

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA  
UNAN-MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN



***AEstruct2D V1.0:*** UNA HERRAMIENTA PROGRAMADA EN MATLAB PARA  
ANÁLISIS DE MARCOS Y ARMADURAS PLANAS FUNDAMENTADA EN EL  
MÉTODO DE RIGIDEZ

Trabajo Monográfico Para Optar Al Título De Ingeniero Civil

Autores

Br. Darwin Leonel Chavarría Peralta  
Br. Freddy Antonio Berrios Vega

Tutor

PhD. Ing. Edwin A. Obando

Managua, Nicaragua  
Marzo 2014

## **DEDICATORIA**

Al culminar con la elaboración de nuestro trabajo monográfico, el cual evidencia nuestro esfuerzo para lograr un gran propósito de vida, dedicamosle tal logro a Dios, nuestro Padre Celestial, por habernos permitido llegar a este momento, darnos la sabiduría para salir adelante y siempre estar con nosotros.

También a nuestros padres por guiarnos siempre por el buen camino y habernos brindado todo su apoyo, su amor y paciencia.

## **AGRADECIMIENTO**

Este es un gran momento en nuestras vidas, puesto que vemos el fruto de todos nuestros esfuerzos realizado, por ello es meritorio agradecerle principalmente a Dios por brindarnos en cada día la vida, sabiduría al actuar y tomar decisiones, por cada una de las personas que coloco cerca de nosotros para brindarnos su apoyo, en fin por todas y cada una de las bendiciones dadas, las cuales manifiestan su inmenso amor hacia nosotros.

A nuestros padres por todo el apoyo brindado, los consejos, su gran cariño, los buenos momentos compartidos y los sacrificios que con amor han hecho para permitirnos culminar esta meta. Además a nuestro tutor PhD. Ing. Edwin A. Obando por su amistad, el apoyo y motivación para culminar este proyecto.

A todos y cada uno de los docentes que han compartido sus conocimientos, para lograr nuestra formación como ingenieros.

**Tabla De Contenido**

I INTRODUCCIÓN..... 11

    1.1. JUSTIFICACIÓN ..... 12

    1.2. LIMITACIONES ..... 12

II OBJETIVOS ..... 14

    2.1. OBJETIVO GENERAL..... 14

    2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 14

III CONCEPTOS FUNDAMENTALES..... 15

    3.1. GENERALIDADES DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL ..... 15

        3.1.1. DEFINICIÓN DE ESTRUCTURA..... 15

        3.1.2. ESTRUCTURAS RETICULARES ..... 16

        3.1.3. TIPOS DE APOYOS EN ESTRUCTURAS ..... 20

        3.1.4. CONDICIONES DE CARGAS ..... 21

    3.2. METODOS DE ANALISIS..... 33

        3.2.1. MÉTODOS CLÁSICOS ..... 33

        3.2.2. MÉTODOS MATRICIALES..... 41

    3.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE RIGIDEZ EN ESTRUCTURAS PLANAS ..... 46

        3.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES ..... 46

        3.3.2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACION DE LA MATRIZ GLOBAL .. 48

        3.3.3. MÉTODO DE RIGIDEZ APLICADO AL ANÁLISIS DE ARMADURAS ..... 50

        3.3.4. MÉTODO DE RIGIDEZ APLICADO AL ANÁLISIS DE VIGAS..... 61

        3.3.5. MÉTODO DE RIGIDEZ APLICADO AL ANÁLISIS DE MARCOS ..... 64

        3.3.6. VENTAJAS DEL MÉTODO DE RIGIDEZ ..... 72

    3.4. FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN EN MATLAB..... 73

        3.4.1. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN ..... 73

        3.4.2. TIPOS DE PROGRAMACIÓN ..... 74

        3.4.3. GENERALIDADES SOBRE MATLAB..... 75

        3.4.4. CONCEPTOS DE PROGRAMACION EN MATLAB..... 77

        3.4.5. UNIDADES DE INTERFACE GRAFICA (GUI) EN MATLAB..... 84

IV DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA AESTRUCT2D V1.0 ..... 92

    4.1. ASPECTOS GENERALES DE LA HERRAMIENTA..... 92

        4.1.1. AESTRUCT2D V1.0 ..... 92

        4.1.2. PROPIEDADES DE AESTRUCT2D ..... 92

4.2.	ESTRUCTURA DE AEstruct2D .....	95
4.2.1.	VENTANA PRINCIPAL DE ANÁLISIS .....	95
4.2.2.	MÓDULO PARA EL ANÁLISIS DE ARMADURAS PLANAS.....	98
4.2.3.	MÓDULO PARA EL ANÁLISIS DE MARCOS PLANOS .....	109
4.2.4.	MÓDULO PARA LA ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS. ....	120
4.2.5.	AUTOMATIZACIÓN DEL CÁLCULO DE FUERZAS SÍMICAS .....	124
4.2.6.	VISUALIZACIÓN GRAFICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS. ....	127
V	VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE AESTRUCT2D V1.0.....	137
5.1.	VALIDACION DEL MÓDULO DE ARMADURAS .....	137
5.1.1.	MODELAJE DE ARMADURA A.....	137
5.1.2.	MODELAJE DE ARMADURA B.....	141
5.2.	VALIDACION DEL MÓDULO DE MARCOS .....	147
5.2.1.	MODELAJE DEL MARCO A.....	147
5.2.2.	MODELAJE DEL MARCO B.....	151
VI	CONCLUSIONES .....	160
VII	RECOMENDACIONES .....	162
VIII	BIBLIOGRAFÍA .....	163
IX	APENDICE .....	164
9.1.	APENDICE 1 - CARGAS MUERTAS MINIMAS SEGÚN RNC-07.....	164
9.2.	APENDICE 2 - CARGAS VIVAS MINIMAS SEGÚN RNC-07 .....	168
9.3.	APÉNDICE 3 - ISOACELERACIONES PARA NICARAGUA .....	170
9.4.	APÉNDICE 4 - MANUAL Y TUTORIAL DE AESTRUCT2D V1.0.....	171

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 Edificio del CENTRO CORPORATIVO INVERCASA - Managua, Nicaragua ..... 15

