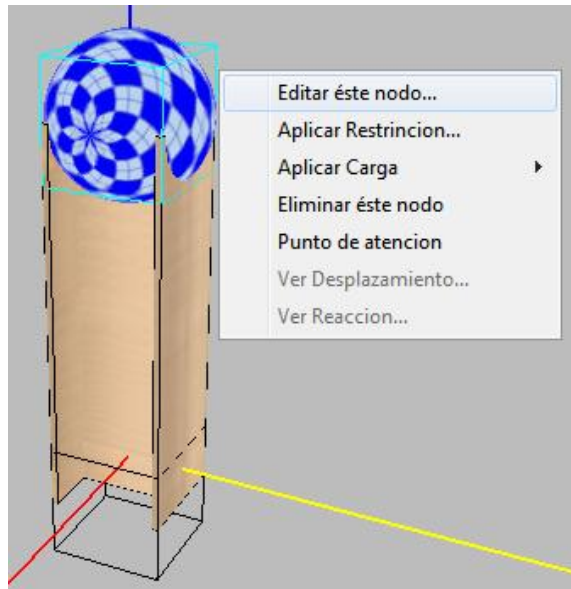
#### 6.1.5.3 *Edición de elementos*

Para editar elementos desde el modelo tridimensional, el usuario puede seguir las diferentes opciones que ofrece Babél 2.0 para modificar o eliminar la información de los elementos del escenario.

##### 6.1.5.3.1 *Editar un elemento*

Cuando se haga necesario editar elementos del modelo tridimensional, el usuario puede dar doble click sobre el elemento que desee y se abrirá la ventana correspondiente.

También el usuario puede dar click derecho sobre el elemento y es cuando se despliega un menú, donde puede elegir la opción “Editar éste...”. Como indicar la siguiente imagen:



Así mismo también, para nodos se puede editar el tipo de apoyo que tendrá en la opción “Aplicar Restricción”

#### **6.1.5.4 Eliminar elemento**

Para eliminar elementos de la estructura, el usuario debe seleccionar primero los elementos que desea eliminar, y luego presionar la tecla “Suprimir” o mediante el menú que se despliega al dar click derecho sobre el mismo, selecciona la opción “Eliminar éste...”.

### 6.1.5.5 Ver resultados de análisis.

El usuario puede ver los diferentes resultados del análisis en tres maneras; de deformaciones, reacciones y diagramas.

#### 6.1.5.5.1 Mostrar deformaciones

Cuando el usuario selecciona un nodo y presión el botón derecho del ratón, se despliega un menú donde puede elegir la opción “Ver Desplazamiento” y se abre una ventana donde puede observar los valores numéricos del desplazamiento que ha tenido el nodo con referencia a los ejes globales.

Restriccion de Coordenadas Globales			
Desplazamiento X:	-12,105 mm	Rotacion X:	0,000000 rad
Desplazamiento Y:	0,000 mm	Rotacion Y:	0,000000 rad
Desplazamiento Z:	0,000 mm	Rotacion Z:	0,018158 rad

Pero cuando es un miembro al que se le aplica esta acción se abrirá la siguiente ventana, pero con la información de desplazamiento de los extremos en coordenadas locales.

Deformacion Local - NODO1		Deformacion Local - NODO2	
Desplazamiento X:	0,000 mm	Desplazamiento X:	0,000 mm
Desplazamiento Y:	0,000 mm	Desplazamiento Y:	12,105 mm
Desplazamiento Z:	0,000 mm	Desplazamiento Z:	0,000 mm
Rotacion X:	0,000000 rad	Rotacion X:	0,000000 rad
Rotacion Y:	0,000000 rad	Rotacion Y:	0,000000 rad
Rotacion Z:	0,000000 rad	Rotacion Z:	0,018158 rad

### 6.1.5.5.2 Mostrar Reacciones

Cuando el usuario selecciona un nodo y presión el botón derecho del ratón, se despliega un menú donde puede elegir la opción “Ver Reacción” y se abre una ventana donde puede observar los valores numéricos de la reacción que ha tenido el nodo con referencia a los ejes globales.

The screenshot shows a dialog box titled "Reacciones de NODO2". It contains a section labeled "Restricción de Coordenadas Globales" with the following data:

Variable	Value	Unit
Fuerza X:	-1000,00000	kN
Fuerza Y:	0,00000	kN
Fuerza Z:	0,00000	kN
Momento X:	0,00000	kN-m
Momento Y:	0,00000	kN-m
Momento Z:	0,00000	kN-m

An "Aceptar" button is located at the bottom center of the dialog.

Pero cuando es un miembro al que se le aplica esta acción se abrirá la siguiente ventana, pero con la información de la reacciones en los extremos del miembro en coordenadas locales.

The screenshot shows a dialog box titled "Fuerzas y Momentos - Babél 2.0". It displays local reaction values for two nodes:

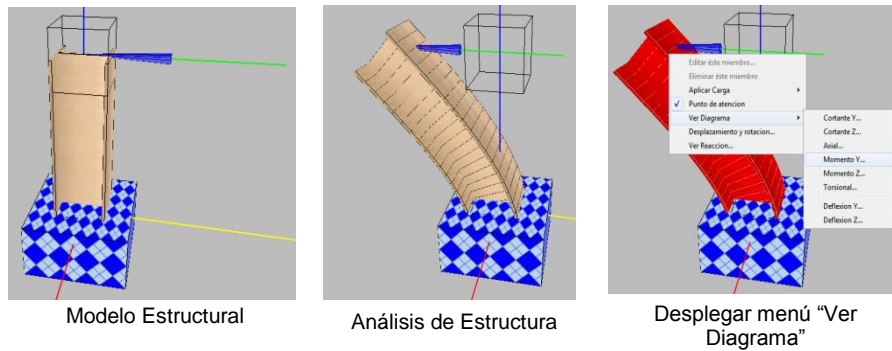
Reaccion Local - NODO1		Reaccion Local - NODO2	
Fuerza X:	0,00000 kN	Fuerza X:	0,00000 kN
Fuerza Y:	-999,99998 kN	Fuerza Y:	999,99998 kN
Fuerza Z:	0,00000 kN	Fuerza Z:	0,00000 kN
Momento X:	0,00000 kN-m	Momento X:	0,00000 kN-m
Momento Y:	0,00000 kN-m	Momento Y:	0,00000 kN-m
Momento Z:	-999,99998 kN-m	Momento Z:	0,00000 kN-m

An "Aceptar" button is located at the bottom center of the dialog.

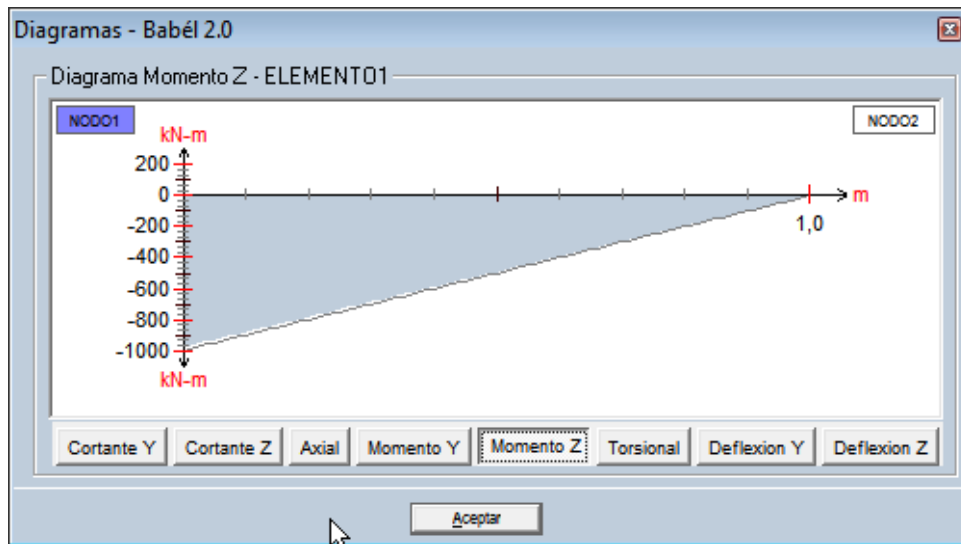
### 6.1.5.5.3 Mostrar diagramas

Cuando el usuario selecciona un miembro y presión el botón derecho del ratón, se despliega un menú donde puede elegir la opción “Ver diagrama”, y luego se despliega otra lista, donde están todos los diagramas que puede generar Babel 2.0. Para que se pueda generar un diagrama, el usuario primero tiene que analizar la estructura para actualizar datos.

En la siguiente imagen podemos ilustrar los pasos para la obtención de diagramas:



Y se muestra la siguiente ventana donde puede ver todos los diagrama que muestra la lista de menú. Además en esta ventana puede ver los nodos iniciales y finales del miembro en el modelo tridimensional con solo seleccionar los recuadros de los nodos que se encuentra en la esquina superior izquierdo y derecho de la misma ventana.











Si los recuadros de nodos en la parte superior aparecen con color azul indica que tiene algún tipo de restricción en el modelo tridimensional.

### 6.1.6 BARRA DE DIBUJO

La barra de dibujo es una herramienta para construir la estructura de nodo a nodo, y de miembro a miembro. Para que el usuario pueda usar esta herramienta, primero debe definir los materiales, las secciones y como mínimo dos nodos para que activen los comandos para dibujar miembros.



COMANDO	BOTON	DESCRIPCION
DIBUJAR NODO		Con éste comando el usuario, puede fijar nodos en el espacio tridimensional de manera libre.

<p>EDITAR RESTRICCION NODO</p>	  	<p>Cuando el usuario ha seleccionado nodos en el modelo tridimensional, el botón de edición para restringir nodos se activa automáticamente como muestra la segunda imagen. Y es cuando el usuario puede ejecutar este comando para cambiarle el tipo de restricción que desee.</p>
<p>DIBUJAR MIEMBRO SOBRE LINEA</p>		<p>Cuando se activa éste comando, se hacen visibles las líneas guías y la lista de secciones en la parte inferior de ésta barra, donde luego el usuario puede escoger la sección que desea aplicar al miembro y luego seleccionar la línea donde se desee colocar el miembro.</p>
<p>DIBUJAR MIEMBRO EN DOS NODOS</p>		<p>Cuando se activa éste comando, se hace visible la lista de secciones en la parte inferior de ésta barra y es cuando el usuario puede seleccionar la sección anhelada. Para ubicar el miembro, el usuario puede ir seleccionando de dos nodos, en dos nodos y se ira construyendo la estructura de miembro a miembro.</p>
<p>DIBUJAR MIEMBROS EN CADENA</p>		<p>Con éste comando el usuario puede ir seleccionando nodos y automáticamente se van creando los miembros en cadena a medida que se van seleccionando nodos consecutivamente.</p>
<p>DIBUJAR RESORTE</p>		<p>Con este comando el usuario puede crear miembros tipo resorte, pero antes, debe definir la constante de recuperación en unidades m/N, para luego seleccionar los nodos donde se ubicara el miembro.</p>
<p>DIBUJAR MIEBRO CON ARRASTRE DE SECCION</p>		<p>Cuando se activa este comando, se muestra la lista de secciones, donde luego el usuario puede tomar una y arrastrar sobre la línea guía donde desea colocar un miembro, o arrastrarla sobre un miembro ya creado y modificarle la sección que tenga.</p>

### 6.1.6.1 Ver lista de secciones.

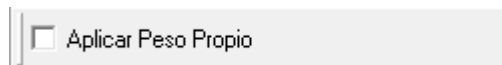
Cuando se utilizan los comandos para la creación de miembros, se muestra una barra con toda la lista de secciones definidas del sistema estructural, y es cuando el usuario puede seleccionar alguna y aplicarla al elemento que desea ingresar. La barra de la lista de secciones es como se muestra en la siguiente imagen.



La sección que aparezca seleccionada en ésta banda, será la que el usuario aplicará a los miembros que desee ingresar. Cuando el usuario haya elegido la sección adecuada, puede ocultar ésta barra sin ninguna dificultad con los botones “ocultar” que aparecen en las esquinas superiores de la banda.

### 6.1.7 BARRA DE PESO DE LA ESTRUCTURA

Es una barra que se encuentra visible en la parte inferior izquierda de la interfaz gráfica de Babel 2.0 y es la encargada de aplicar el peso general de la estructura en el análisis de la estructura propuesta. En esta barra solamente se puede activar o desactivar el control “Aplicar peso propio”, para que en el análisis se tenga en cuenta o no dicho peso general.

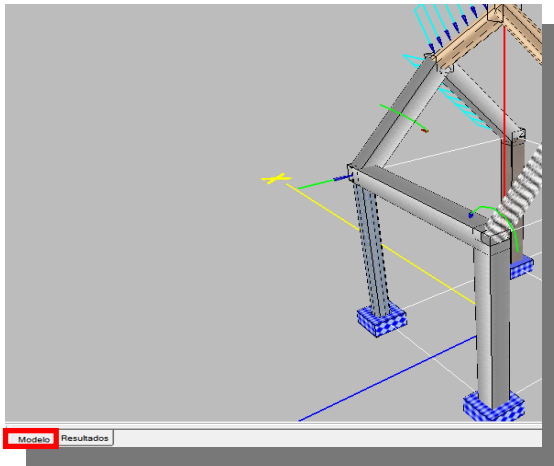


Para que este comando haga efecto en el comportamiento de la estructura, los materiales creados deben tener una densidad diferente de cero.



### 6.1.8 BARRA MODELO Y RESULTADO

Esta barra que se encuentra en la parte inferior de la ventana del modelo tridimensional y se utiliza para visualizar el modelo tridimensional o la tabla de resultado según la necesidad del usuario.



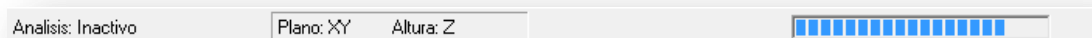
Visualización del modelo tridimensional

Id	Nombre Nudo	DesX (mm)	DesY (mm)	DesZ (mm)
1	NO_A1	0,000	0,000	0,000
2	NO_A2	0,000	0,000	0,000
3	NO_B1	0,000	0,000	0,000
4	NO_B2	0,000	0,000	0,000
5	N1_A1	-51,734	-60,137	-0,245
6	N1_A2	-18,991	-99,089	-0,236
7	N1_B1	-29,214	-127,189	-0,461
8	N1_B2	-19,205	-153,903	1,745
9	NODO1	-67,937	-86,223	21,862
10	NODO2	-57,539	-141,980	12,297
11	NODO3	-59,641	-122,432	9,199

Visualización de la tabla de resultados

### 6.1.9 BARRA DE ESTADO

Con esta barra, el usuario puede enterarse del sistema de coordenadas que se está usando para el análisis del proyecto, puede ver si el análisis se está llevando a cabo o no, y puede ver el progreso de alguna tarea que se esté llevando a cabo en Babel 2.0, como guardar o abrir un proyecto.



# **CAPITULO VII**

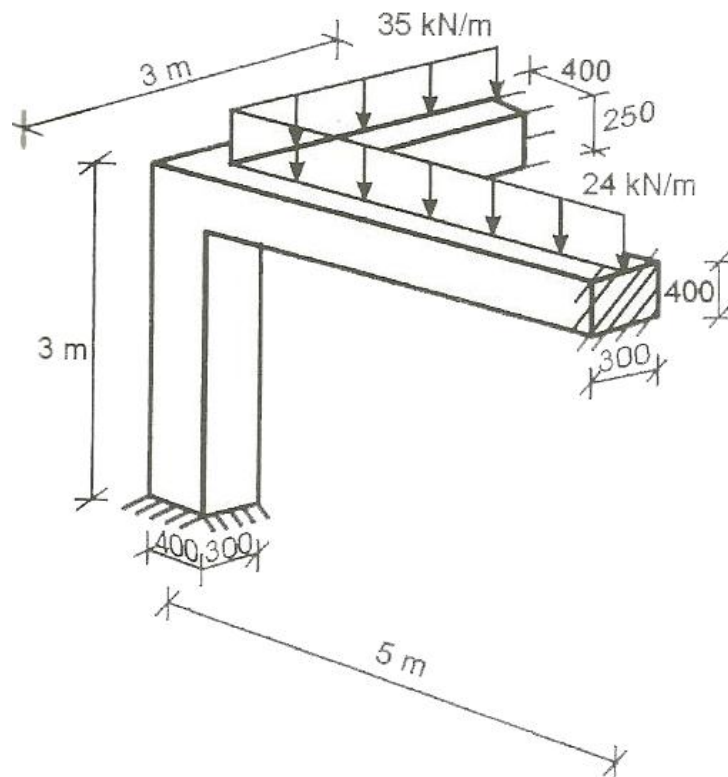
## **VALIDACION DE DATOS**

## 7 EJERCICIOS RESUELTOS

Las estructuras que se analizarán en este capítulo, están referenciadas a los ejemplos 11.30 y 11.21 del libro de Análisis de Estructuras del ingeniero Jairo Uribe Escamilla, segunda edición. Para validar los resultados que se obtienen de BABEL 2.0, se compararán con los resultados de los ejemplos anteriormente mencionados, con el fin de comprobar que los cálculos obtenidos en el programa coincidan, y a su vez, demostrar el grado de confiabilidad de BABEL 2.0 para el análisis de cualquier estructura.

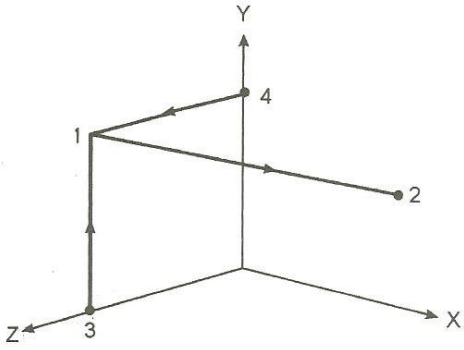
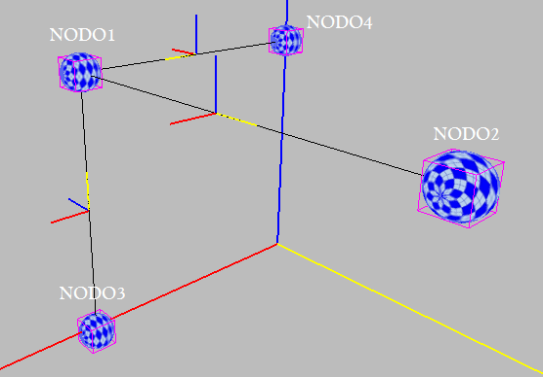
### 7.1 Ejemplo 11.30 – Jairo Uribe Escamilla

Resuelva matricialmente el pórtico de la figura.

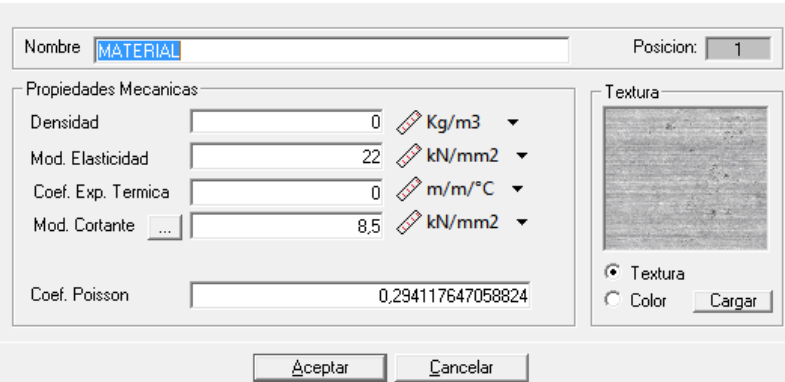


Solución:

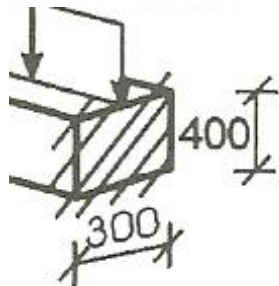
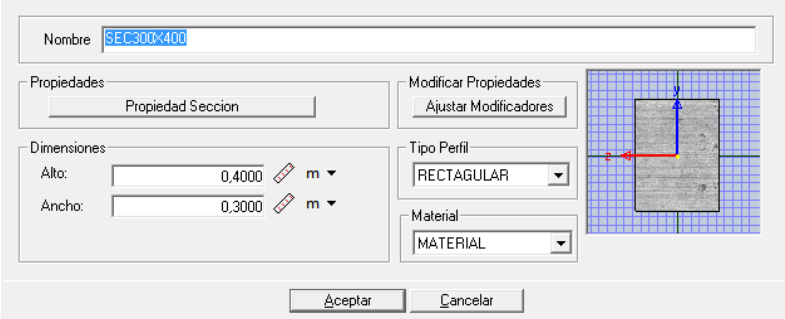
**7.1.1 Definición de nodos**

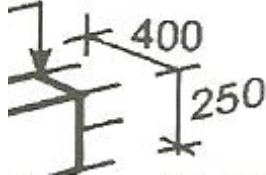
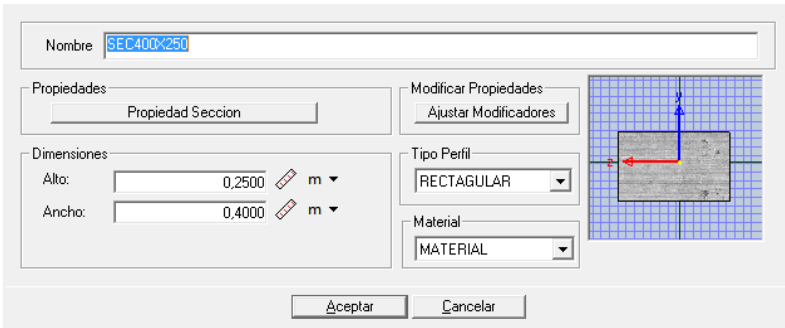
LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
	
<p><b>Sistema de coordenadas:</b></p> <p>X, Y, Z</p>	<p><b>Sistema de coordenadas:</b></p> <p>Amarillo, Azul, Rojo</p>
<p><b>Coordenadas Nodos</b></p> <p>NODO1: &lt;0, 3, 3&gt;</p> <p>NODO2: &lt;5, 3, 3&gt;</p> <p>NODO3: &lt;0, 0, 3&gt;</p> <p>NODO4: &lt;0, 3, 0&gt;</p>	<p><b>Coordenadas Nodos</b></p> <p>NODO1: &lt;0, 3, 3&gt;</p> <p>NODO2: &lt;5, 3, 3&gt;</p> <p>NODO3: &lt;0, 0, 3&gt;</p> <p>NODO4: &lt;0, 3, 0&gt;</p>

### 7.1.2 Definición de Materiales

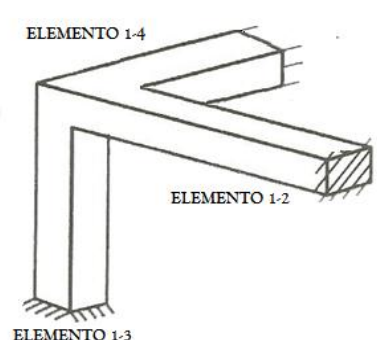
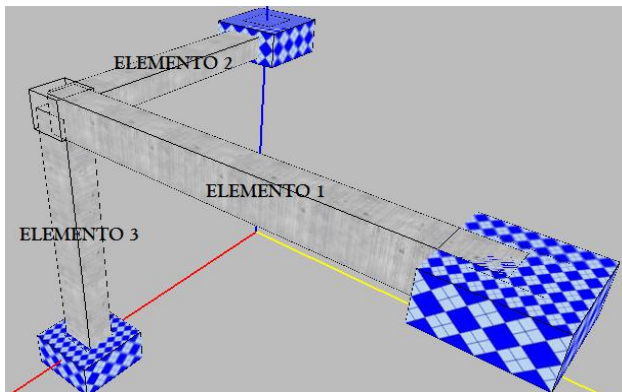
LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
<p><math>E = 22 \text{ kN/mm}^2</math></p> <p><math>G = 8.5 \text{ N/mm}^2</math></p>	

### 7.1.3 Definición de secciones

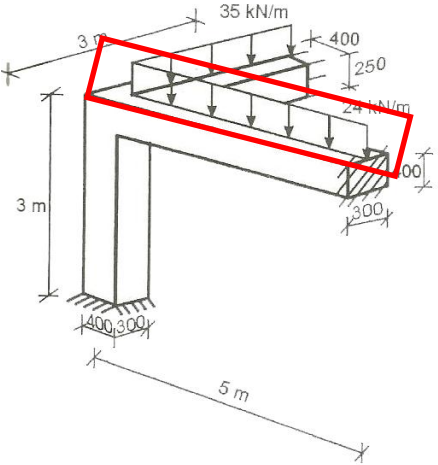
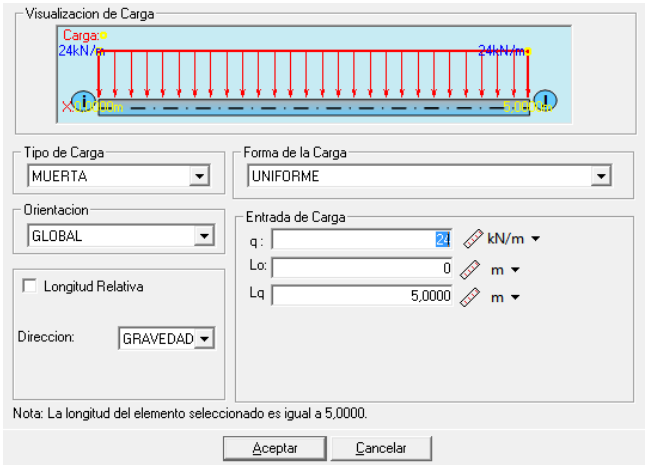
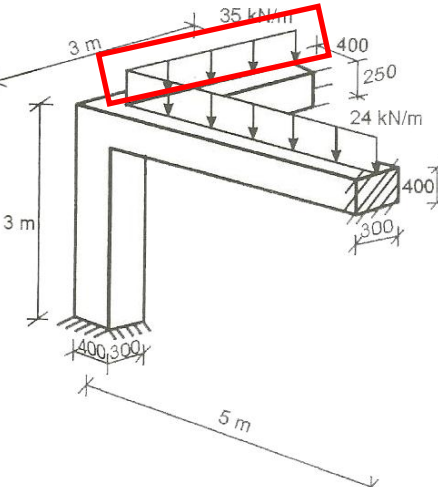
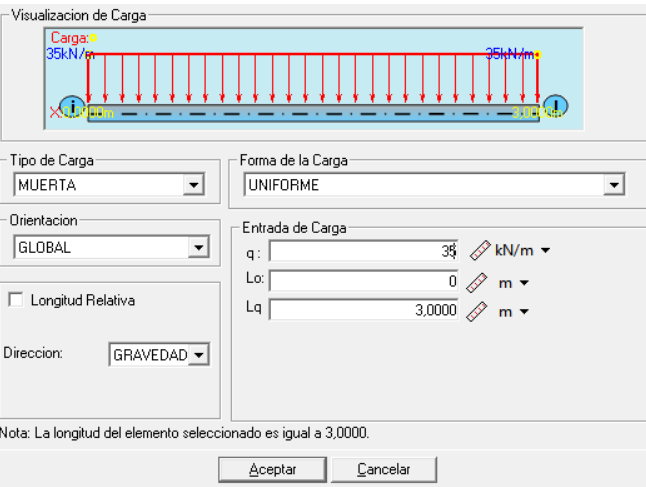
LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
<p>SECCIÓN 300X400</p> 	<p>SEC300 X400</p> 

<p><b>SECCIÓN 400X250</b></p> 	<p><b>SEC400X250</b></p> 
---	---

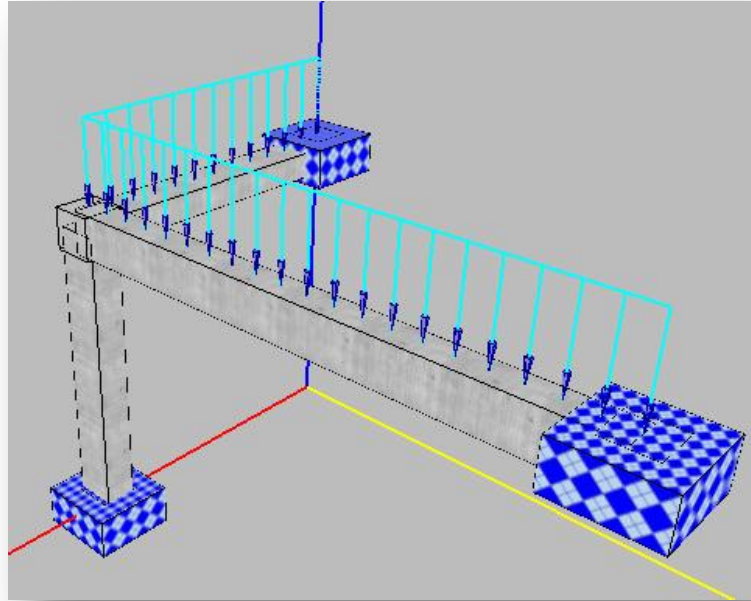
**1.1.1.1 Armar Estructura**

LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
	
<p><b>Sección de los miembros:</b></p> <p>ELEMENTO 2-1 ----- 300 X400</p> <p>ELEMENTO 4-1 ----- 400 X250</p> <p>ELEMENTO 3-1 ----- 300 X400</p>	<p><b>Sección de los miembros:</b></p> <p>ELEMENTO1 ----- SEC300 X400</p> <p>ELEMENTO2 ----- SEC400 X250</p> <p>ELEMENTO3 ----- SEC300 X400</p>

### 7.1.4 Definición de Cargas

LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
	<p><b>CARGA DISTRIBUIDA EN ELEMENTO 1</b></p>  <p><b>CARGA: 24kN/m</b></p>
	<p><b>CARGA DISTRIBUIDA EN ELEMENTO 2</b></p>  <p><b>CARGA: 35kN/m</b></p>

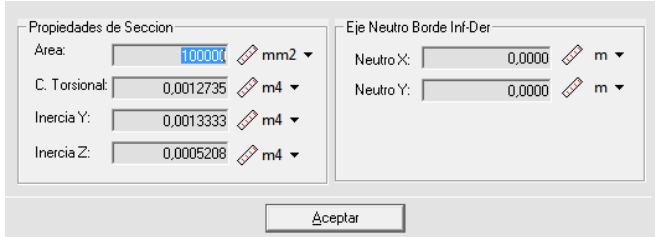
### 7.1.5 Modelo Estructural Propuesto



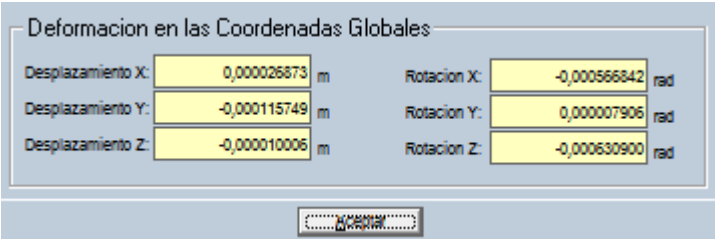
### 7.1.6 Comparar Cálculos de Secciones

LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
<p><u>SECCIÓN 300 X 400</u></p> <p><math>A = 300 \times 400 = 120000 \text{ mm}^2</math></p> <p><math>I_z = 300 \times (400)^3 / 12 = 1.600 \times 10^9 \text{ mm}^4 = 1.600 \times 10^{-3} \text{ m}^4</math></p> <p><math>I_y = 400 \times (300)^3 / 12 = 9.000 \times 10^8 \text{ mm}^4 = 9.000 \times 10^{-4} \text{ m}^4</math></p> <p><math>J = Cbt^3</math></p> <p><math>C = \frac{1}{3} - 0.21 \times \frac{300}{400} \left[ 1 - \frac{1}{12} \left( \frac{300}{400} \right)^4 \right] = 0.1800</math></p> <p><math>J = 0.1800 \times 400 \times (300)^3 = 1.944 \times 10^9 \text{ mm}^4 = 1.944 \times 10^{-3} \text{ m}^4</math></p>	<p><u>SEC300X400</u></p> <div data-bbox="824 1486 1469 1724" style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>Propiedades de Seccion:</p> <p>Area: <input type="text" value="120000"/> mm2</p> <p>C. Torsional: <input type="text" value="0,0019439"/> m4</p> <p>Inercia Y: <input type="text" value="0,0009000"/> m4</p> <p>Inercia Z: <input type="text" value="0,0016000"/> m4</p> <p>Eje Neutro Borde Inf-Der:</p> <p>Neutro X: <input type="text" value="0,0000"/> m</p> <p>Neutro Y: <input type="text" value="0,0000"/> m</p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="Aceptar"/></p> </div>