Figura 2 Edificio BAC - Managua, Nicaragua..... 16

Figura 3 Viga con sección transversal de patín ancho ..... 17

Figura 4 Columnas con sección transversal de patín ancho ..... 17

Figura 5 Marco plano ..... 18

Figura 6 Armadura plana ..... 19

Figura 7 Armadura espacial ..... 20

Figura 8 Tipos de Apoyos (Articulación)..... 20

Figura 9 Tipos de Apoyos (Empotramiento)..... 21

Figura 10 Tipos de Apoyos (Rodillo) ..... 21

Figura 11 Zonificación Sísmica de Nicaragua ..... 30

Figura 12 Fuerzas laterales debidas a sismos ..... 32

Figura 13 Análisis de portales..... 34

Figura 14 Análisis de marcos y vigas con el método de trabajo virtual..... 36

Figura 15 Análisis de armaduras con el método de trabajo virtual ..... 37

Figura 16 Método de pendiente-deflexión ..... 39

Figura 17 Método de distribución de momentos..... 40

Figura 18 Convención de signos en el extremo del miembro ..... 45

Figura 19 Convención de signos de cargas internas en nodos ..... 45

Figura 20 Convención de signos de cargas externas en nodos ..... 45

Figura 21 Identificación de miembros y nodos de estructuras..... 46

Figura 22 Coordenadas de miembros..... 47

Figura 23 Relaciones carga-desplazamiento en los extremos de miembro ..... 50

Figura 24 Extremos cercano y alejado de miembros ..... 53

Figura 25 Transformación de desplazamientos..... 54

Figura 26 Transformación de fuerzas ..... 56

Figura 27 Elementos y grados de libertad de vigas..... 61

Figura 28 Miembros y grados de libertad de marco ..... 64

Figura 29 Desplazamientos en el eje  $x'$  del miembro de un marco ..... 65

Figura 30 Desplazamientos en el eje  $y'$  del miembro de un marco ..... 65

Figura 31 Desplazamientos en el eje  $z'$  del miembro de un marco ..... 66

Figura 32 Transformación de desplazamientos..... 67

Figura 33 Transformación de fuerzas ..... 68

Figura 34 Matrix Laboratory ..... 75

Figura 35 Creación de una GUI ..... 84

Figura 36 Ventana para empezar la creación de GUI ..... 85

Figura 37 Ventana para inserción de controles de GUI ..... 85

Figura 38 Controles de GUI – Check Box ..... 86

Figura 39 Controles de GUI – Edit Text ..... 86

Figura 40 Controles de GUI - Listbox ..... 86

Figura 41 Controles de GUI – Pop-up Menu ..... 87

Figura 42 Controles de GUI – Push Button ..... 87

Figura 43 Controles de GUI – Radio Button ..... 87

Figura 44 Controles de GUI - Slider ..... 87

Figura 45 Controles de GUI – Static Text ..... 88

Figura 46 Controles de GUI – Toggle Button ..... 88

Figura 47 Controles de GUI - Uitable ..... 88

Figura 48 Controles de GUI - Axes ..... 88

Figura 49 Diagrama de flujo de AEstruct2D ..... 95

Figura 50 Ventana principal de AEstruct2D ..... 96

Figura 51 Visualización de datos sobre AEstruct2D ..... 97

Figura 52 Ventana para Análisis de Armaduras planas ..... 98

Figura 53 Inserción del número de elementos de la armadura ..... 99

Figura 54 Matriz de geometría de los miembros ..... 99

Figura 55 Función del botón Graficar ..... 102

Figura 56 Número de desplazamientos conocidos ..... 102

Figura 57 Inserción del número de fuerzas externas ..... 103

Figura 58 Ubicación del botón Comprobar ..... 104

Figura 59 Ubicación del botón Evaluar ..... 105

Figura 60 Ventana para la visualización de las matrices de rigidez ..... 107

Figura 61 Panel para presentación de resultados ..... 108

Figura 62 Ventana para Análisis de Marcos planos ..... 109

Figura 63 Inserción del número de elementos del marco ..... 110

Figura 64 Matriz de geometría de los miembros ..... 110

Figura 65 Función del botón Graficar ..... 113

Figura 66 Definición de Restricciones ..... 114

Figura 67 Inserción de fuerzas externas ..... 115

Figura 68 Función Analizar .....	116
Figura 69 Ventana para la visualización de las matrices de rigidez.....	118
Figura 70 Ubicación de función de asignación de propiedades.....	120
Figura 71 Componentes de Ventana AEstruct2D Secciones .....	120
Figura 72 Menú para asignar el tipo de sección.....	121
Figura 73 Opciones para crear secciones.....	122
Figura 74 Asignación de propiedades.....	122
Figura 75 Ventana para el análisis de Fuerza Sísmica .....	124
Figura 76 Tablas de resultados del análisis de fuerzas sísmicas .....	125
Figura 77 Ventana emergente para visualizar gráfico de la armadura .....	127
Figura 78 Ventana emergente para visualizar gráfico del marco.....	130
Figura 79 Visualizar fuerzas internas producidas en los elementos .....	134
Figura 80 Armadura A – Grafico .....	137
Figura 81 Armadura A – Grafico AEstruct2D .....	138
Figura 82 Armadura A – Grafico Sap200 .....	139
Figura 83 Armadura A – Desplazamientos.....	139
Figura 84 Armadura B – Grafico .....	141
Figura 85 Armadura B – Grafico AEstruct2D .....	142
Figura 86 Armadura B – Grafico Sap2000 .....	144
Figura 87 Armadura B – Fuerzas externas Sap2000 .....	144
Figura 88 Marco A – Grafico.....	147
Figura 89 Marco A – Grafico AEstruct2D .....	148
Figura 90 Marco A – Grafico Sap2000.....	148
Figura 91 Marco A – Grafico de cargas Sap2000 .....	149
Figura 92 Marco A – Deformación .....	150
Figura 93 Marco B - Planta de segundo nivel .....	151
Figura 94 Marco B – Marco Critico.....	152
Figura 95 Marco B – Grafico.....	153
Figura 96 Marco B – Grados de libertad .....	154
Figura 97 Marco B – Grafico AEstruct2D .....	155
Figura 98 Marco B – Grafico en AEstruct2D de estructura cargada.....	156
Figura 99 Marco B – Grafico en AEstruct2D de estructura cargada por el método estático equivalente .....	157
Figura 100 Marco B – Grafico Sap2000.....	157

Figura 101 Marco B – Grafico de cargas Sap2000 ..... 158  
Figura 102 Marco B – Deformación ..... 159  
Figura 103 Mapa De Isoaceleraciones..... 170

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 Factores de amplificación por tipo de suelo, S. .... 31

Tabla 2 Tipos de Callback's ..... 90

Tabla 3 Armadura A - Propiedades y geometría ..... 137

Tabla 4 Armadura A – Desplazamientos conocidos ..... 138

Tabla 5 Armadura A – Fuerzas Externas ..... 138

Tabla 6 Armadura A - Comparación de resultados de Desplazamientos..... 140

Tabla 7 Armadura A - Comparación de resultados de Reacciones en los nudos ..... 140

Tabla 8 Armadura A - Comparación de resultados de Fuerzas internas ..... 140

Tabla 9 Armadura B – Propiedades y geometría ..... 142

Tabla 10 Armadura B – Desplazamientos Conocidos ..... 143

Tabla 11 Armadura B – Fuerzas Externas ..... 143

Tabla 12 Armadura B – Comparación de resultados de Desplazamientos..... 145

Tabla 13 Armadura B – Comparación de resultados de Reacciones ..... 146

Tabla 14 Armadura B – Comparación de resultados de Fuerzas Internas ..... 146

Tabla 15 Marco A – Propiedades y geometría ..... 147

Tabla 16 Marco A – Restricciones ..... 148

Tabla 17 Marco A – Comparación de resultados de Desplazamientos ..... 149

Tabla 18 Marco A – Comparación de resultados de Reacciones en los apoyos ..... 149

Tabla 19 Marco B – Asignación de cargas según RNC-07..... 152

Tabla 20 Marco B – Cargas ultimas actuantes sobre la estructura..... 153

Tabla 21 Marco B – Cargas reducidas de la estructura..... 154

Tabla 21 Marco B – Propiedades y geometría ..... 155

Tabla 22 Marco B – Restricciones ..... 155

Tabla 24 Marco B – Comparación de resultados de Desplazamientos ..... 158

Tabla 25 Marco B – Comparación de resultados de Reacciones en los apoyos ..... 159

Tabla 26 Cubiertas De Techo ..... 164

Tabla 27 Cielos Rasos ..... 164

Tabla 28 Cubierta De Pisos ..... 165

Tabla 29 Paredes ..... 165

Tabla 30 Materiales Almacenables ..... 166

Tabla 31 Materiales De Construcción ..... 167

Tabla 32 Cargas vivas unitarias mínimas..... 168

## I INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción demanda mayoritariamente en los casos de proyectos de obras verticales, las proyecciones y diseños con un alto grado de precisión, además previendo un balance entre la seguridad y la economía de la proyección del proyecto, para lograr este balance se requiere de astucia y eficacia del proyectista en específico el ingeniero civil, para esto el ingeniero esta, generalmente, en completa dependencia de software's para realizar multiples análisis adecuados y en el tiempo requerido.

El análisis estructural es una de las disciplina de la ingeniería civil de mayor rigor, debido al grado de responsabilidad que implica tener resultados confiables para posteriormente realizar diseños acertados y de seguridad apropiada, cuando se pretende realizar construcciones de gran magnitud.

Con el enfoque de brindar facilidades al realizar análisis adecuados a estructuras, y en observancia de las posibles condiciones de cargas planteadas se presenta de forma concreta el diseño y elaboración del programa AEstruct2D, que significa Analizador de Estructuras en Dos Dimensiones, dirigido a ingenieros involucrados en el diseño estructural e ingenieros en formación, es decir que AEstruct2D estará destinado para el uso ya sea dentro del contexto académico como profesional de todo ingeniero civil dedicado al diseño estructural de edificaciones.

Para tal fin se empleara la herramienta de programación versátil, Matlab, el cual es un sofisticado instrumento de computación disponible en el comercio para resolver problemas de matemáticas, que brinda un lenguaje de programación adecuado para la resolución de complicaciones al momento de realizar análisis a estructuras, lo cual es parte de la vida cotidiana del ingeniero civil.

AEstruct2D v1.0, (Analizador de Estructuras en Dos Dimensiones, en su primer versión) a como su nombre lo expresa esta herramienta estará en la capacidad de brindar resultados, del análisis de estructuras, de forma versátil y eficientemente, no en la medida de los softwares existentes pero con una interfaz de usuario que permita cálculos rápidos y de buena precisión, obteniendo de esta forma fuerzas internas de los miembros de una estructura, desplazamientos en los nodos y fuerzas externas desconocidas, es decir un análisis completo y con resultados fidedignos, y por consiguiente facilitar el diseño de los diversos elementos estructurales que pueden comprender estas estructuras, debido a que la obtención de resultados realizando análisis manuales se torna, muchas veces, demorado y tedioso, más aun cuando estos análisis están sujetos a posibles modificaciones.