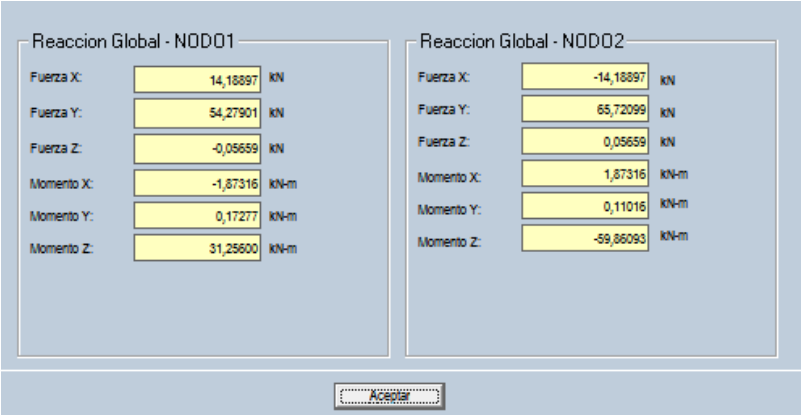
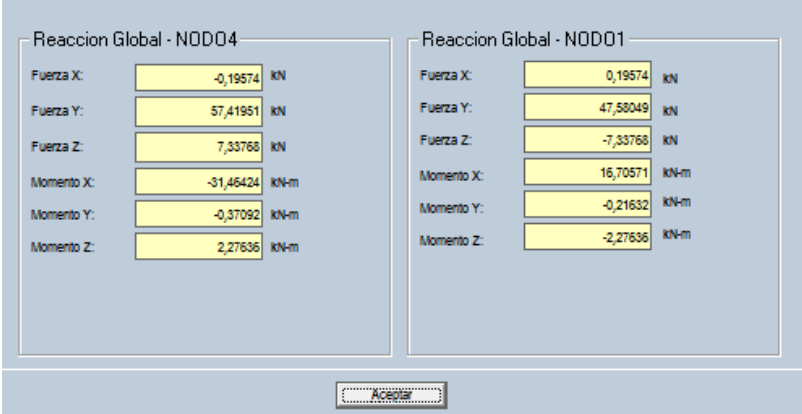


<p><b>SECCIÓN 400 X 250</b></p> <p> <math>A = 400 \times 250 = 100000 \text{ mm}^2</math>  <math>I_x = 400 \times (250)^3 / 12 = 5.208 \times 10^8 \text{ mm}^4 = 5.208 \times 10^{-4} \text{ m}^4</math>  <math>I_y = 250 \times (400)^3 / 12 = 1.333 \times 10^9 \text{ mm}^4 = 1.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4</math>  <math>C = \frac{1}{3} - 0.21 \times \frac{250}{400} \left[ 1 - \frac{1}{12} \left( \frac{250}{400} \right)^4 \right] = 0.20375</math>  <math>J = 0.20375 \times 400 \times (250)^3 = 1.2734 \times 10^9 \text{ mm}^4 = 1.2734 \times 10^{-2} \text{ m}^4</math> </p>	<p><b>SEC400X250</b></p> 
---	---

### 7.1.7 Comparar Deformaciones en Nodos

<p><b>LIBRO ESCAMILLA</b></p> <p><b>NODO1</b></p> <p> <math>u_1 = 2.688 \times 10^{-5} \text{ m} \rightarrow</math>  <math>v_1 = -1.157 \times 10^{-4} \text{ m} \downarrow</math>  <math>w_1 = -1.001 \times 10^{-5} \text{ m} \nearrow</math>  <math>\theta_{x1} = -5.669 \times 10^{-4} \text{ rad} \leftarrow</math>  <math>\theta_{y1} = 7.905 \times 10^{-5} \text{ rad} \uparrow</math>  <math>\theta_{z1} = -6.309 \times 10^{-4} \text{ rad} \nearrow</math> </p>	<p><b>BABEL 2.0</b></p> <p><b>NODO1</b></p> 
--	--

### 7.1.8 Comparar Reacciones en Miembros

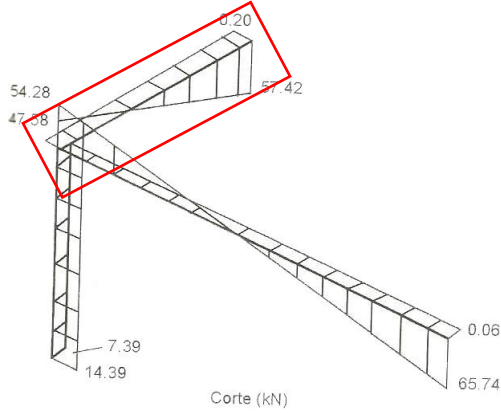
LIBRO ESCAMILLA		BABEL 2.0
<p><b><u>NODO1</u></b></p> $X_{12} = 14.19 \text{ kN}$ $Y_{12} = 54.28 \text{ kN}$ $Z_{12} = -0.06 \text{ kN}$ $M_{x12} = -1.87 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y12} = 0.17 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z12} = 31.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$	<p><b><u>NODO2</u></b></p> $X_{21} = -14.19 \text{ kN}$ $Y_{21} = 65.72 \text{ kN}$ $Z_{21} = 0.06 \text{ kN}$ $M_{x21} = 1.87 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y21} = 0.11 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z21} = -59.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$	<p><b><u>ELEMENTO 1</u></b></p> 
<p><b><u>NODO 4</u></b></p> $X_{41} = -0.20 \text{ kN}$ $Y_{41} = 57.42 \text{ kN}$ $Z_{41} = 7.34 \text{ kN}$ $M_{x41} = -31.47 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y41} = -0.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z41} = 2.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$	<p><b><u>NODO1</u></b></p> $X_{14} = 0.20 \text{ kN}$ $Y_{14} = 47.58 \text{ kN}$ $Z_{14} = -7.34 \text{ kN}$ $M_{x14} = 16.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y14} = -0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z14} = -2.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$	<p><b><u>ELEMENTO 2</u></b></p> 

		<b>ELEMENTO 3</b>	
<b>NODO 3</b>	<b>NODO 1</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Reaccion Global - NODO3</p> <p>Fuerza X: 14,38471 kN</p> <p>Fuerza Y: 101,85950 kN</p> <p>Fuerza Z: -7,39427 kN</p> <p>Momento X: -7,35024 kN·m</p> <p>Momento Y: -0,04354 kN·m</p> <p>Momento Z: -14,17451 kN·m</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Reaccion Global - NODO1</p> <p>Fuerza X: -14,38471 kN</p> <p>Fuerza Y: -101,85950 kN</p> <p>Fuerza Z: 7,39427 kN</p> <p>Momento X: -14,83256 kN·m</p> <p>Momento Y: 0,04354 kN·m</p> <p>Momento Z: -28,97954 kN·m</p> </div> </div>	
$X_{31} = 14.39 \text{ kN}$ $Y_{31} = 101.86 \text{ kN}$ $Z_{31} = -7.39 \text{ kN}$ $M_{x31} = -7.35 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y31} = -0.04 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z31} = -14.18 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$X_{13} = -14.39 \text{ kN}$ $Y_{13} = -101.86 \text{ kN}$ $Z_{13} = 7.39 \text{ kN}$ $M_{x13} = -14.83 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y13} = 0.04 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z13} = -28.98 \text{ kN}\cdot\text{m}$		

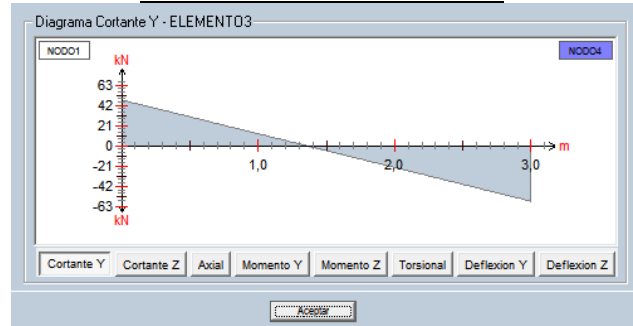
**7.1.9 Comparar Diagramas**

<b>LIBRO ESCAMILLA</b>	<b>BABEL 2.0</b>
<p><b>CORTANTE - ELEMENTO 4 - 1</b></p>	<p><b>CORTANTE Y – ELEMENTO1</b></p>
	<p><b>CORTANTE Z – ELEMENTO1</b></p>

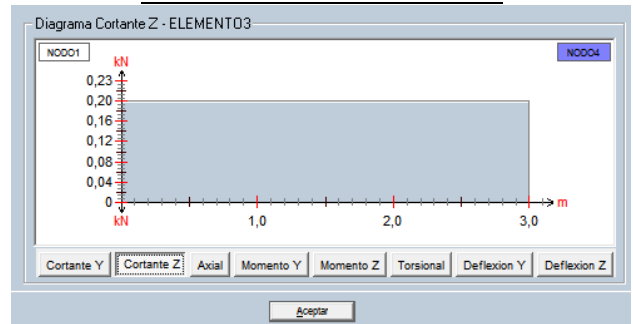
### CORTANTE - ELEMENTO 4 - 1



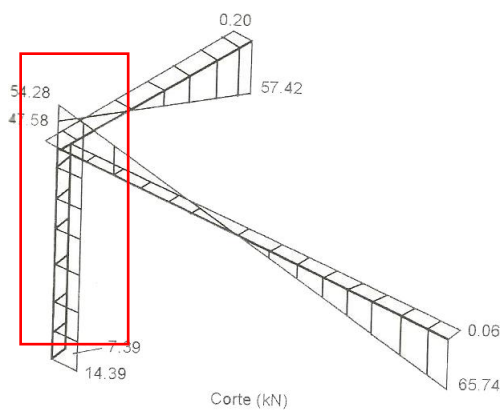
### CORTANTE Y - ELEMENTO2



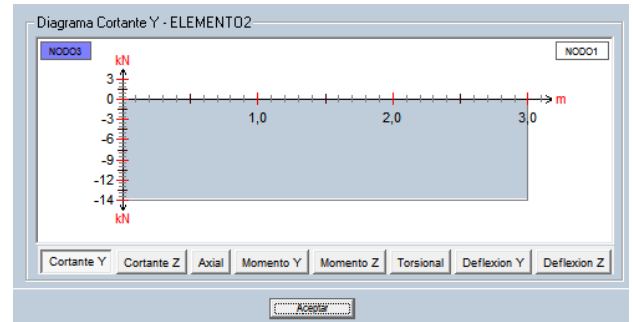
### CORTANTE Z - ELEMENTO2



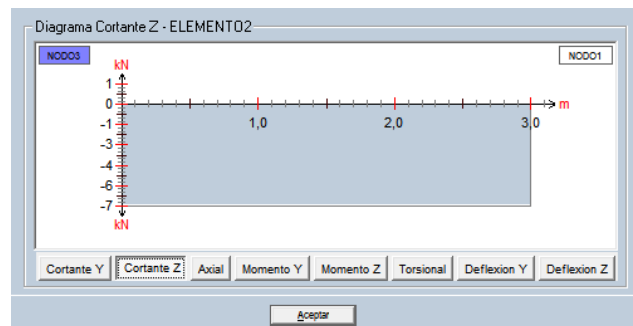
### CORTANTE - ELEMENTO 3 - 1



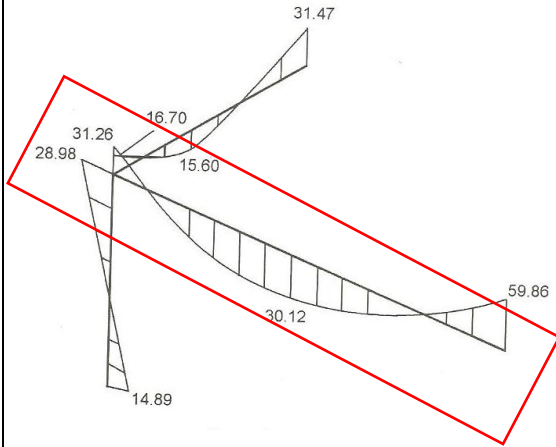
### CORTANTE Y - ELEMENTO3



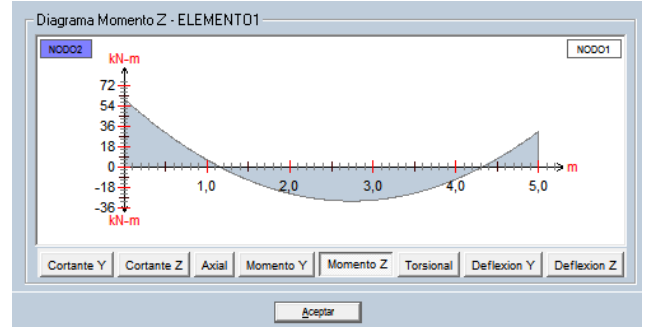
### CORTANTE Z - ELEMENTO3



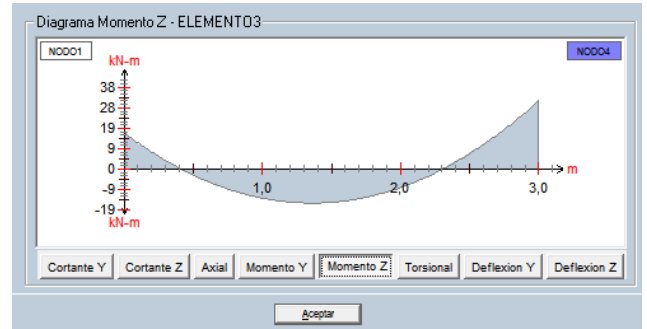
**MOMENTO - ELEMENTO 2 - 1**



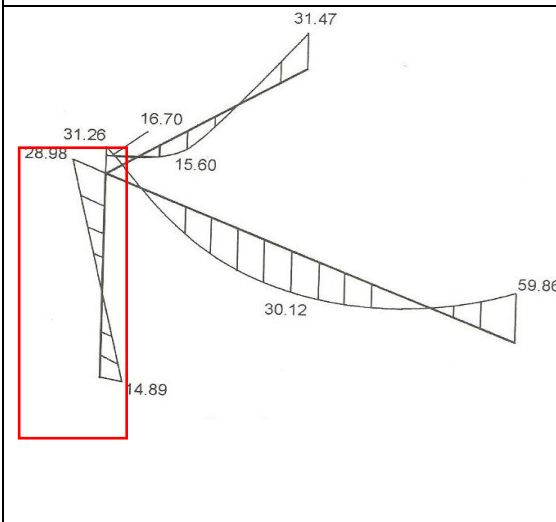
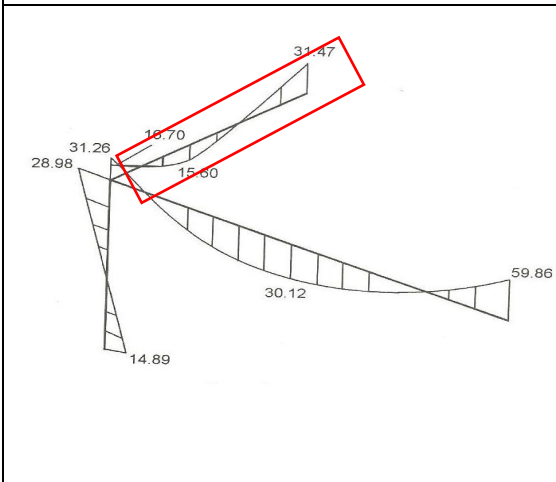
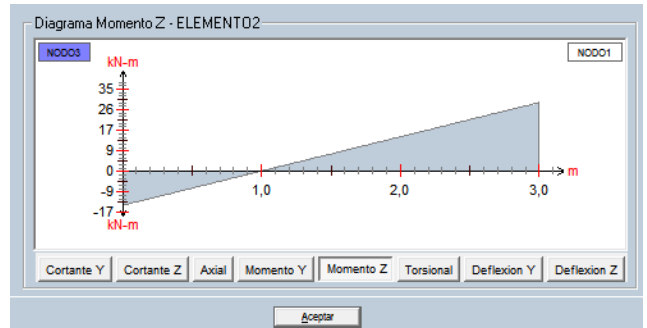
**MOMENTO Z - ELEMENTO1**

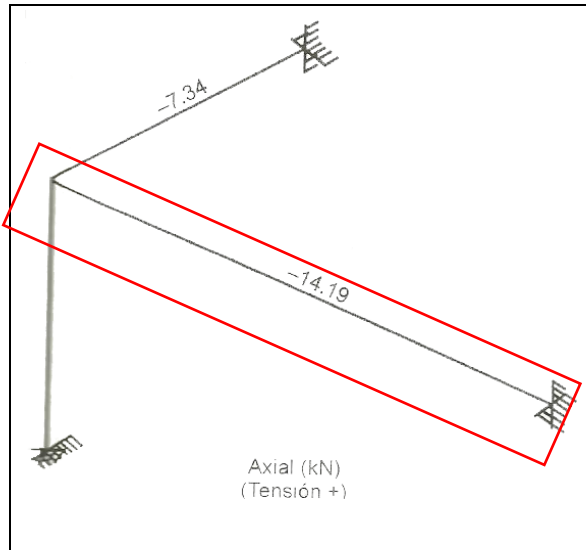


**MOMENTO Z - ELEMENTO2**

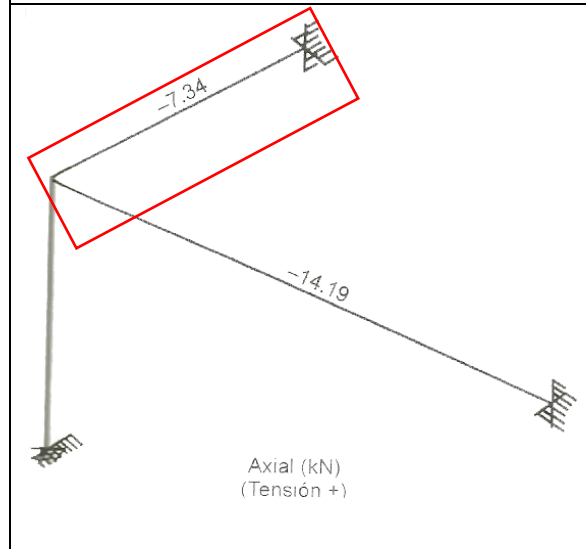
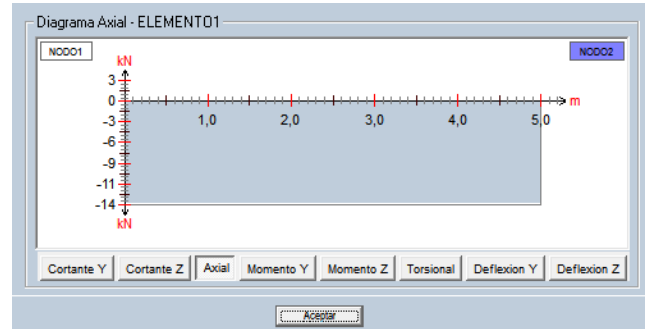


**MOMENTO Z - ELEMENTO3**

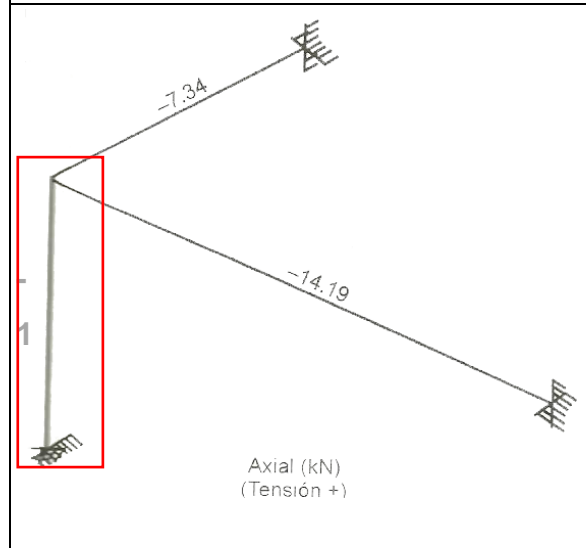
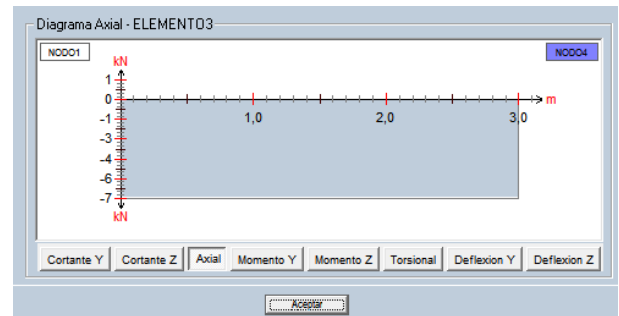




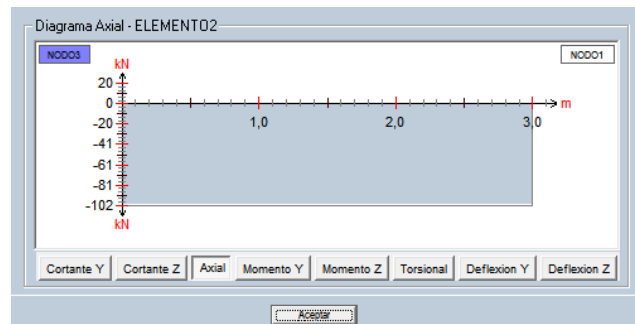
### FUERZA AXIAL - ELEMENTO1



### FUERZA AXIAL - ELEMENTO2

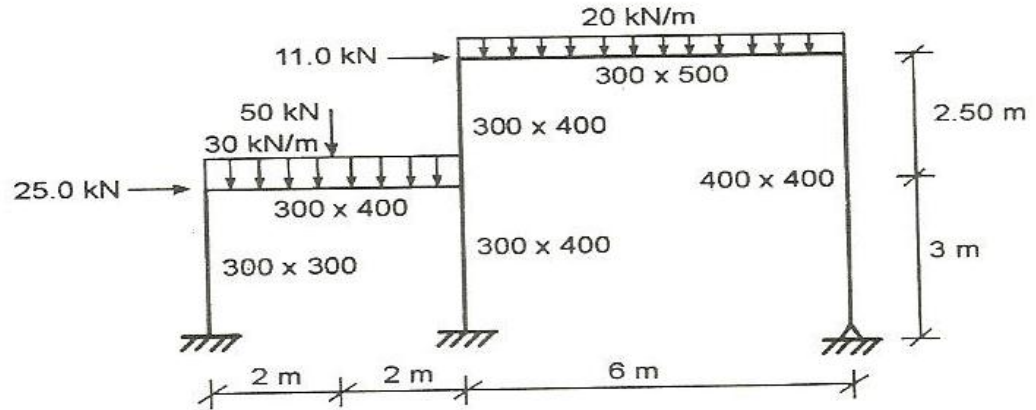


### FUERZA AXIAL - ELEMENTO3



## 7.2 Ejemplo 11.21 – Jairo Uribe Escamilla

Analice matricialmente la siguiente estructura.



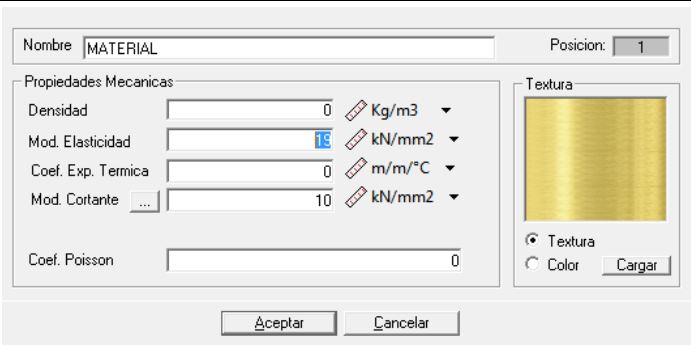
**Solución:**

### 7.2.1 Definición de nodos

LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
<p><b>Sistema de coordenadas:</b></p>	<p><b>Sistema de coordenadas:</b></p>

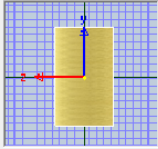
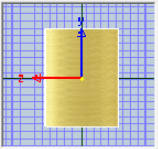
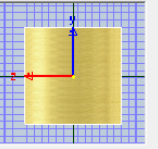
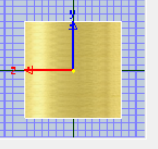
X, Y	Amarillo, Azul, Rojo
<b>Coordenadas Nodos</b>	<b>Coordenadas Nodos</b>
NODO1: <4, 5.5>	NODO1: <4, 5.5, 0>
NODO2: <10, 5.5>	NODO2: <10, 5.5, 0>
NODO3: <0, 3>	NODO3: <0, 3, 0>
NODO4: <4, 3>	NODO4: <4, 3, 0>
NODO5: <10, 0>	NODO5: <10, 0, 0>
NODO6: <4, 0>	NODO6: <4, 0, 0>
NODO7: <0, 0>	NODO7: <0, 0, 0>

### 7.2.2 Definición de Material

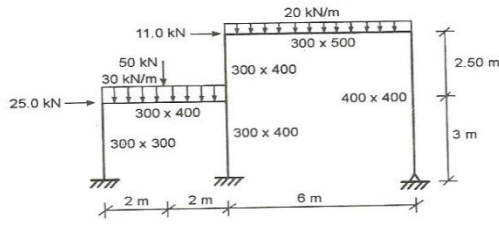
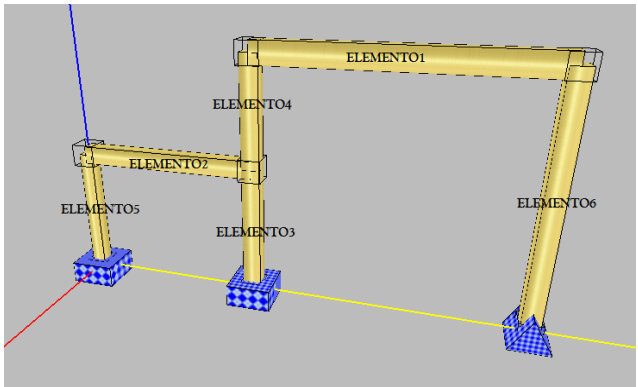
LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
(E = 19 kN/mm <sup>2</sup> ):	



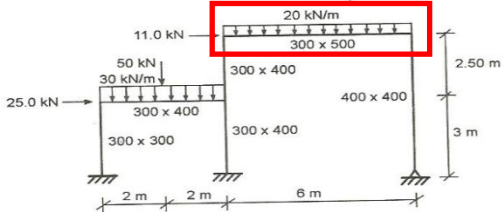
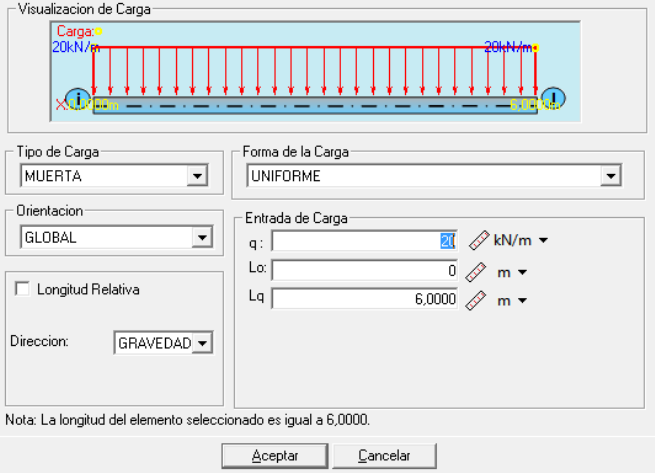
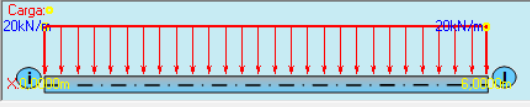
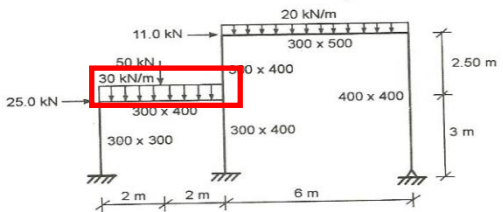
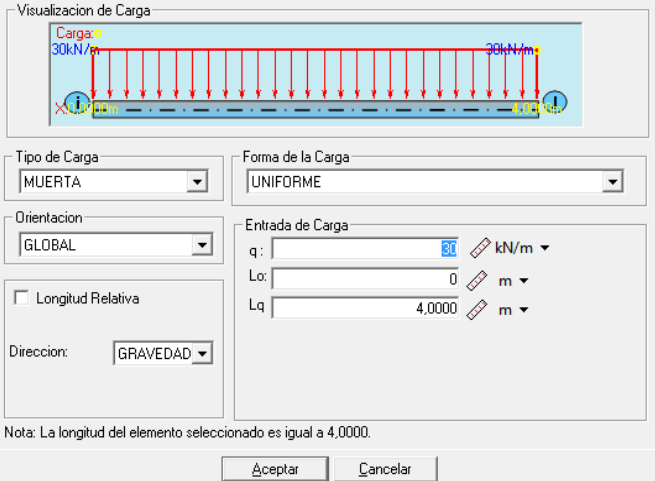
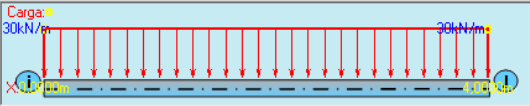
### 7.2.3 Definición de secciones

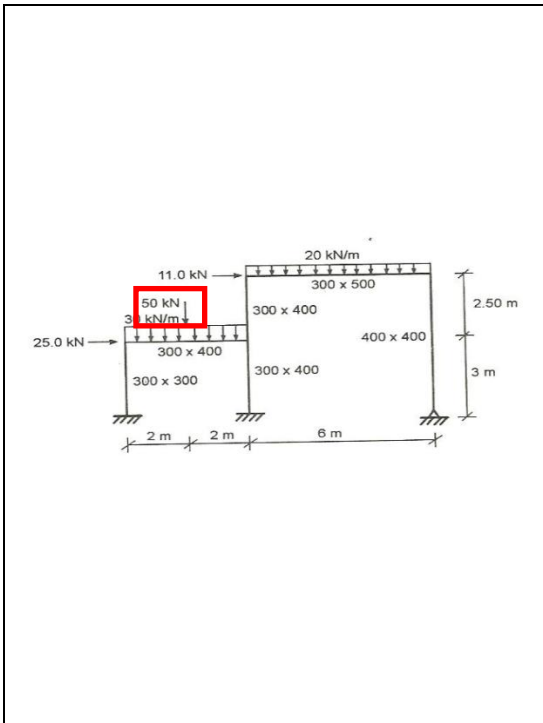
LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
<p style="text-align: center;">300 x 500</p>	<p style="text-align: center;"><b>SEC300X500</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>Nombre: <input type="text" value="SEC300X500"/></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Propiedades: <input type="text" value="Propiedad Seccion"/></p> <p>Dimensiones:</p> <p>Alto: <input type="text" value="0.5000"/> m</p> <p>Ancho: <input type="text" value="0.3000"/> m</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Modificar Propiedades: <input type="text" value="Ajustar Modificadores"/></p> <p>Tipo Perfil: <input type="text" value="RECTAGULAR"/></p> <p>Material: <input type="text" value="MATERIAL"/></p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">  </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Cancelar"/> </div> </div>
<p style="text-align: center;">300 x 400</p>	<p style="text-align: center;"><b>SEC300X400</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>Nombre: <input type="text" value="SEC300X400"/></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Propiedades: <input type="text" value="Propiedad Seccion"/></p> <p>Dimensiones:</p> <p>Alto: <input type="text" value="0.4000"/> m</p> <p>Ancho: <input type="text" value="0.3000"/> m</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Modificar Propiedades: <input type="text" value="Ajustar Modificadores"/></p> <p>Tipo Perfil: <input type="text" value="RECTAGULAR"/></p> <p>Material: <input type="text" value="MATERIAL"/></p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">  </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Cancelar"/> </div> </div>
<p style="text-align: center;">300 x 300</p>	<p style="text-align: center;"><b>SEC300X400</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>Nombre: <input type="text" value="SEC300X300"/></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Propiedades: <input type="text" value="Propiedad Seccion"/></p> <p>Dimensiones:</p> <p>Alto: <input type="text" value="0.3000"/> m</p> <p>Ancho: <input type="text" value="0.3000"/> m</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Modificar Propiedades: <input type="text" value="Ajustar Modificadores"/></p> <p>Tipo Perfil: <input type="text" value="RECTAGULAR"/></p> <p>Material: <input type="text" value="MATERIAL"/></p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">  </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Cancelar"/> </div> </div>
<p style="text-align: center;">400 x 400</p>	<p style="text-align: center;"><b>SEC400X400</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>Nombre: <input type="text" value="SEC400X400"/></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Propiedades: <input type="text" value="Propiedad Seccion"/></p> <p>Dimensiones:</p> <p>Alto: <input type="text" value="0.4000"/> m</p> <p>Ancho: <input type="text" value="0.4000"/> m</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Modificar Propiedades: <input type="text" value="Ajustar Modificadores"/></p> <p>Tipo Perfil: <input type="text" value="RECTAGULAR"/></p> <p>Material: <input type="text" value="MATERIAL"/></p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">  </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Cancelar"/> </div> </div>