Además con la creación de AEstruct2D v1.0, promueve el uso de los lenguajes de programación, en este caso específico Matlab, para la solución de problemas de

distintas índoles, dentro de la vida cotidiana ya sea de ingeniería en la práctica, así como dentro del ámbito académico, es decir a docentes y estudiantes. Esto implicaría relativamente la independencia de software comerciales o de los métodos de cálculo manual, sin desligarse completamente de estos últimos.

### **1.1. JUSTIFICACIÓN**

Por lo anterior se basó la programación de AEstruct2D v1.0 en el Método de Rigidez el cual es un método fundamentado en cálculos matriciales con una muy fiel simulación de las condiciones y características que tienen mayor incidencia en el análisis estático de diversas estructuras, lo cual se refiere, a que no solo abarca el análisis de las cargas a las cuales están sometidos los diversos elementos estructurales que comprenden las estructuras, sino que también involucra la geometría de las secciones y propiedades de los materiales de los mismos elementos estructurales como tales. No expresando con lo anterior que los otros métodos de análisis de estructuras sean obsoletos, sino que para realizar diseños más confiables se necesita basar los análisis en cálculos más apegados a las condiciones reales, bajo las cuales se encuentran sometidas las diferentes estructuras, por tal razón se seleccionó este método como fundamento de análisis de la herramienta que se brinda como una nueva opción dentro del amplio repertorio existente en el área de análisis estructural.

Además la programación de esta herramienta también tiene como finalidad promover el uso de recursos informáticos dentro de la formación académica y profesional, que permitan la automatización de diversos métodos y procedimientos, no solo en el área de análisis estructural sino también en las diversas ramas de la ingeniería, especialmente la ingeniería civil, entre estas se podrían mencionar las hojas de cálculo y los diferentes lenguajes de programación que resulten versátiles para cálculos complejos, y de esta forma aumentar la competitividad profesional en el campo laboral, no por el uso y dominio de diferentes software, sino por el conocimiento aplicado que conlleva la creación y automatización digital de los diversos métodos aprendidos en las diferentes áreas.

### **1.2. LIMITACIONES**

En primera instancia se hace la salvedad que el software, es una herramienta destinada para el análisis estructural de armaduras y marcos, y no propone en ninguna manera la realización de diseño y/o revisión de las secciones de los elementos que constituyan tales estructuras.

La herramienta propuesta se limita a la realización de análisis de marcos y armaduras en un plano bidimensional, es decir que las estructuras que se pretendan analizar deben de ser idealizadas a un solo plano. Cabe recalcar que

los elementos pertenecientes a estas estructuras deben tener secciones transversales homogéneas, es decir que los miembros deben ser prismáticos, así mismo no se pueden analizar elementos en forma de arcos.

Los análisis que se realicen no tomaran en cuenta efecto por temperatura sobre la estructura y el análisis sísmico para marcos bidimensionales no se realiza por análisis dinámicos. Además apoyos inclinados o base inclinada no son analizadas por el software en su versión 1.0.

Otra limitante es la presencia de arriostramiento o algún tipo de impedimento al lado lateral de la estructura, además de la asignación de propiedades en los nodos o uniones entre elementos, ya que estos se consideran completamente rígidos.

Estos aspectos restringen ciertas consideraciones en el análisis estructural, pero no implican que la herramienta sea incapaz de realizar análisis típicos con eficacia.

## II OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un software, programado en Matlab y fundamentado en el Método de Rigidez, para el análisis de marcos y armaduras planas.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar algoritmos para el manejo automatizado de matrices de rigidez para elementos de marcos y armaduras planas, que permitan la asignación de distintas condiciones de apoyos y cargas para diversas configuraciones geométricas.
- Diseñar un módulo para la asignación de propiedades geométricas y mecánicas de los elementos de vigas y columnas para estructuras.
- Automatizar el cálculo de fuerzas sísmicas por el Método Estático Equivalente presente en el Reglamento Nacional de Construcción de Nicaragua (RNC-07).
- Construir una interfaz gráfica interactiva que integre el análisis de marcos y armaduras planas.
- Crear módulos para la visualización gráfica de los resultados del análisis.
- Evaluar la precisión de los resultados obtenidos con los algoritmos diseñados respecto a SAP2000 (Structural Analysis Program 2000).

### III CONCEPTOS FUNDAMENTALES

#### 3.1. GENERALIDADES DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural es una disciplina de la ingeniería estructural en la cual se determinan las posibles fuerzas internas, de los elementos de una estructura de conformidad con la condiciones de apoyo y carga presentada por las estructura, de forma genérica a continuación se presentan aspectos relevantes sobre el análisis estructural para la adecuada comprensión del alcance del diseño estructural.

(Mérida Robles, 2009)El análisis constituye la etapa más científica del proceso de diseño, aquella en que se emplean métodos de la mecánica estructural que implican el uso de herramientas matemáticas frecuentemente muy refinadas. El análisis de una estructura comienza desde el momento en el que se definen las dimensiones que puedan soportar las fuerzas internas actuantes en cada uno de los elementos que componen la estructura.

##### 3.1.1. DEFINICIÓN DE ESTRUCTURA

(Hernández Monzón, 1996) Una estructura consiste en una serie de partes conectadas con el fin de soportar una carga aplicada, sin que exista ninguna deformación excesiva de una de sus partes con respecto a otra. La aplicación de cargas a una estructura produce reacciones y deformaciones en ella. La determinación de estas reacciones y deformaciones se conoce como Análisis estructural.

(Hibbeler, 1997)Ejemplos de ellas son los edificios (Figura 1), los puentes, las torres, los tanques y las presas. El proceso de crear cualquier estructura requiere planeación, análisis, diseño y construcción.



Figura 1 Edificio del CENTRO CORPORATIVO INVERCASA - Managua, Nicaragua

### 3.1.2. ESTRUCTURAS RETICULARES

(Gere & Weaver, 1984) Se denominan estructuras reticulares a estructuras formadas por miembros que poseen una longitud grande en comparación con las dimensiones de su sección transversal.

(Gere & Weaver, 1984) Las estructuras reticulares pueden clasificarse como vigas, columnas, marcos planos, armaduras planas, marcos en el espacio, armaduras en el espacio;



Figura 2 Edificio BAC - Managua, Nicaragua

- **VIGAS**

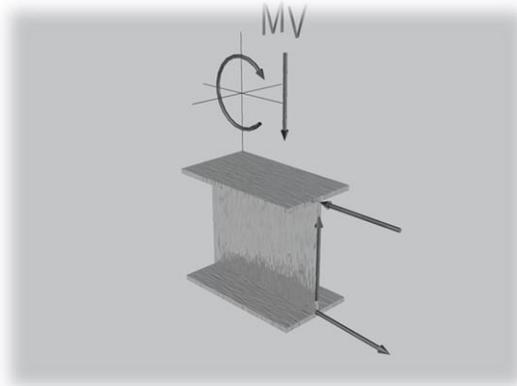
(Hibbeler, 1997) Son usualmente miembros horizontales rectos usados principalmente para el soporte de cargas verticales. A menudo se clasifican según la manera en que estén apoyadas como vigas simplemente apoyadas, vigas en voladizo, vigas doblemente empotrada, vigas continuas.

(Hibbeler, 1997) En su mayoría las vigas se diseñan principalmente para resistir momento flexionante; sin embargo, si son cortas y soportan grandes cargas, la fuerza cortante interna puede resultar muy grande y ser la que determine el diseño.

(Hernández Monzón, 1996) Las fuerzas que se aplican a viga se supone que actúan en un plano que contiene un eje de simetría de la sección transversal de la viga, un eje de simetría es también un eje principal de la sección transversal. Los esfuerzos principales que generalmente se evalúan en una viga son, como fue mencionado, la flexión y el corte, siendo los demás esfuerzos secundarios (axial y torsión).