## 7.2.4 Armar Estructura

LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
	
<p><b>Secciones en miembros:</b></p> <p>ELEMENTO 1-2 ----- 300 X 500</p> <p>ELEMENTO 3-4 ----- 300 X 400</p> <p>ELEMENTO 6-4 ----- 300 X 400</p> <p>ELEMENTO 4-1 ----- 300 X 400</p> <p>ELEMENTO 7-3 ----- 300 X 300</p> <p>ELEMENTO 5-2 ----- 400 X 400</p>	<p><b>Secciones en miembros:</b></p> <p>ELEMENTO1 ----- SEC300X500</p> <p>ELEMENTO2 ----- SEC300X400</p> <p>ELEMENTO3 ----- SEC300X400</p> <p>ELEMENTO4 ----- SEC300X400</p> <p>ELEMENTO5 ----- SEC300X300</p> <p>ELEMENTO6 ----- SEC400X400</p>

## 7.2.5 Definición de cargas

LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
 <p>Diagrama de un elemento estructural con una carga distribuida de 20 kN/m aplicada sobre un elemento de 300 x 500 mm. El elemento está situado en la parte superior del marco, entre los pilares de 300 x 400 mm y 400 x 400 mm. Las dimensiones del marco son 2 m, 2 m y 6 m en horizontal, y 2.50 m y 3 m en vertical.</p>	<p><b>CARGA DISTRIBUIDA EN ELEMENTO 1</b></p>  <p>Visualización de Carga: </p> <p>Tipo de Carga: MUERTA          Forma de la Carga: UNIFORME          Orientación: GLOBAL          Entrada de Carga: q: 20 kN/m, L: 0 m, Lq: 6,0000 m          Dirección: GRAVEDAD</p> <p>Nota: La longitud del elemento seleccionado es igual a 6,0000.</p> <p>Aceptar Cancelar</p> <p><b>CARGA: 20kN/m</b></p>
 <p>Diagrama de un elemento estructural con una carga distribuida de 30 kN/m aplicada sobre un elemento de 300 x 400 mm. El elemento está situado en la columna izquierda del marco, entre los pilares de 300 x 300 mm y 300 x 400 mm. Las dimensiones del marco son 2 m, 2 m y 6 m en horizontal, y 2.50 m y 3 m en vertical.</p>	<p><b>CARGA DISTRIBUIDA EN ELEMENTO 2</b></p>  <p>Visualización de Carga: </p> <p>Tipo de Carga: MUERTA          Forma de la Carga: UNIFORME          Orientación: GLOBAL          Entrada de Carga: q: 30 kN/m, L: 0 m, Lq: 4,0000 m          Dirección: GRAVEDAD</p> <p>Nota: La longitud del elemento seleccionado es igual a 4,0000.</p> <p>Aceptar Cancelar</p> <p><b>CARGA: 30kN/m</b></p>



### CARGA CONCENTRADA EN ELEMENTO 2

Visualización de Carga

Tipo de Carga: MUERTA

Digite Numero de cargas: UNA CARGA

Orientacion: EJE GLOBAL

Entrada de Carga:
 

- Carga: 50 kN
- Pos Ini: 2,0000 m

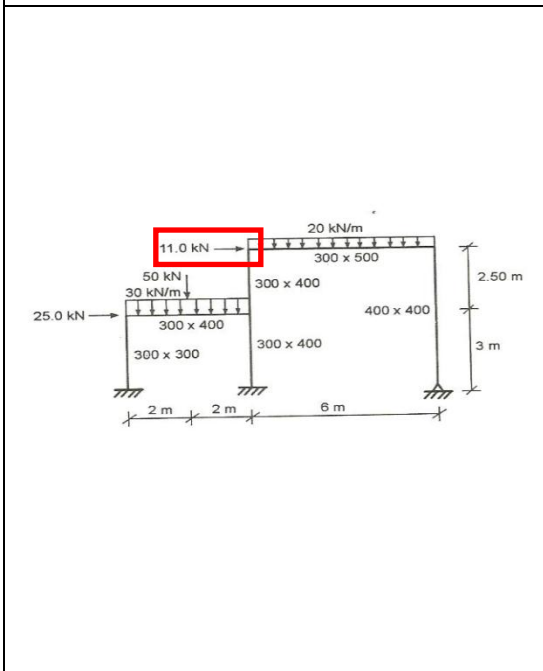
Longitud Relativa

Direccion: GRAVEDAD

Longitud de Elemento: 4,0000 m.

Aceptar Cancelar

**CARGA: 50kN**



### FUERZA EN NODO 1

Tipo de Carga: MUERTA

Componentes de la Fuerza

Eje X: 11.0 kN

Eje Y: 0 kN

Eje Z: 0 kN

Nota: La Carga de Fuerza es aplicada en los ejes globales.

Aceptar Cancelar

**CARGA: 11kN**

Diagram of a structural frame with dimensions and loads. The frame consists of a horizontal beam (300 x 500) and two vertical columns (300 x 400). The total width is 6 m, divided into two 2 m segments. The total height is 5.5 m, divided into a 2.50 m upper section and a 3 m lower section. Loads include a 25.0 kN point load at the top-left corner, a 50 kN point load on the left column, a 11.0 kN point load on the top beam, a 30 kN/m distributed load on the left column, and a 20 kN/m distributed load on the top beam. Column and beam cross-sections are labeled as 300 x 300, 300 x 400, and 400 x 400.

### FUERZA EN NODO 3

Tipo de Carga: MUERTA

Componentes de la Fuerza

Eje X:  kN ▼

Eje Y:  kN ▼

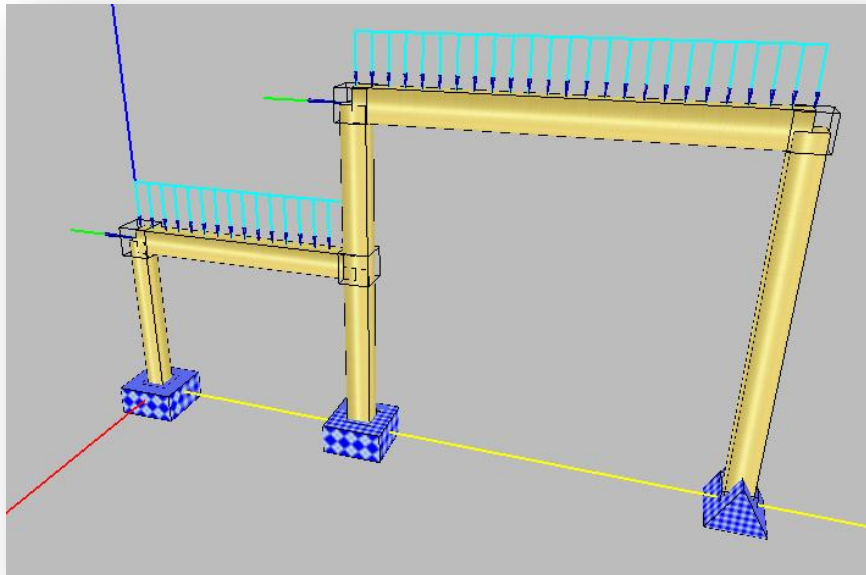
Eje Z:  kN ▼

Nota: La Carga de Fuerza es aplicada en los ejes globales.

Aceptar
Cancelar

**CARGA: 25kN**

### 7.2.6 Modelo Estructural Propuesto



### 7.2.7 Comparar deformaciones en nodos

LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0												
<p><u>NODO1</u></p> $u_1 = 3.600 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow$ $v_1 = -0.269 \times 10^{-3} \text{ m} \downarrow$ $\theta_1 = -1.613 \times 10^{-3} \text{ rad} \curvearrowright$	<p><u>NODO1</u></p> <p>Deformación en las Coordenadas Globales</p> <table border="1"> <tr> <td>Desplazamiento X:</td> <td>0,003600 m</td> <td>Rotacion X:</td> <td>0,000000 rad</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento Y:</td> <td>-0,000269 m</td> <td>Rotacion Y:</td> <td>0,000000 rad</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento Z:</td> <td>0,000000 m</td> <td>Rotacion Z:</td> <td>-0,001613 rad</td> </tr> </table> <p><input type="button" value="OK"/></p>	Desplazamiento X:	0,003600 m	Rotacion X:	0,000000 rad	Desplazamiento Y:	-0,000269 m	Rotacion Y:	0,000000 rad	Desplazamiento Z:	0,000000 m	Rotacion Z:	-0,001613 rad
Desplazamiento X:	0,003600 m	Rotacion X:	0,000000 rad										
Desplazamiento Y:	-0,000269 m	Rotacion Y:	0,000000 rad										
Desplazamiento Z:	0,000000 m	Rotacion Z:	-0,001613 rad										
<p><u>NODO2</u></p> $u_2 = 3.584 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow$ $v_2 = -0.115 \times 10^{-3} \text{ m} \downarrow$ $\theta_2 = 1.281 \times 10^{-3} \text{ rad} \curvearrowright$	<p><u>NODO2</u></p> <p>Deformación en las Coordenadas Globales</p> <table border="1"> <tr> <td>Desplazamiento X:</td> <td>0,003584 m</td> <td>Rotacion X:</td> <td>0,000000 rad</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento Y:</td> <td>-0,000115 m</td> <td>Rotacion Y:</td> <td>0,000000 rad</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento Z:</td> <td>0,000000 m</td> <td>Rotacion Z:</td> <td>0,001281 rad</td> </tr> </table> <p><input type="button" value="OK"/></p>	Desplazamiento X:	0,003584 m	Rotacion X:	0,000000 rad	Desplazamiento Y:	-0,000115 m	Rotacion Y:	0,000000 rad	Desplazamiento Z:	0,000000 m	Rotacion Z:	0,001281 rad
Desplazamiento X:	0,003584 m	Rotacion X:	0,000000 rad										
Desplazamiento Y:	-0,000115 m	Rotacion Y:	0,000000 rad										
Desplazamiento Z:	0,000000 m	Rotacion Z:	0,001281 rad										
<p><u>NODO3</u></p> $u_3 = 1.950 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow$ $v_3 = -0.120 \times 10^{-3} \text{ m} \downarrow$ $\theta_3 = -1.856 \times 10^{-3} \text{ rad} \curvearrowright$	<p><u>NODO3</u></p> <p>Deformación en las Coordenadas Globales</p> <table border="1"> <tr> <td>Desplazamiento X:</td> <td>0,001950 m</td> <td>Rotacion X:</td> <td>0,000000 rad</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento Y:</td> <td>-0,000120 m</td> <td>Rotacion Y:</td> <td>0,000000 rad</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento Z:</td> <td>0,000000 m</td> <td>Rotacion Z:</td> <td>-0,001856 rad</td> </tr> </table> <p><input type="button" value="OK"/></p>	Desplazamiento X:	0,001950 m	Rotacion X:	0,000000 rad	Desplazamiento Y:	-0,000120 m	Rotacion Y:	0,000000 rad	Desplazamiento Z:	0,000000 m	Rotacion Z:	-0,001856 rad
Desplazamiento X:	0,001950 m	Rotacion X:	0,000000 rad										
Desplazamiento Y:	-0,000120 m	Rotacion Y:	0,000000 rad										
Desplazamiento Z:	0,000000 m	Rotacion Z:	-0,001856 rad										
<p><u>NODO4</u></p> $u_4 = 1.898 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow$ $v_4 = -0.208 \times 10^{-3} \text{ m} \downarrow$ $\theta_4 = 0.362 \times 10^{-3} \text{ rad} \curvearrowright$	<p><u>NODO4</u></p> <p>Deformación en las Coordenadas Globales</p> <table border="1"> <tr> <td>Desplazamiento X:</td> <td>0,001898 m</td> <td>Rotacion X:</td> <td>0,000000 rad</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento Y:</td> <td>-0,000208 m</td> <td>Rotacion Y:</td> <td>0,000000 rad</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento Z:</td> <td>0,000000 m</td> <td>Rotacion Z:</td> <td>0,000362 rad</td> </tr> </table> <p><input type="button" value="OK"/></p>	Desplazamiento X:	0,001898 m	Rotacion X:	0,000000 rad	Desplazamiento Y:	-0,000208 m	Rotacion Y:	0,000000 rad	Desplazamiento Z:	0,000000 m	Rotacion Z:	0,000362 rad
Desplazamiento X:	0,001898 m	Rotacion X:	0,000000 rad										
Desplazamiento Y:	-0,000208 m	Rotacion Y:	0,000000 rad										
Desplazamiento Z:	0,000000 m	Rotacion Z:	0,000362 rad										

<p><u>NODO5</u></p> <p><math>\theta_5 = -1.618 \times 10^{-3} \text{ rad } \curvearrowright</math></p>	<p><u>NODO5</u></p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>Deformación en las Coordenadas Globales</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Desplazamiento X: <input type="text" value="0,000000"/> m</td> <td style="width: 50%;">Rotación X: <input type="text" value="0,000000"/> rad</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento Y: <input type="text" value="0,000000"/> m</td> <td>Rotación Y: <input type="text" value="0,000000"/> rad</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento Z: <input type="text" value="0,000000"/> m</td> <td>Rotación Z: <input type="text" value="-0,001618"/> rad</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Aceptar"/></p> </div>	Desplazamiento X: <input type="text" value="0,000000"/> m	Rotación X: <input type="text" value="0,000000"/> rad	Desplazamiento Y: <input type="text" value="0,000000"/> m	Rotación Y: <input type="text" value="0,000000"/> rad	Desplazamiento Z: <input type="text" value="0,000000"/> m	Rotación Z: <input type="text" value="-0,001618"/> rad
Desplazamiento X: <input type="text" value="0,000000"/> m	Rotación X: <input type="text" value="0,000000"/> rad						
Desplazamiento Y: <input type="text" value="0,000000"/> m	Rotación Y: <input type="text" value="0,000000"/> rad						
Desplazamiento Z: <input type="text" value="0,000000"/> m	Rotación Z: <input type="text" value="-0,001618"/> rad						