(Hernández Monzón, 1996) Las formas de las secciones transversales de las vigas varían de acuerdo con el material empleado para el diseño; las vigas fabricadas

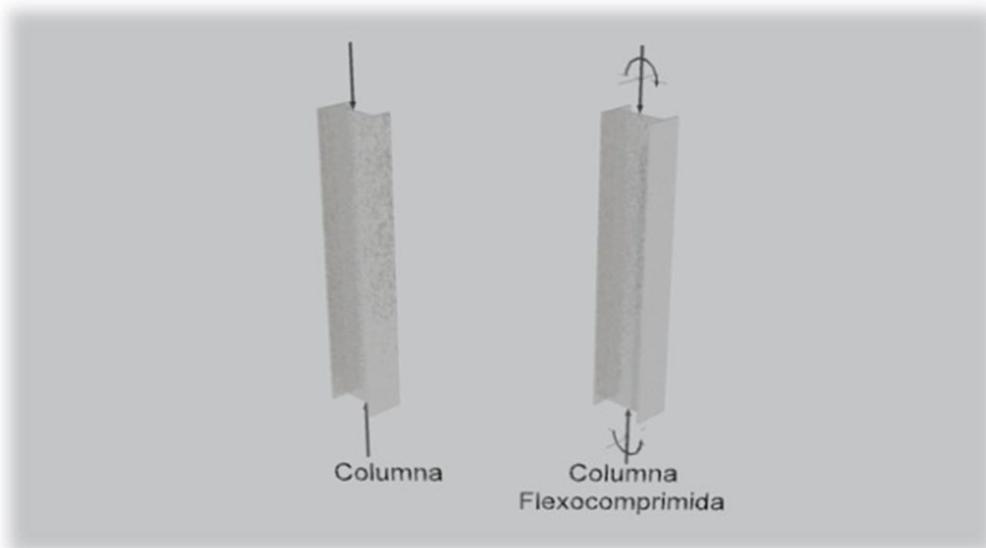
con acero en general presentan secciones transversales de patín ancho, las vigas de concreto generalmente tienen secciones transversales rectangulares con varillas de acero de refuerzo por la falta de resistencia a la tensión del concreto y las vigas hechas de madera pueden aserrarse de una pieza sólida de madera o fabricarse laminadas, es decir secciones solidas de madera unidas entre sí por medio de pegamentos altamente resistentes.



**Figura 3 Viga con sección transversal de patín ancho**

- **COLUMNAS**

(Hibbeler, 1997) Los miembros que habitualmente son verticales y resisten cargas axiales de compresión se conocen como columnas, para columnas metálicas se suelen emplear secciones tubulares y secciones de patín ancho y para las columnas de concreto son usuales las secciones circulares y cuadradas con varillas de refuerzo. En ocasiones, las columnas están sometidas a carga axial y momento de flexión, a estas se le llama columnas flexocomprimidas.



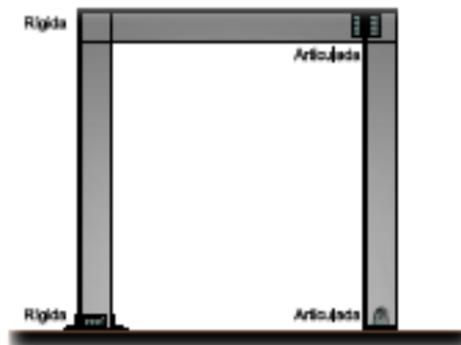
**Figura 4 Columnas con sección transversal de patín ancho**

- **MARCOS PLANOS**

(Hibbeler, 1997) A la combinación de los elementos estructurales y los materiales de que están hechos se les llama sistema estructural. Cada sistema está construido de uno o más de los tipos de estructuras, dentro de los cuales están los marcos y armaduras.

(Hernández Monzón, 1996) Los marcos se usan en edificios y están compuestos de vigas y columnas en un solo plano y tienen un eje de simetría en este plano. Los nodos o conexiones entre los miembros son rígidos. Las fuerzas que actúan en un marco y los desplazamientos del marco están en el mismo plano de la estructura, todos los pares que actúan en un marco tienen su vector de momentos, normales al plano. Los momentos de flexión son de más importancia que los cortantes y las fuerzas axiales.

(Hibbeler, 1997) La resistencia de un marco se deriva de las intersecciones de momento entre las vigas y columnas en los nodos rígidos y, en consecuencia, los beneficios económicos de usar marcos dependen de la eficiencia que se obtiene al usar tamaños menores de vigas respecto a tamaños mayores en las columnas debido a la acción “viga-columna” causada por la flexión en los nodos.



**Figura 5 Marco plano**

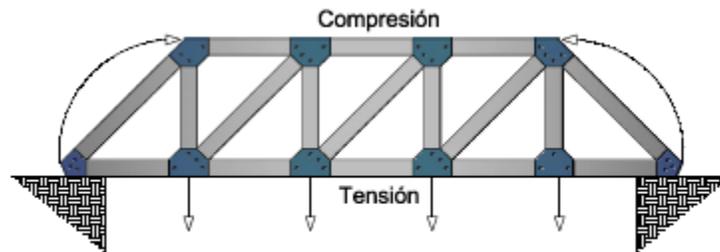
- **ARMADURAS PLANAS**

(Hibbeler, 1997) Las armaduras planas consisten en barras en tensión y elementos esbeltos tipo columna, usualmente dispuestos en forma triangular, usados a menudo en puentes y techos.

(Hernández Monzón, 1996) A medida que aumente el claro de una estructura o distancia entre apoyos, deja de ser económico el uso de una viga maciza o de una sola pieza, se recurre entonces a la viga de alma abierta o una armadura. Y se idealiza como un sistema de miembros en un plano interconectado en juntas articuladas. Todas las fuerzas aplicadas se consideran actuando en el plano de la estructura, y todos los pares externos tienen sus vectores normales al plano, justo

como en el caso de vigas. Las cargas pueden consistir de fuerzas concentradas aplicadas en los nodos, así como cargas que actúan en los propios miembros.

Para el propósito de análisis, las últimas pueden remplazarse por cargas estáticamente equivalentes que actúan en las articulaciones. Luego, el análisis de una armadura sujeta únicamente a carga en los nodos, dará como resultado fuerzas axiales de tensión y compresión en los miembros, siendo este tipo de esfuerzos los principales. Existirán además momentos flexionantes y fuerzas cortantes en aquellos miembros que tienen cargas que actúan directamente sobre ellos. La determinación de los primeros esfuerzos resultantes, constituye el análisis de las fuerzas que actúan en los miembros de una armadura.



**Figura 6 Armadura plana**

- **MARCOS EN EL ESPACIO**

(Hernández Monzón, 1996) Los marcos en el espacio son el tipo más general de estructura reticular, tanto que no hay restricciones de las cargas. Los miembros individuales de un marco en el espacio pueden soportar fuerzas axiales internas, pares torsionantes, y pares flexionantes en las dos direcciones principales de la sección transversal. Estos últimos esfuerzos son los que predominan en el sistema, siendo los otros secundarios.

- **ARMADURAS EN EL ESPACIO**

(Hernández Monzón, 1996) Es similar a una armadura plana, excepto que los miembros pueden tener cualquier dirección en el espacio. Las fuerzas que actúan en una armadura en el espacio pueden tener direcciones arbitrarias, pero cualquier par que actúa en un miembro, debe tener su vector de momento perpendicular al eje del miembro. La razón de este requerimiento es que un miembro de una armadura es incapaz de soportar un momento torsionante, por lo tanto los esfuerzos predominantes son las cargas axiales y secundarios los flexionantes y de corte.



Figura 7 Armadura espacial

### 3.1.3. TIPOS DE APOYOS EN ESTRUCTURAS

- **ARTICULACIÓN (FIJO O BISAGRA)**

(Hernández Monzón, 1996) La articulación, es asumida a restringir la estructura en el punto de conexión contra la traslación en cualquier dirección, mientras permite a la estructura rotar libremente. La restricción desarrollada por este tipo de soporte puede ser descrito en una de las dos formas:

- A. Como una única fuerza de reacción cuya línea de acción y magnitud son desconocidas.
- B. Como un par de fuerzas de reacción ortogonales cuyas magnitudes son desconocidas.

En este caso, este tipo de soporte introduce dos incógnitas en un análisis. Se puede definir qué:  $\Delta x = 0$ ;  $\Delta y = 0$ ;  $\theta = \zeta$ ?



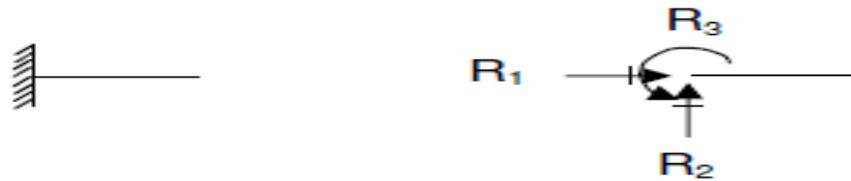
Figura 8 Tipos de Apoyos (Articulación)

Fuente: Hernández Monzón, V. C. (1996). Guía de Estudio del Curso de Análisis Estructural 2(Tesis para optar al título de Ingeniero Civil). Guatemala, Guatemala.