### 7.2.8 Comparar Reacciones de Miembros

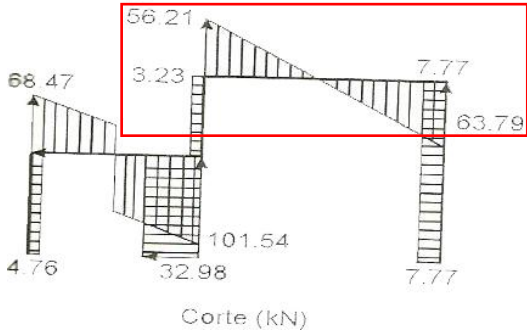
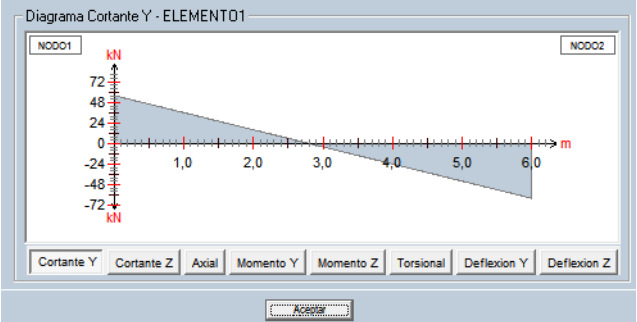
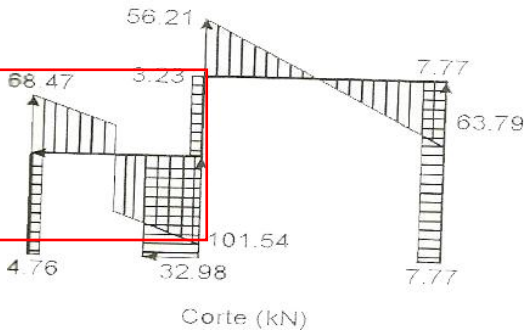
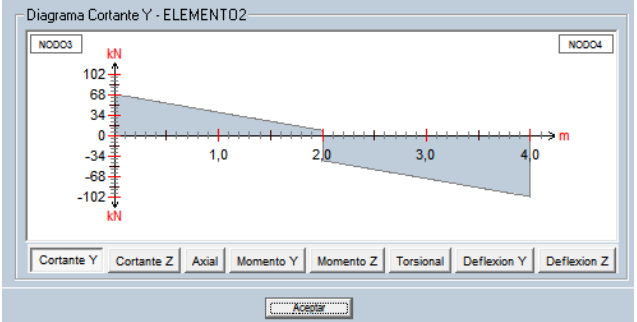
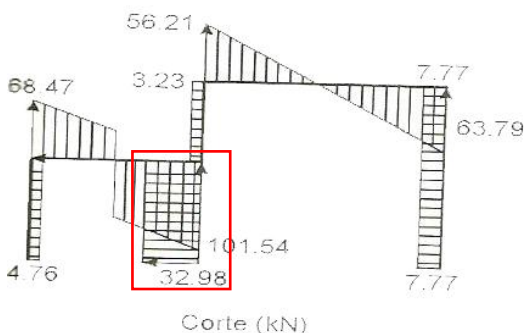
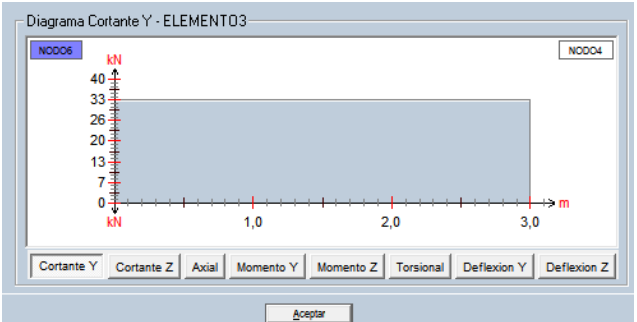
LIBRO ESCAMILLA		BABEL 2.0																	
<p><u>NODO1</u></p> <p><math>X_{12} = 7.74 \text{ kN}</math>  <math>Y_{12} = 56.12 \text{ kN}</math>  <math>M_{12} = 19.98 \text{ KN}\cdot\text{m}</math></p>	<p><u>NODO2</u></p> <p><math>X_{21} = -7.74 \text{ kN}</math>  <math>Y_{21} = 63.79 \text{ kN}</math>  <math>M_{21} = -42.73 \text{ KN}\cdot\text{m}</math></p>	<p><u>ELEMENTO 1</u></p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">Reaccion Global - NODO1</th> <th colspan="2" style="text-align: left;">Reaccion Global - NODO2</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Fuerza X: <input type="text" value="7,76961"/> kN</td> <td style="width: 50%;">Fuerza X: <input type="text" value="-7,76961"/> kN</td> </tr> <tr> <td>Fuerza Y: <input type="text" value="56,20829"/> kN</td> <td>Fuerza Y: <input type="text" value="63,79171"/> kN</td> </tr> <tr> <td>Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN</td> <td>Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN</td> </tr> <tr> <td>Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</td> <td>Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</td> </tr> <tr> <td>Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</td> <td>Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</td> </tr> <tr> <td>Momento Z: <input type="text" value="19,98256"/> kN-m</td> <td>Momento Z: <input type="text" value="-42,73283"/> kN-m</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Aceptar"/></p> </div>		Reaccion Global - NODO1		Reaccion Global - NODO2		Fuerza X: <input type="text" value="7,76961"/> kN	Fuerza X: <input type="text" value="-7,76961"/> kN	Fuerza Y: <input type="text" value="56,20829"/> kN	Fuerza Y: <input type="text" value="63,79171"/> kN	Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN	Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN	Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m	Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m	Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m	Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m	Momento Z: <input type="text" value="19,98256"/> kN-m	Momento Z: <input type="text" value="-42,73283"/> kN-m
Reaccion Global - NODO1		Reaccion Global - NODO2																	
Fuerza X: <input type="text" value="7,76961"/> kN	Fuerza X: <input type="text" value="-7,76961"/> kN																		
Fuerza Y: <input type="text" value="56,20829"/> kN	Fuerza Y: <input type="text" value="63,79171"/> kN																		
Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN	Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN																		
Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m	Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m																		
Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m	Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m																		
Momento Z: <input type="text" value="19,98256"/> kN-m	Momento Z: <input type="text" value="-42,73283"/> kN-m																		

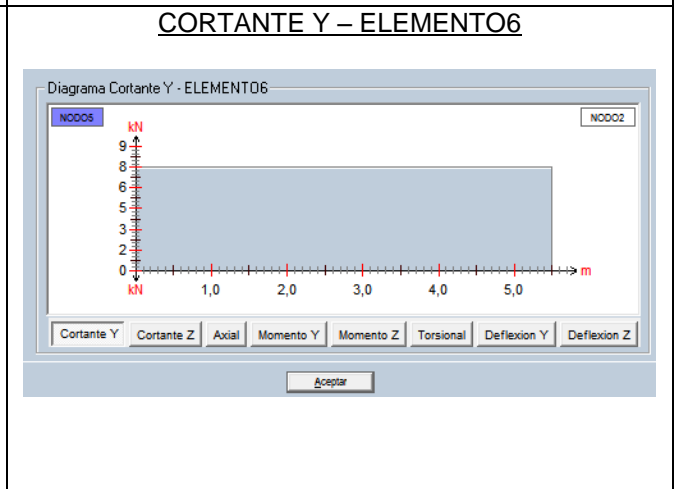
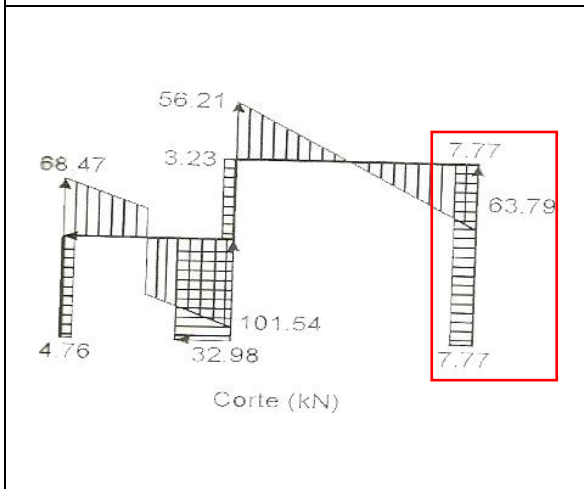
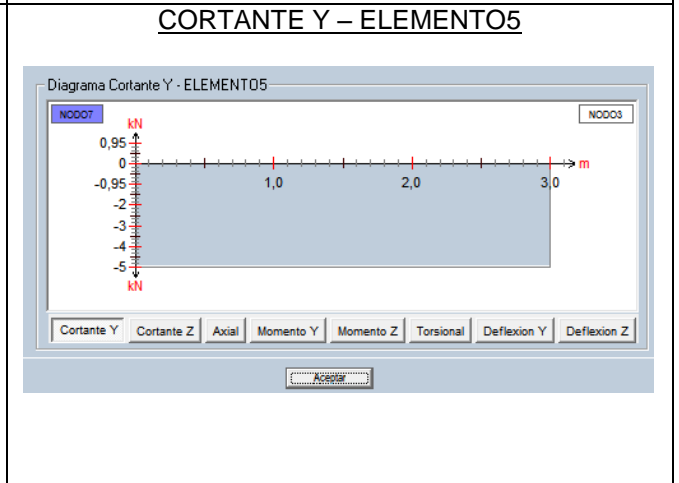
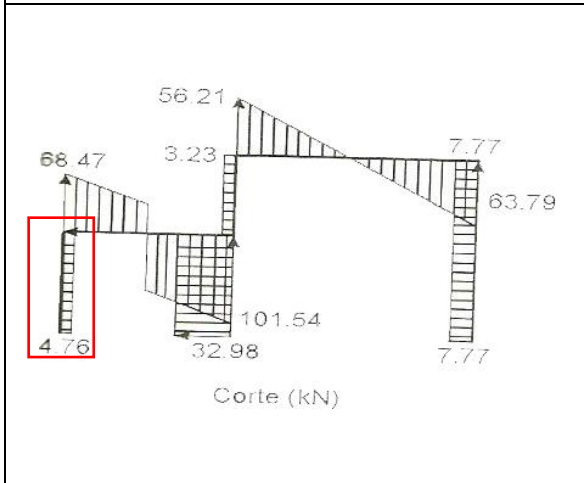
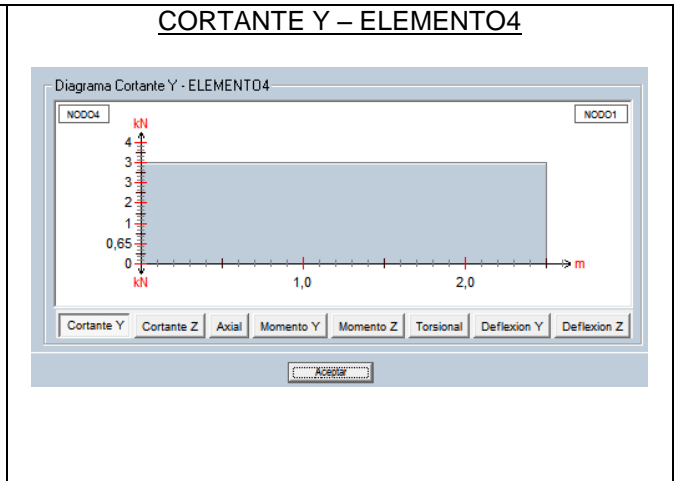
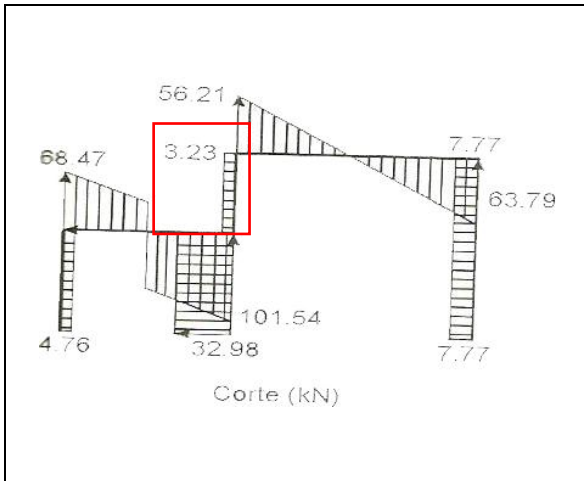
<p><b><u>NODO3</u></b></p> $X_{34} = 29.75 \text{ kN}$ $Y_{34} = 68.47 \text{ kN}$ $M_{34} = 15.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$	<p><b><u>NODO4</u></b></p> $X_{43} = -29.75 \text{ kN}$ $Y_{43} = 101.54 \text{ kN}$ $M_{43} = -81.21 \text{ kN}\cdot\text{m}$	<p><b><u>ELEMENTO 2</u></b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Reaccion Global - NODO3</p> <p>Fuerza X: <input type="text" value="29,75552"/> kN</p> <p>Fuerza Y: <input type="text" value="68,46530"/> kN</p> <p>Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN</p> <p>Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Z: <input type="text" value="15,06925"/> kN-m</p> </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Reaccion Global - NODO4</p> <p>Fuerza X: <input type="text" value="-29,75552"/> kN</p> <p>Fuerza Y: <input type="text" value="101,53469"/> kN</p> <p>Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN</p> <p>Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Z: <input type="text" value="-81,20904"/> kN-m</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Aceptar"/></p>
<p><b><u>NODO 6</u></b></p> $X_{64} = -32.96 \text{ kN}$ $Y_{64} = 157.75 \text{ kN}$ $M_{64} = 45.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$	<p><b><u>NODO 4</u></b></p> $X_{46} = 32.98 \text{ kN}$ $Y_{46} = -157.75 \text{ kN}$ $M_{46} = 53.15 \text{ kN}\cdot\text{m}$	<p><b><u>ELEMENTO 3</u></b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Reaccion Global - NODO6</p> <p>Fuerza X: <input type="text" value="-32,96592"/> kN</p> <p>Fuerza Y: <input type="text" value="157,74299"/> kN</p> <p>Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN</p> <p>Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Z: <input type="text" value="45,80825"/> kN-m</p> </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Reaccion Global - NODO4</p> <p>Fuerza X: <input type="text" value="32,96592"/> kN</p> <p>Fuerza Y: <input type="text" value="-157,74299"/> kN</p> <p>Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN</p> <p>Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Z: <input type="text" value="53,14950"/> kN-m</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Aceptar"/></p>
<p><b><u>NODO 4</u></b></p> $X_{41} = -3.23 \text{ kN}$ $Y_{41} = 56.21 \text{ kN}$ $M_{41} = 28.06 \text{ kN}\cdot\text{m}$	<p><b><u>NODO 1</u></b></p> $X_{14} = 3.23 \text{ kN}$ $Y_{14} = -56.21 \text{ kN}$ $M_{14} = -19.98 \text{ kN}\cdot\text{m}$	<p><b><u>ELEMENTO 4</u></b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Reaccion Global - NODO4</p> <p>Fuerza X: <input type="text" value="-3,23039"/> kN</p> <p>Fuerza Y: <input type="text" value="56,20829"/> kN</p> <p>Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN</p> <p>Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Z: <input type="text" value="28,05655"/> kN-m</p> </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Reaccion Global - NODO1</p> <p>Fuerza X: <input type="text" value="3,23039"/> kN</p> <p>Fuerza Y: <input type="text" value="-56,20829"/> kN</p> <p>Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN</p> <p>Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> <p>Momento Z: <input type="text" value="-19,98256"/> kN-m</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Aceptar"/></p>