- **EMPOTRAMIENTO**

Soporte representado en la figura, es asumido a restringir la estructura en el punto de soporte, puede ser descrito en términos de un momento reactor y un par de fuerzas reactivas ortogonales desconocidas, la orientación de las reacciones

ortogonales puede ser seleccionada arbitrariamente. Entonces se especifica que:  
 $\Delta x = 0; \Delta y = 0; \theta = 0$

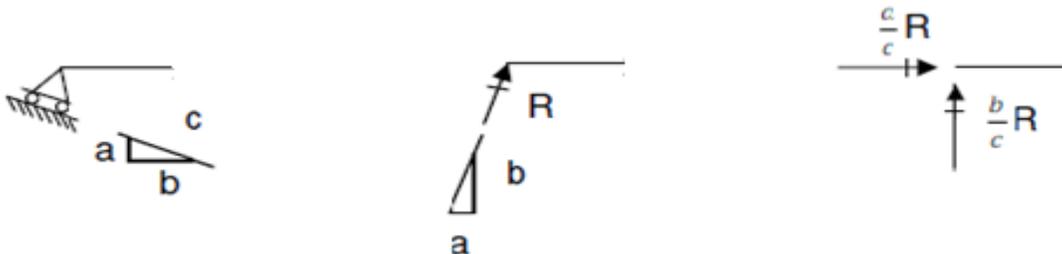


**Figura 9 Tipos de Apoyos (Empotramiento)**

Fuente: Hernández Monzón, V. C. (1996). Guía de Estudio del Curso de Análisis Estructural 2(Tesis para optar al título de Ingeniero Civil). Guatemala, Guatemala.

- **RODILLO**

Ofrece resistencia al movimiento sólo en una dirección perpendicular a la superficie de apoyo bajo el rodillo, ver figura. No representa resistencia a ligeras rotaciones respecto al eje del rodillo, o al movimiento paralelo a la superficie del apoyo. La única incógnita es la magnitud de la fuerza que evita el movimiento perpendicular a la superficie del apoyo. Se tiene entonces:  $\Delta x = \delta?$ ;  $\Delta y = 0$ ;  $\theta = \delta?$



**Figura 10 Tipos de Apoyos (Rodillo)**

Fuente: Hernández Monzón, V. C. (1996). Guía de Estudio del Curso de Análisis Estructural 2(Tesis para optar al título de Ingeniero Civil). Guatemala, Guatemala.

### 3.1.4. CONDICIONES DE CARGAS

(Hibbeler, 1997)El diseño en si de una estructura comienza con aquellos elementos que están sometidos a las cargas principales que debe tomar la estructura y procede en secuencia con los varios elementos de soporte hasta que se llega a la cimentación. Así, por ejemplo, en primer lugar se diseñaría la losa de piso de un edificio, seguida por las vigas, columnas y finalmente por las zapatas de la cimentación. Por tanto, para diseñar una estructura, es necesario primero especificar las cargas que actúan sobre ella. Generalmente una estructura está sometida a varios tipos de cargas.

Las cargas mínimas de diseño de estructuras están regidas en nuestro país, principalmente, por el Reglamento Nacional De Construcción (RNC), la versión en vigencia es la publicada en el año 2007. A continuación se hace mención de las condiciones mínimas planteadas en este reglamento, sin embargo estas condiciones son solo una guía para el diseñador, la responsabilidad final recae en el ingeniero civil.

- **TIPOS DE CARGAS**

(Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2007) Se considerarán 3 tipos de cargas o acciones sobre las estructuras, de acuerdo a la duración de ellas cuando actúan sobre las estructuras, y son:

- a) Cargas permanentes o que actúan en forma continúa sobre la estructura. También se considera cargas permanentes aquellas que sufren variaciones pequeñas en periodos de tiempo muy largos. Ejemplos de estas cargas son: el peso propio de la estructura y elementos no estructurales fijos (carga muerta), empujes de tierra y de líquidos, deformaciones impuestas a la estructura que varían poco con el tiempo como los debidos al preesfuerzo o a movimientos diferenciales de los apoyos.
- b) Cargas variables, son aquellas cuya intensidad varía significativamente en el tiempo. Ejemplos de estas cargas son: cargas vivas, cambios de temperatura, deformaciones impuestas y asentamientos diferenciales cuya intensidad varíe con el tiempo, y las acciones de maquinarias y equipo sobre la estructura. Además, en donde aplique, se deberá considerar los efectos de impacto, frenado y vibraciones causadas por cargas variables durante la operación del edificio o estructura.
- c) Cargas accidentales, son acciones no permanentes ni variables, de intensidad significativa y de duración breve y que pueden afectar a la estructura durante su operación. Ejemplos de este tipo de acciones son los sismos, los vientos, incendios, explosiones, etc.

- **CLASIFICACION DE CARGAS**

### **Cargas Muertas**

(Hibbeler, 1997) Las Cargas muertas consisten en los pesos de los diversos miembros estructurales, además del peso de cualquier objeto que esté permanentemente unido a la estructura. Entonces, para un edificio, las cargas muertas comprenden los pesos del techo, las losas de piso, vigas, columnas, muros, ventanas, plomería, instalaciones eléctricas y otros.

(Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2007) Para la evaluación de las cargas muertas se emplearán las dimensiones especificadas de los elementos constructivos y los pesos unitarios de los materiales. Se considerará el peso de todos los dispositivos de servicio de la edificación, inclusive las tuberías, ductos, y equipos de aire acondicionado, instalaciones eléctricas, ascensores, maquinaria para ascensores y otros dispositivos fijos similares. El peso de todo este material se incluirá en la carga muerta. El peso de los equipos con el que se amueble una zona dada, será considerado como carga viva.

(Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2007) En la estimación de las cargas muertas para propósitos de diseño, se usarán como cargas mínimas los pesos de los materiales listados de la Tabla 26 a la Tabla 31 en los anexos de este documento, extraídas del Arto. 9, Capítulo II del RNC-07, estos pesos pueden ser mayores según lo especifique el fabricante.

### **Cargas Vivas**

(Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2007) Se considerarán cargas vivas las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente. Deberán ser consideradas en el diseño las cargas vivas más altas que probablemente ocurran. En el RNC-07 se plantean los menores valores de cargas vivas uniformemente distribuidas, los cuales han sido retomados en la Tabla 32.

El RNC-07 recomienda, para la aplicación de las cargas vivas unitarias, tomar en cuenta las siguientes disposiciones:

- A. La carga viva máxima CV se deberá emplear para diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en suelos, así como en el diseño estructural de las cimentaciones ante cargas gravitacionales.
- B. La carga viva incidental o reducida CVR se deberá usar para los análisis por sismo y por viento.
- C. Cuando el efecto de la carga viva sea favorable para la estabilidad de la estructura, como en los casos de flotación, de volteo y de succión por viento, su intensidad se considerará nula sobre toda el área.
- D. Las cargas vivas uniformes se considerarán distribuidas sobre el área tributaria de cada elemento, entendiéndose por área tributaria el área que incide con su carga unitaria sobre el elemento en referencia, de acuerdo al tipo de losa o cubierta de que se trate.

## Cargas Debidas A Sismos

El Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07) en el Titulo II, enmarca las disposiciones mínimas para determinar cargas debido a sismo. En este documento se abordaran las normas para determinar las fuerzas laterales empleando el Método Estático Equivalente.

Puede utilizarse el método estático del Artículo 32 del RNC-07, para analizar estructuras regulares de altura no mayor de 40 m, y estructuras irregulares de no más de 30 m.

### 1) Clasificación de las estructuras

En su artículo numero 20 llamado “Grupos”, el RNC-07 considerará que las estructuras, para efectos del diseño estructural, se pueden clasificar en:

- a. Estructuras esenciales: (**Grupo A**) son aquellas estructuras que por su importancia estratégica para atender a la población inmediatamente después de ocurrido un desastre es necesario que permanezcan operativas luego de un sismo intenso, como hospitales, estaciones de bomberos, estaciones de policía, edificios de gobierno, escuelas, centrales telefónicas, terminales de transporte, etc. También se ubican dentro de este grupo las estructuras cuya falla parcial o total represente un riesgo para la población como depósitos de sustancias tóxicas o inflamables, estadios, templos, salas de espectáculos, gasolineras, etc. Asimismo, se considerará dentro de este grupo a aquellas estructuras cuya falla total o parcial causaría pérdidas económicas o culturales excepcionales, como museos, archivos y registros públicos de particular importancia, monumentos, puentes, etc.
- b. Estructuras de normal importancia: (**Grupo B**) son aquellas en el que el grado de seguridad requerido es intermedio, y cuya falla parcial o total causarían pérdidas de magnitud intermedia como viviendas, edificios de oficinas, locales comerciales, naves industriales, hoteles, depósitos y demás estructuras urbanas no consideradas esenciales, etc.
- c. Estructuras de menor importancia: (**Grupo C**) son aquellas estructuras aisladas cuyo falla total o parcial no pone en riesgo la vida de las personas, como barandales y cercos de altura menor a 2.5m.

### 2) Las disposiciones para el Factor de Reducción por Ductilidad

Q es el factor de ductilidad que se define en el artículo 21 del RNC-07. Para el diseño de estructuras que sean irregulares, de acuerdo con el Arto. 23, el valor de Q' se corregirá como se indica en dicho artículo.

Para el factor de comportamiento sísmico,  $Q$ , se adoptarán los valores especificados en alguna de las secciones siguientes, según se cumplan los requisitos en ellas indicados

**Requisitos para  $Q = 4$**

Se usará  $Q=4$  cuando se cumplan los requisitos siguientes:

- La resistencia en todos los entresijos es suministrada exclusivamente por marcos no arriostrados de acero o concreto reforzado o compuestos de los dos materiales, o bien por marcos arriostrados o con muros de concreto reforzado o de placa de acero o compuestos de los dos materiales, en los que en cada entresijo los marcos son capaces de resistir, sin contar muros ni contravientos si hubieran, cuando menos 50 por ciento de la fuerza sísmica actuante.
- Si hay muros de mampostería ligados a la estructura en la forma especificada en el artículo 27 inciso a), éstos se deben considerar en el análisis, pero su contribución a la resistencia ante fuerzas laterales sólo se tomará en cuenta si son de piezas macizas, y los marcos, sean o no arriostrados, y los muros de concreto reforzado, de placa de acero o compuestos de los dos materiales, son capaces de resistir al menos 80 por ciento de las fuerzas laterales totales sin la contribución de los muros de mampostería.
- El mínimo cociente de la capacidad resistente de un entresijo entre la acción de diseño no difiere en más de 35 por ciento del promedio de dichos cocientes para todos los entresijos. Para verificar el cumplimiento de este requisito, se calculará la capacidad resistente de cada entresijo teniendo en cuenta todos los elementos que puedan contribuir a la resistencia, en particular los muros si hubieran que se hallen ligados como señala el Artículo 27. El último entresijo queda excluido de este requisito.
- Si hay marcos o muros de concreto reforzado cumplen con los requisitos establecidos en el capítulo 21 del Reglamento para Concreto Estructural ACI-318S-05 para marcos y muros dúctiles. Si no existen marcos o muros de concreto se queda excluido de este requisito.
- Si hay marcos rígidos de acero estos satisfacen los requisitos para marcos con ductilidad alta que fijan las Normas de Diseño Sísmico de Edificios de Acero ANSI/AISC 341-02. Si no existen marcos rígidos de acero se queda excluido de este requisito.

**Requisitos para  $Q = 3$** 

Se usará  $Q=3$  cuando se satisfacen los requisitos 2, 4 y 5 del Artículo 21 en el inciso a) y en cualquier entrepiso dejan de satisfacerse las condiciones 1 ó 3, pero la resistencia en todos los entrepisos es suministrada por columnas de acero o de concreto reforzado con losas planas, o por marcos rígidos de acero, o por marcos de concreto reforzado, o por muros de concreto o de placa de acero o compuestos de los dos materiales, o por combinaciones de éstos y marcos o por diafragmas de madera. Las estructuras con losas planas y las de madera deberán además satisfacer los requisitos que sobre el particular marcan las Normas correspondientes. Los marcos rígidos de acero satisfacen los requisitos para ductilidad alta o están provistos de arriostramiento concéntrico dúctil según la norma del AISC.

**Requisitos para  $Q = 2$** 

Se usará  $Q = 2$  cuando la resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de acero o de concreto reforzado, o por marcos de acero con ductilidad reducida o provistos de arriostramiento con ductilidad normal, o de concreto reforzado que no cumplan con los requisitos para ser considerados dúctiles, o muros de concreto reforzado, o de placa de acero o compuestos de acero y concreto, que no cumplen en algún entrepiso lo especificado por el Artículo 21 inciso a) y b) de este Capítulo, o por muros de mampostería de piezas macizas confinados por columnas o vigas de concreto reforzado o de acero que satisfacen los requisitos de las Normas correspondientes.

También se usará  $Q = 2$  cuando la resistencia es suministrada por elementos de concreto prefabricado o presforzado, con las excepciones que sobre el particular marcan las Normas correspondientes, o cuando se trate de estructuras de madera con las características que se indican en las Normas respectivas, o de algunas estructuras de acero que se indican en las Normas correspondientes.

**Requisitos para  $Q = 1.5$** 

Se usará  $Q = 1.5$  cuando la resistencia a fuerzas laterales es suministrada en todos los entrepisos por muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior, que satisfacen los requisitos de las Normas correspondientes, o por combinaciones de dichos muros con elementos como los descritos para los casos del Artículo 21 inciso b) e inciso c), o por marcos y armaduras de madera, o por algunas estructuras de acero que se indican en las Normas correspondientes.

**Requisitos para  $Q = 1$** 

Se usará  $Q = 1$  en estructuras cuya resistencia a fuerzas laterales es suministrada al menos parcialmente por elementos o materiales diferentes de los arriba

especificados, a menos que se haga un estudio que demuestre, a satisfacción de la autoridad competente, que se puede emplear un valor más alto que el que aquí se especifica; también en algunas estructuras de acero que se indican en las Normas correspondientes.

En todos los casos se usará para toda la estructura, en la dirección de análisis, el valor mínimo de  $Q$  que corresponde a los diversos entrepisos de la estructura en dicha dirección. El factor  $Q$  puede diferir en las dos direcciones ortogonales en que se analiza la estructura, según sean las propiedades de ésta en dichas direcciones.

3) Factor de reducción por sobrerresistencia

La reducción por sobrerresistencia está dada, según el RNC-07 Art. 21, por el factor  $\Omega = 2$ .

4) El Arto.23. presenta las Condiciones de regularidad de una estructura

**Estructura regular**

Para que una estructura pueda considerarse regular debe satisfacer los siguientes requisitos:

- Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Estos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.
- La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.
- La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.
- En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.
- En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.
- No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.
- El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso.

- Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de ésta. Se exige de este último requisito únicamente al último piso de la construcción.
- Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.
- La rigidez al corte de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.
- La resistencia al corte de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.

En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente, excede del diez por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

#### **Estructura irregular**

Toda estructura que no satisfaga uno o más de los requisitos del inciso a) del Arto. 23 del RNC-07 será considerada irregular.

#### **Estructura fuertemente irregular**

Una estructura será considerada fuertemente irregular si se cumple alguna de las condiciones siguientes:

- La excentricidad torsional calculada estáticamente, excede en algún entrepiso de 20 por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso, medida paralelamente a la excentricidad mencionada.
- La rigidez o la resistencia al corte de algún entrepiso excede en más de 100 por ciento a la del piso inmediatamente inferior.

#### **Corrección por irregularidad**

El factor de reducción  $Q'$ , definido en el Artículo 21, se multiplicará por 0.9 cuando no se cumpla con uno de los requisitos de la del inciso a) del Arto. 23, por 0.8 cuando no cumpla con dos o más de dichos requisitos, y por 0.7 cuando la estructura sea fuertemente irregular según las condiciones de la del inciso c) del Arto. 23. *en ningún caso el factor  $Q'$  se tomará menor que uno.*

5) Coeficientes de diseño sismo-resistente

El coeficiente sísmico,  $c$ , es el cociente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo,  $V_0$ , entre el peso de la edificación sobre dicho nivel,  $W_0$ . Con este fin se tomará como base de la estructura el nivel a partir del cual sus desplazamientos con respecto al terreno circundante comienzan a ser significativos. Para calcular el peso total se tendrán en cuenta las cargas muertas y vivas que correspondan, según lo indicado en el artículo 9 y 10 del RNC-07.