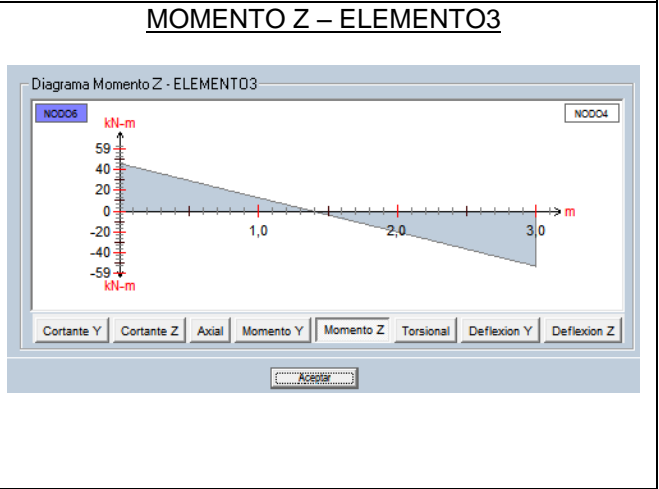
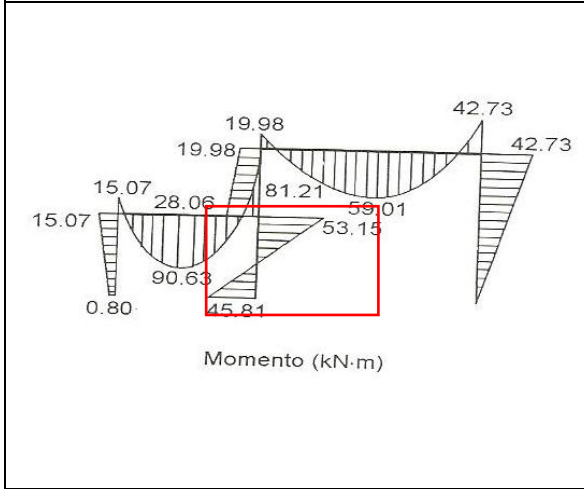
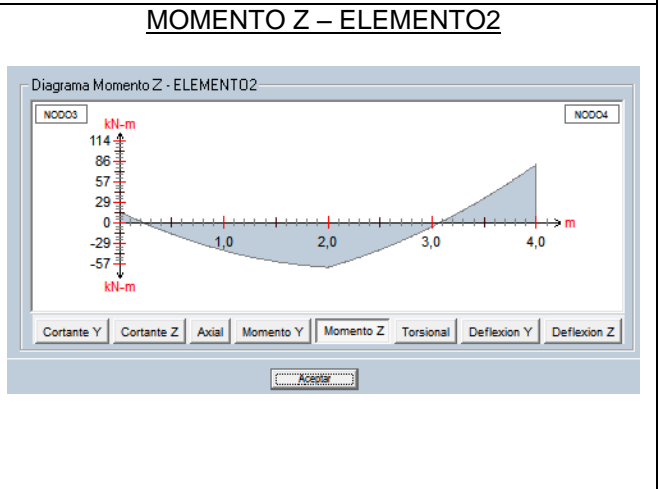
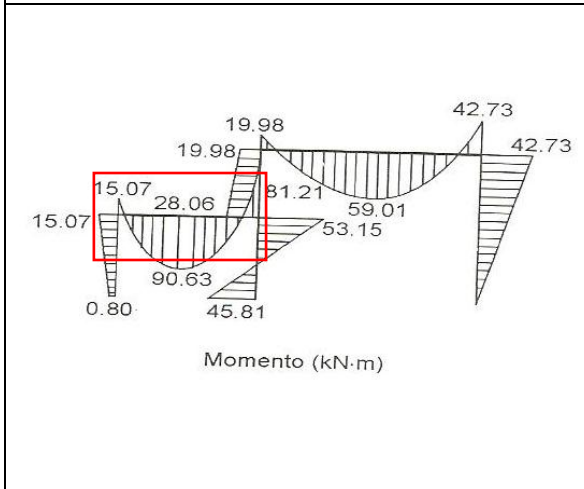
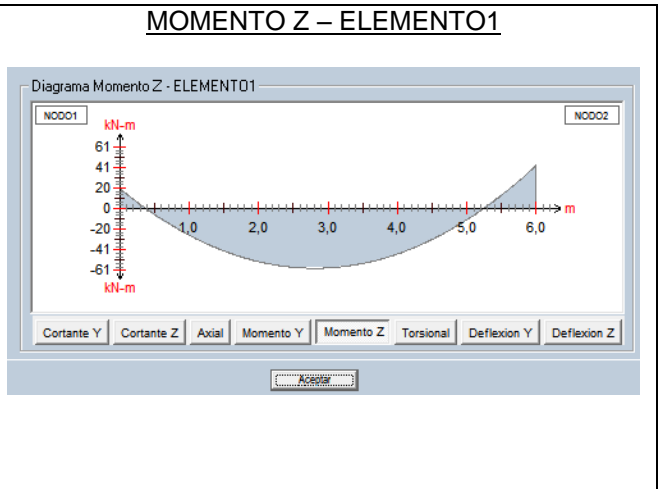
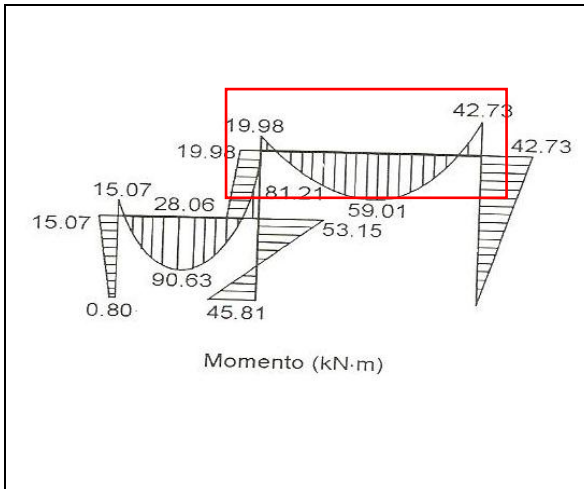


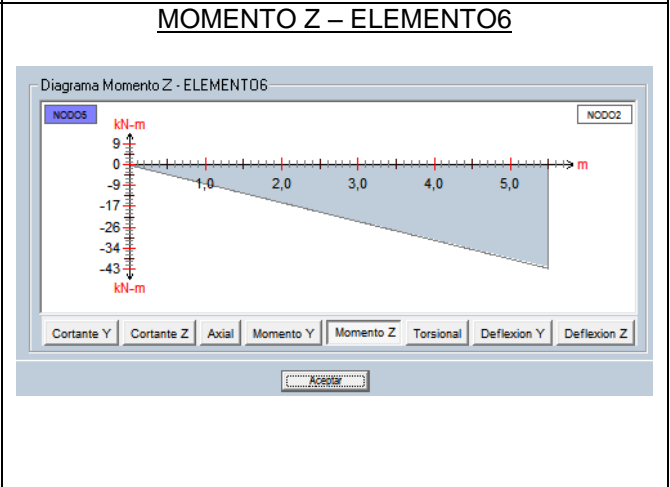
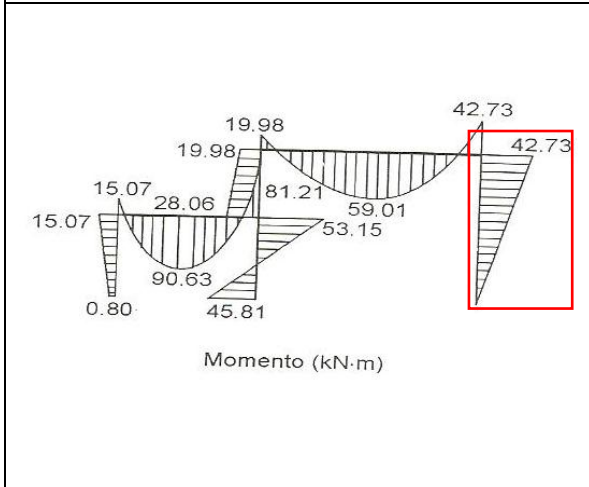
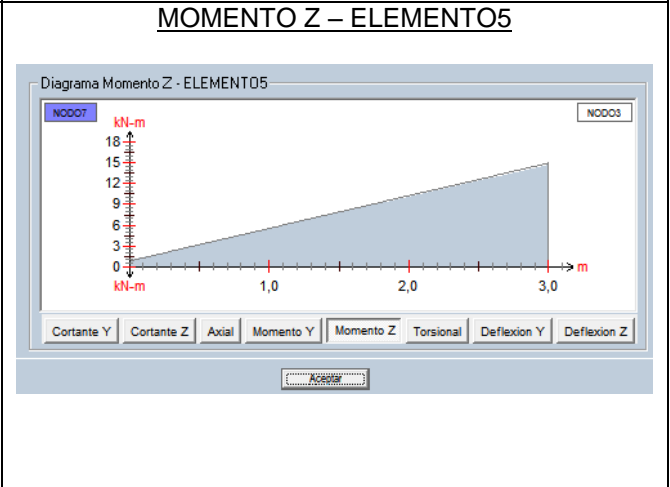
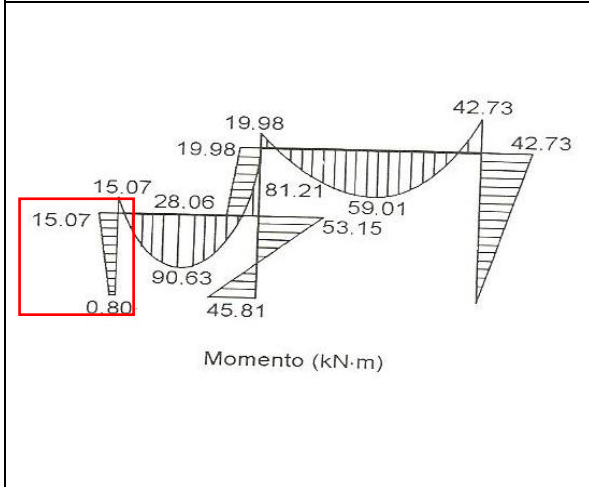
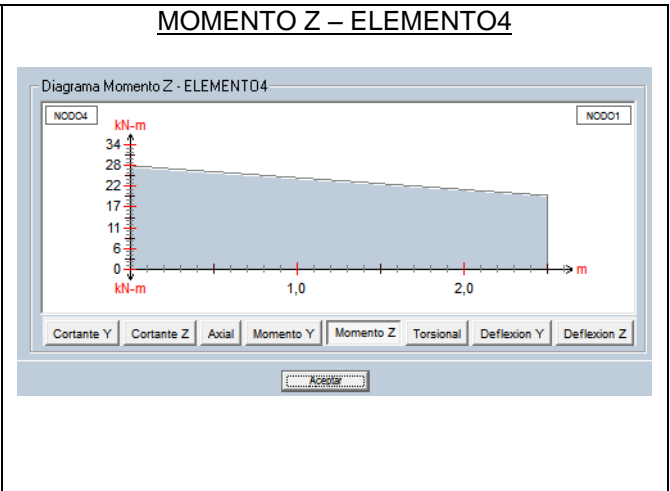
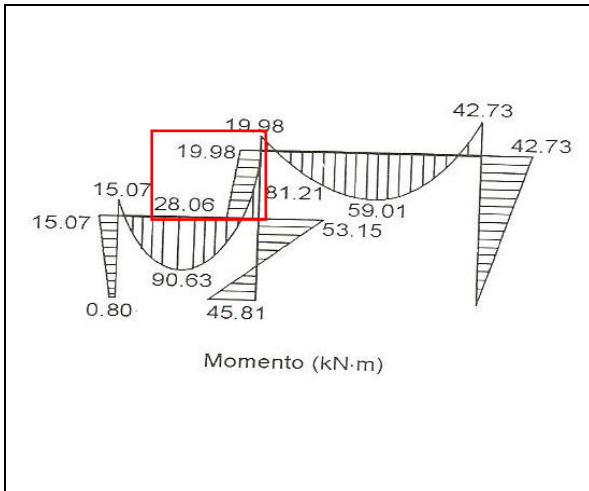
<p><b><u>NODO 7</u></b></p> <p><math>X_{73} = 4.75 \text{ kN}</math>  <math>Y_{73} = 68.46 \text{ kN}</math>  <math>M_{73} = 0.80 \text{ kN}\cdot\text{m}</math></p>	<p><b><u>NODO 3</u></b></p> <p><math>X_{37} = -4.76 \text{ kN}</math>  <math>Y_{37} = -68.46 \text{ kN}</math>  <math>M_{37} = -15.07 \text{ kN}\cdot\text{m}</math></p>	<p><b>ELEMENTO5</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Reaccion Global - NODO7</p> <p>Fuerza X: <input type="text" value="4,75553"/> kN  Fuerza Y: <input type="text" value="68,46530"/> kN  Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN  Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m  Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m  Momento Z: <input type="text" value="0,80268"/> kN-m</p> </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Reaccion Global - NODO3</p> <p>Fuerza X: <input type="text" value="-4,75553"/> kN  Fuerza Y: <input type="text" value="-68,46530"/> kN  Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN  Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m  Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m  Momento Z: <input type="text" value="-15,06925"/> kN-m</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Aceptar"/></p>
<p><b><u>NODO 5</u></b></p> <p><math>X_{52} = -7.77 \text{ kN}</math>  <math>Y_{52} = 63.80 \text{ kN}</math>  <math>M_{52} = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}</math></p>	<p><b><u>NODO 2</u></b></p> <p><math>X_{25} = 7.77 \text{ kN}</math>  <math>Y_{25} = -63.80 \text{ kN}</math>  <math>M_{25} = 42.73 \text{ kN}\cdot\text{m}</math></p>	<p><b>ELEMENTO6</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Reaccion Global - NODO5</p> <p>Fuerza X: <input type="text" value="-7,76961"/> kN  Fuerza Y: <input type="text" value="63,79171"/> kN  Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN  Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m  Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m  Momento Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m</p> </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: 45%;"> <p>Reaccion Global - NODO2</p> <p>Fuerza X: <input type="text" value="7,76961"/> kN  Fuerza Y: <input type="text" value="-63,79171"/> kN  Fuerza Z: <input type="text" value="0,00000"/> kN  Momento X: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m  Momento Y: <input type="text" value="0,00000"/> kN-m  Momento Z: <input type="text" value="42,73283"/> kN-m</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Aceptar"/></p>

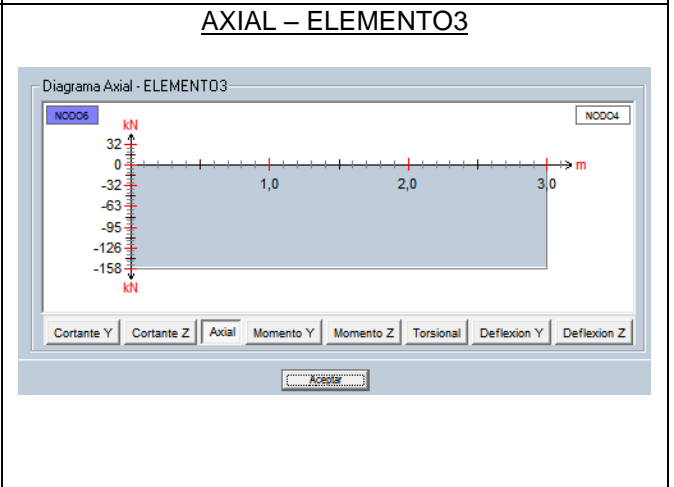
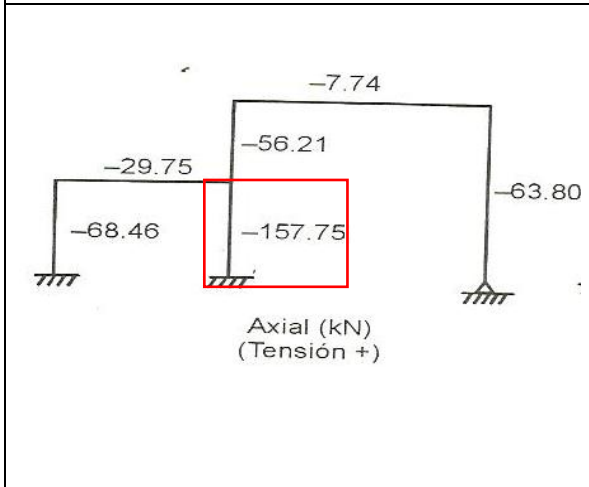
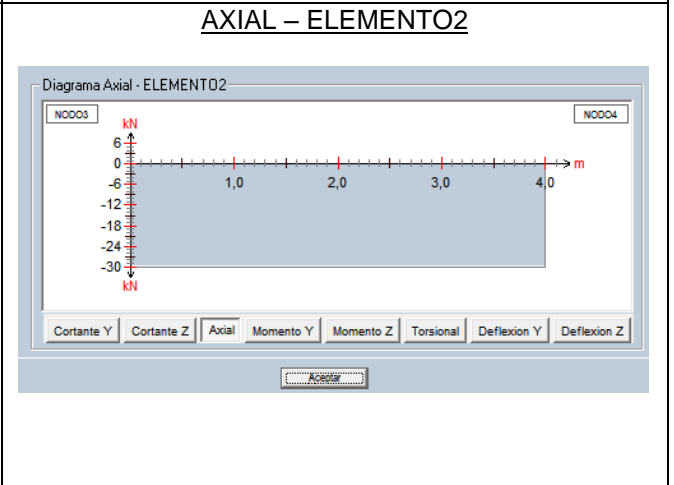
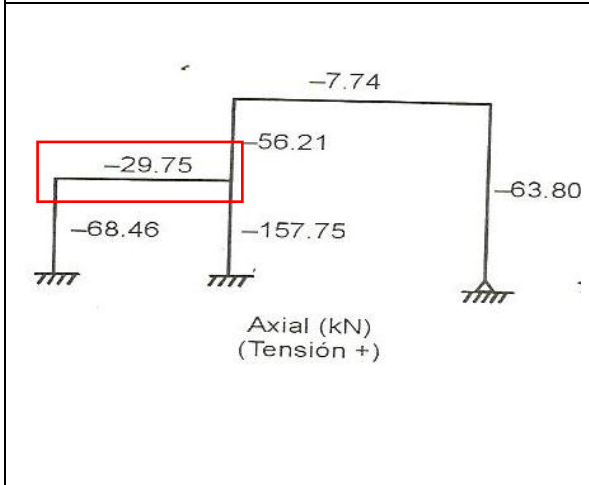
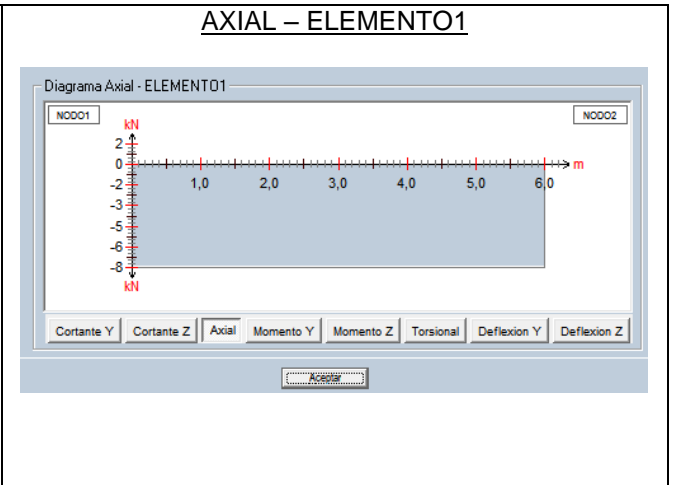
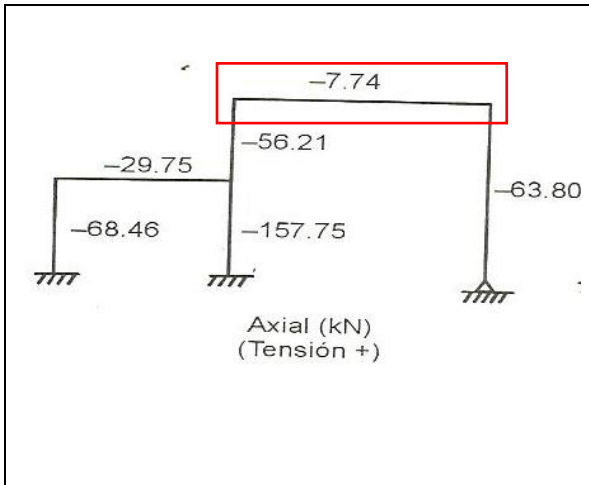
### 7.2.9 Comparar diagramas