El coeficiente sísmico de una estructura se calcula para el método estático equivalente:

$$c = \frac{V_0}{W_0} = \frac{S(2.7 * a_0)}{Q' * \Omega} > (S * a_0) \tag{3.1}$$

Donde;

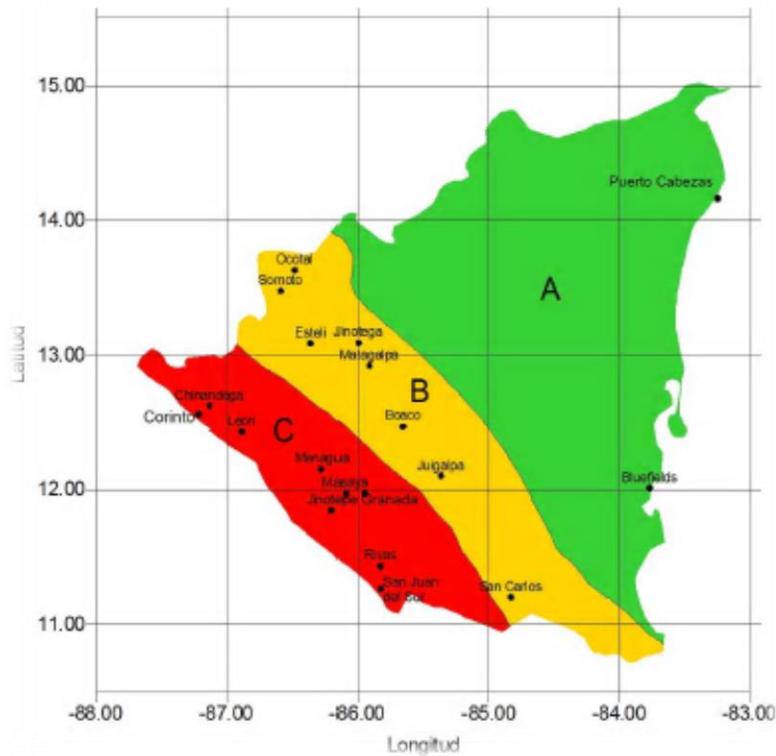
$W_0$ :  $CM + CVR$

$V_0$ : Cortante Basal

$CM$ : Carga Muerta

$CVR$ : Carga viva incidental o reducida

El valor de  $a_0$  determinará usando la zonificación sísmica de Nicaragua. El valor de  $a_0$  para estructuras del grupo B y C en las ciudades dentro de la zona A el valor  $a_0$  es 0.1, en la zona B el valor sería 0.2 y en la zona C el valor es 0.3 (Figura 103 o sección 9.3 de este documento).



**Figura 11 Zonificación Sísmica de Nicaragua**

6) Influencia del suelo

Para tomar en cuenta los efectos de amplificación sísmica debidos a las características del terreno, los suelos se dividirán en cuatro tipos, de acuerdo con las siguientes características:

- Tipo I: Afloramiento rocoso con  $V_s > 750 \text{ m/s}$ ,
- Tipo II: Suelo firme con  $360 < V_s \leq 750 \text{ m/s}$ ,
- Tipo III: Suelo moderadamente blando, con  $180 \leq V_s \leq 360 \text{ m/s}$ ,
- Tipo IV: Suelo muy blando, con  $V_s < 180 \text{ m/s}$ .

Siendo  $V_s$  la velocidad promedio de ondas de cortante calculada a una profundidad no menor de 10 m.

Si no se dispone de estos mapas de microzonificación, se utilizarán los siguientes factores de amplificación,  $S$ :

Zona Sísmica	Tipo de suelo		
	I	II	III
A	1.0	1.8	2.4
B	1.0	1.7	2.2
C	1.0	1.5	2.0

**Tabla 1 Factores de amplificación por tipo de suelo, S.**

Para suelos muy blandos (tipo IV) es necesario construir espectros de sitio específicos siguiendo los requisitos establecidos en el Reglamento.

7) Aplicación del Método estático equivalente

**Fuerzas cortantes**

Para calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura, se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las masas. Cada una de estas fuerzas se tomará igual al peso de la masa que corresponde, multiplicado por un coeficiente proporcional a  $h$ , siendo  $h$  la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables).

De acuerdo con este requisito, la fuerza lateral que actúa en el  $i$ -ésimo nivel,  $F_{s_i}$ , resulta ser;

$$F_{s_i} = c W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} \tag{3.2}$$

dónde:

$W_i$  es el peso de la  $i$ -ésima masa; y

$h_i$  es la altura de la  $i$ -ésima masa sobre el desplante.

$c$  es el coeficiente sísmico definido en el artículo 24 del RNC-07

Para estructuras del Grupo A las fuerzas calculadas con la ecuación anterior deberán multiplicarse por 1.5.

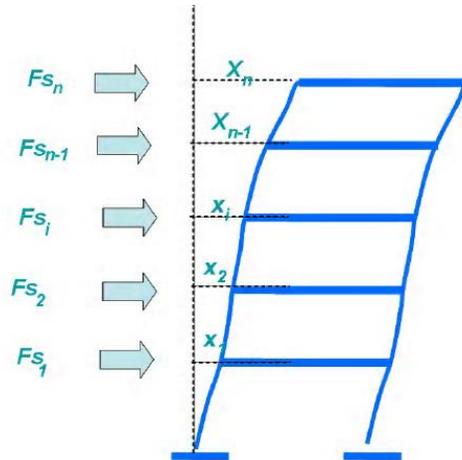


Figura 12 Fuerzas laterales debidas a sismos

### Cargas De Vientos

En consideración al efecto del viento sobre una estructura expuesta a la acción del viento se debe realizar un análisis para el cual, el RNC-07 expone en el Titulo IV Las Normas Mínimas para Determinar Cargas Debida a Viento, de las cuales se hará referencia a continuación.

(Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2007)Deberá revisarse la seguridad de la estructura principal ante el efecto de las fuerzas que se generan por las presiones (empujes o succiones) producidas por el viento sobre las superficies de la construcción expuestas al mismo y que son trasmitidas al sistema estructural.

### Cargas Debidas A Ceniza Volcánica

En nuestro país debido a la presencia de volcanes en su gran mayoría en actividad, se debe tener en consideración el aglomeramiento de materiales emanados por estos, con mayor frecuencia la ceniza, sobre las estructuras de acuerdo con la zona del país en que se pretenda desplantar.

(Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2007)En León, Chinandega, Carazo, Isla de Ometepe y Masaya es obligatorio el uso de la carga debida a ceniza y en cualquier otra zona del país que esté expuesta a recibir ceniza volcánica deberá tomarse en cuenta dicha sobrecarga para efectos de diseño, adicional a la carga viva y a cualquier otra carga presente. Se recomienda una sobrecarga debido a ceniza en estado húmedo de 20 Kg/m<sup>2</sup> en ausencia de documentación local.

## 3.2. METODOS DE ANALISIS

### 3.2.1. MÉTODOS CLÁSICOS

(Nelson & McCormac, 2006) Las estructuras estáticamente indeterminadas contienen más fuerzas desconocidas que ecuaciones disponibles para su solución. Por ello, no pueden analizarse usando solo las ecuaciones de equilibrio estático; se requieren ecuaciones adicionales. Las fuerzas no necesarias para mantener a una estructura en equilibrio y estable son fuerzas redundantes. Las fuerzas redundantes pueden ser fuerzas de reacción o fuerzas en los miembros que constituyen la estructura.

En esta sección se enmarcarán métodos aproximados y exactos empleados mayoritariamente para la realización de análisis a estructuras estáticamente indeterminadas. Entre ellos figuran el método de análisis de estructuras para edificios para cargas verticales, análisis de portales, método de trabajo virtual, método de pendiente deflexión y el método de distribución de momentos.

- **ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS PARA EDIFICIOS PARA CARGAS VERTICALES**

(Nelson & McCormac, 2006) Un método aproximado para analizar estructuras de edificios considerando cargas verticales implica estimar la posición de los puntos de momento nulo en las vigas. Estos puntos, que se presentan cuando el momento cambia de un signo a otro, suelen denominarse puntos de inflexión (PI) o puntos de contraflexión. Una práctica común consiste en suponer que en las vigas existen puntos de inflexión localizados aproximadamente a  $1/10$  de la longitud, desde cada extremo, y que es nula la fuerza axial en esas vigas.

Estos supuestos tienen el efecto de crear una viga simplemente apoyada entre los puntos de inflexión, pudiendo determinarse por estática los momentos positivos en la viga. En las vigas aparecen momentos negativos entre sus extremos y los puntos de inflexión. El valor de estos momentos puede calcularse considerando que la parte de la viga hasta el punto de inflexión funciona como voladizo.