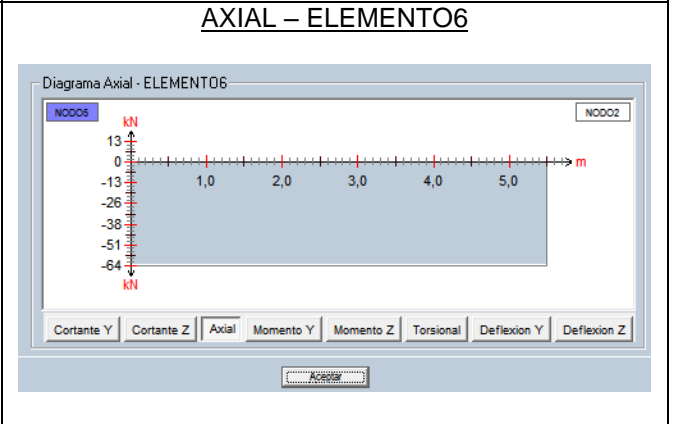
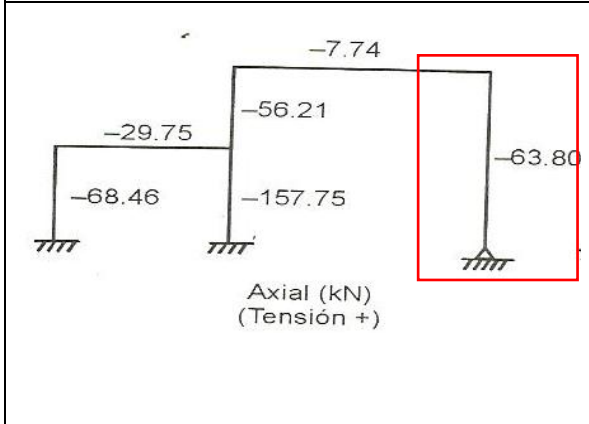
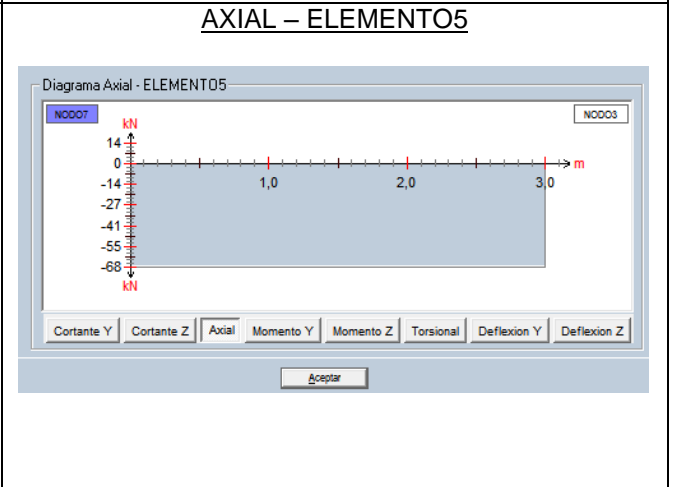
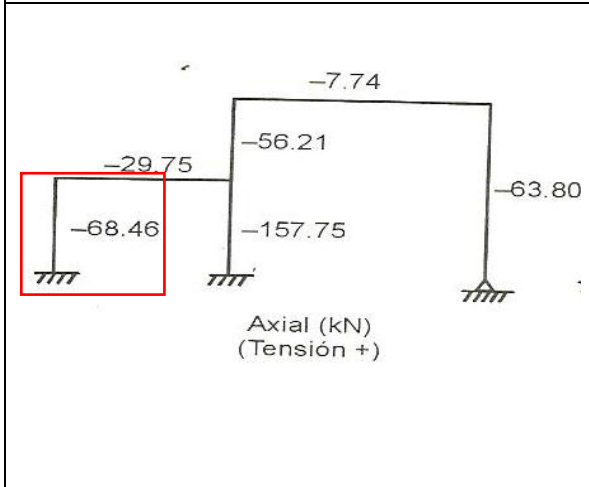
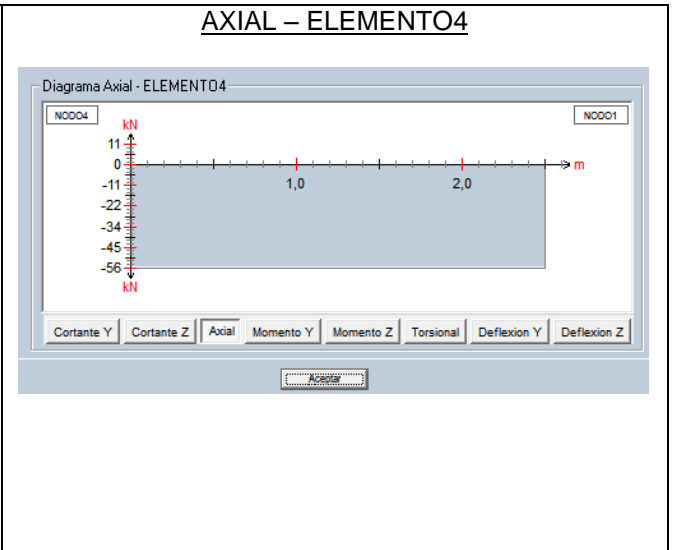
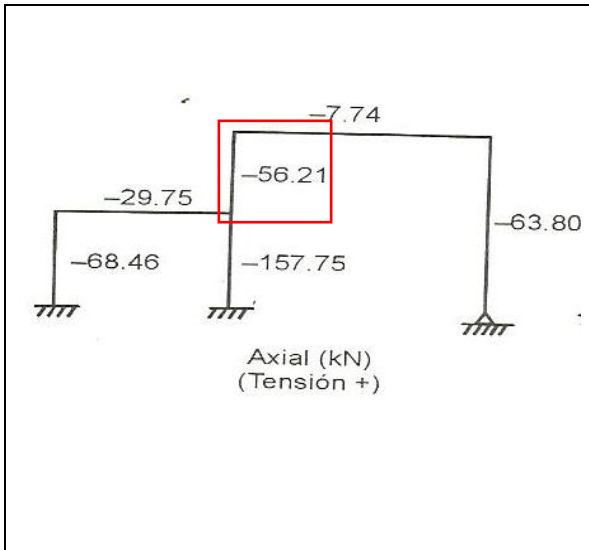
LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
<p align="center"><b>CORTANTE - ELEMENTO 1-2</b></p>  <p align="center">Corte (kN)</p>	<p align="center"><b>CORTANTE Y - ELEMENTO1</b></p> 
<p align="center"><b>CORTANTE - ELEMENTO 3-4</b></p>  <p align="center">Corte (kN)</p>	<p align="center"><b>CORTANTE Y - ELEMENTO2</b></p> 
<p align="center"><b>CORTANTE - ELEMENTO 6-4</b></p>  <p align="center">Corte (kN)</p>	<p align="center"><b>CORTANTE Y - ELEMENTO3</b></p> 



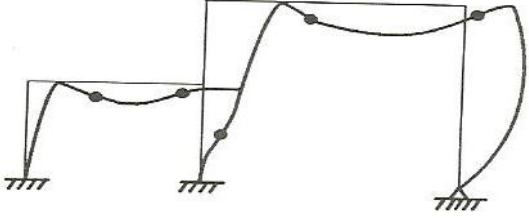
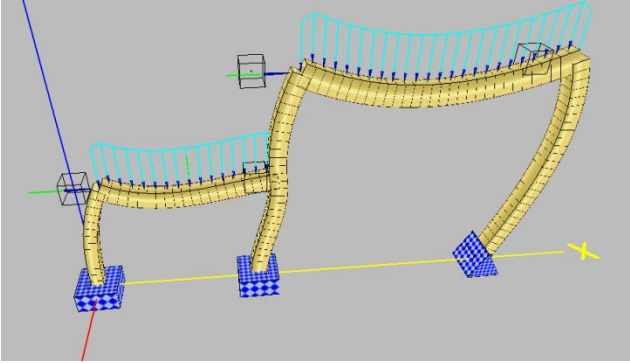








### 7.2.10 Estructuras deformadas

LIBRO ESCAMILLA	BABEL 2.0
 <p>A 2D structural diagram showing a deformed frame structure. The structure consists of three vertical columns of varying heights, connected by horizontal beams at the top. The columns are supported by three fixed supports, indicated by hatched lines at the base. The structure is shown in its deformed state, with curved lines representing the displacement of the members. The top horizontal beam is curved downwards, and the columns are also curved, showing significant deformation.</p>	 <p>A 3D finite element model of a deformed frame structure. The structure is composed of yellow elements forming a frame with three vertical columns and horizontal beams. The columns are supported by blue checkered blocks representing fixed supports. The structure is shown in its deformed state, with curved lines representing the displacement of the members. The top horizontal beam is curved downwards, and the columns are also curved, showing significant deformation. The model includes a coordinate system with red, green, and blue axes.</p>



## BIBLIOGRAFÍA

1. **Cervera Ruiz , Miguel y Blanco Diaz, Elena.** *Mecanica de Estructuras.* s.l. : UPC, 2004. pág. 273 y 275.
2. **Martí Montrull, Pascual.** Analisis de estructuras. *Analisis de estructuras Metodos Clasicos y Matriciales.* Cartagena : s.n., 2007, pág. 32.
3. **Universidad Tecnologica de Pereira.** Metalografia- Universidad Tecnologica de Pereira. [En línea] [Citado el: 25 de Mayo de 2012.] <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2011/05/29/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>.
4. **Hibbeler, Rusell C.** Analisis de estructural. s.l. : Pearson Prentice Hall, pág. 40.
5. **HIBBELER, R. C.** *Structural Analysis.* s.l. : Prentince Hall. pág. 561 y 570.
6. **De la fuente O'connor, José Luis.** Técnicas de Cálculo para Sistemas de ecuaciones, Programacion Lineal y Programacion Entera. Madrid : s.n., pág. 41.
7. **Vargas, Miguel.** Factorización Cholesky simbolica. *CIMAT.* [En línea]
8. **Universidad de Concepcion.** *Manual SAP 2000.* Concepcion : s.n., 2004. pág. 2.
9. **Tensei, Jose.** Blog Spot. [En línea] [Citado el: 25 de Mayo de 2012.] <http://eyvo.blogspot.com/2010/08/programas-para-ingenieria-civil-sap2000.html>.
10. **Jaramillo, Nayive.** *Portal de Pórticos: Un Programa de Elementos Finitos basado en la Web.* Merida : s.n., 2004. págs. 4,9 y 13.

11. **Africano Diaz, Adolfo.** Ing. Adolgo Africano Diaz. [En línea] [Citado el: 25 de Mayo de 2012.] <http://ingaficano.wordpress.com/2010/06/29/etabs-software-para-el-diseno-de-estructuras/>.
12. **Cadnexus.** Cadnexus. [En línea] [Citado el: 25 de Mayo de 2012.] <http://www.cadnexus.com/index.php/virtual-manufacturing/morfeo-for-abaqus.html>.
13. **.Docstoc.** Documents & Resources for Small Businesses & Professionals. [En línea] [Citado el: 25 de Mayo de 2012.] <http://www.docstoc.com/docs/48940186/GT-STRUDL-Reinforced-Concrete-Design-Overview>.
14. **Short, Scott.** Materials Engineering, Failure Analysis, & Mechanical Design. [En línea] [Citado el: 25 de Mayo de 2012.] <http://www.ceet.niu.edu/faculty/short/index.htm>.
15. **Beer, Ferdinand, Johnston, Russell y Eisenberg, Elliot.** Mecanica Vectorial para ingenieros. s.l. : Mc Graw Hill, pág. 193.
16. **Beer, Ferdinand, Johnston , Russell y Eisenberg, Elliot.** Mecanica Vectorial para Ingenieros. pág. 487.
17. **NSR-10.** Reglamento Colombiano de Construccion Sismo resistente. págs. B-9.
18. **NSR-10..** Reglamento Colombiano de Construccion Sismo resistente. págs. B-15.
19. **Arguelles Álvarez, Ramón, y otros, y otros.** *Calculo Matricial de estructuras de Primer y Segundo Orden.* Madrid : Bellisco. pág. 47.
20. **Hamrock, B.J., Jacobson, B. y Schmid, S.R.** Elemento de Máquinas. *Elemento de Máquinas.* s.l. : Mac Graw Hill.

21. **Kassimali, Aslam.** *Structural Analysis*. Cuarta. Illinois : Centage.

## **CAPITULO VIII**

### **COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

## 8 COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

Por los resultados vistos en los ejemplos calculados con la ayuda de BABEL 2.0 y verificados con las soluciones respectivas mostradas en el libro de Análisis de estructuras de Jairo Escamilla, podemos notar que los resultados son iguales, en cuanto a los datos numéricos y diagramas, con lo que podemos asegurar que el programa procesa, y arroja la información de manera correcta.

La velocidad de solución de BABEL 2.0 varía de acuerdo a la cantidad de elementos que tenga la estructura a modelar, lo que origina mayor tiempo de procesamiento cuando existe mayor cantidad de nodos y elementos.

Como se pudo notar, BABEL 2.0 es un programa muy fácil de manejar, y fue elaborado especialmente para aquellas personas que tienen nociones básicas de análisis de estructuras, como estudiantes y profesores de ingeniería civil u otros, que a su vez le ayudara a entender mejor, el comportamiento de materiales, secciones, tipos de cargas, combinaciones de carga y todas aquellas variables involucradas en el comportamiento estructural.

Se recomienda a las personas que desean usar el programa, leer antes el manual de usuario para entender mejor la interfaz, y después pueda arrojar un juicio personal en cuanto a los resultados visuales y numéricos.

El usuario puede hacer comparaciones con otro programa para revisar la veracidad de la información arrojada por Babel 2.0, pero debe tener en cuenta, que en Babel 2.0, los sistemas de ejes locales del elemento coinciden con los globales cuando el elemento está orientado sobre el eje x de los ejes globales. En programas como ETAB o SAP, los elementos verticales tienen rotación de 90° sobre el eje x local en comparación con los ejes de Babel 2.0.