La fuerza cortante en el extremo de cada columna contribuye a las fuerzas axiales en las columnas. De manera análoga, los momentos flexionantes negativos en los extremos de las vigas se transmiten a las columnas. En las columnas interiores, los momentos en las vigas a cada lado se oponen entre sí y pueden cancelarse. En las columnas exteriores hay momentos solo en un lado, causados por las vigas unidas a ellas y deben considerarse en el diseño.

• ANÁLISIS DE PORTALES

Los portales que pueden estar empotrados en las bases de sus columnas, estar simplemente apoyados, o estar parcialmente empotrados. Si se supone que las columnas del marco mostrado en la Figura 13 tienen bases empotradas. En consecuencia, habrá tres fuerzas de reacción desconocidas en cada soporte, es decir, un total de seis incógnitas. La estructura es estáticamente indeterminada de tercer grado, y para analizarla con un método aproximado deberán hacerse tres suposiciones.

- a. Cuando una columna esta rígidamente unida a su cimentación no puede haber rotación en la base. Aun cuando el marco este sometido a cargas laterales. Si la viga en las partes superiores de las columnas es muy rígida y esta rígidamente conectada a las columnas, las tangentes a estas últimas en los nodos permanecerán verticales.
- b. A la mitad de la altura de la columna, el momento será cero porque este cambia de ser un momento que causa tensión en un lado de la columna a ser un momento que causa tensión en el otro lado.
- c. La fuerza cortante horizontal se divide de igual manera entre las dos columnas en el plano de contradeflexión.

Si las bases de las columnas se suponen simplemente apoyadas, es decir, articuladas, los puntos de contraflexión se presentarán en esas articulaciones. Si se suponen que las columnas son del mismo tamaño, la fuerza cortante horizontal se divide de igual manera entre las columnas.

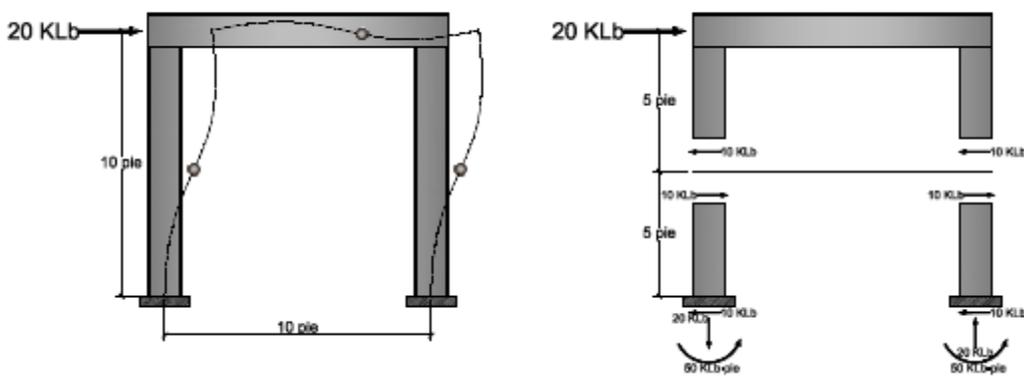


Figura 13 Análisis de portales

• **MÉTODO DE TRABAJO VIRTUAL**

Este método se puede dividir en el análisis de marcos y vigas estáticamente indeterminadas, análisis de armaduras con redundantes externas y análisis de armaduras con redundantes internas.

**Análisis De Marcos Y Vigas Estáticamente Indeterminadas**

Para analizar este tipo de estructuras se retira el soporte redundante, y reemplazarlo por una fuerza desconocida. Luego se aplica una fuerza virtual unitaria con todas las fuerzas ausentes. Posteriormente se escriben ecuaciones de momentos para las fuerzas reales y virtuales, usando los diagramas de cuerpo libre.

Con este método se puede encontrar la reacción redundante para una estructura con grado de hiperestaticidad igual a uno;

$$V_B = - \frac{\frac{1}{EI} \int_0^L M_0 m dx}{\frac{1}{EI} \int_0^L m^2 dx} \tag{3.3}$$

Donde  $M_0$  es el momento causado en elemento por las fuerzas primarias,  $m$  es el momento provocado por la fuerza virtual. Una vez obtenido el valor de la redundante, las otras reacciones se calculan usando las ecuaciones de equilibrio estático.

Este principio puede ampliarse a sistemas que contienen  $n$  reacciones redundantes. La generalización de las ecuaciones para redundantes múltiples es;

$$\begin{aligned} \delta_{01} + V_1 \delta_{11} + V_2 \delta_{12} + \dots + V_n \delta_{1n} &= 0 \\ \delta_{01} + V_1 \delta_{21} + V_2 \delta_{22} + \dots + V_n \delta_{2n} &= 0 \\ \vdots & \\ \delta_{0n} + V_1 \delta_{n1} + V_2 \delta_{n2} + \dots + V_n \delta_{2n} &= 0 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Estas ecuaciones pueden resolverse simultáneamente para obtener las fuerzas de reacción desconocidas.

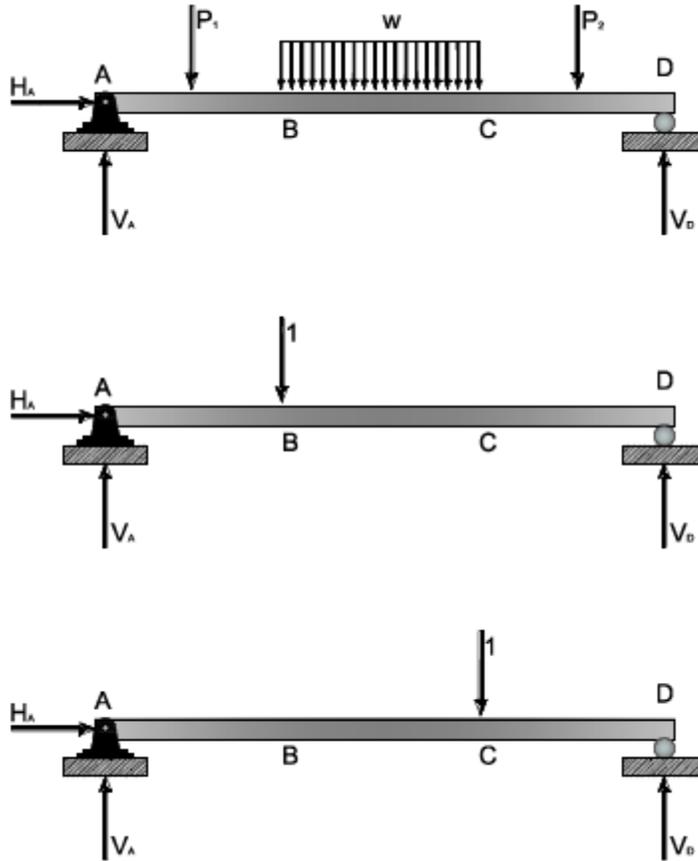


Figura 14 Análisis de marcos y vigas con el método de trabajo virtual

### Análisis De Armaduras Con Redundantes Externas

Las armaduras pueden ser estáticamente indeterminadas debido a reacciones redundantes, a elementos redundantes o a una combinación de ambos. El análisis siguiente estudiara una armadura con una redundante externa, para una armadura con un grado de indeterminación externa mayor se tendrán un sistema de ecuaciones de grado igual al número de redundantes

Luego del desarrollo matematico se tendrá;

$$V_B = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{(f' f_v) L}{AE} \right)_i}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{f_v^2 L}{AE} \right)_i} \tag{3.5}$$

En esta expresión el término  $f_v$  son las fuerzas virtuales en la armadura cuando la fuerza virtual en la reacción redundante es igual a 1. La fuerza  $f_A$  es la fuerza redundante.  $f'$  la fuerza en un miembro si causada por las fuerzas primarias.

Una vez calculada la magnitud de la reacción redundante, las otras fuerzas de reacción pueden evaluarse usando las ecuaciones de equilibrio estático. Luego pueden calcularse las fuerzas finales en cada miembro teniendo en cuenta la expresión;

$$f_n = f'_n + V_B(f_v)_n \tag{3.6}$$

### Análisis De Armaduras Con Redundantes Internas

Las armaduras con redundantes interiores pueden analizarse en forma semejante a la empleada en relación con la armadura con redundantes externas. Se supone que una barra es la redundante y la fuerza en ella se determina a partir de una ecuación de condición. La armadura sin esta barra redundante debe constituir una armadura estáticamente determinada y estable.

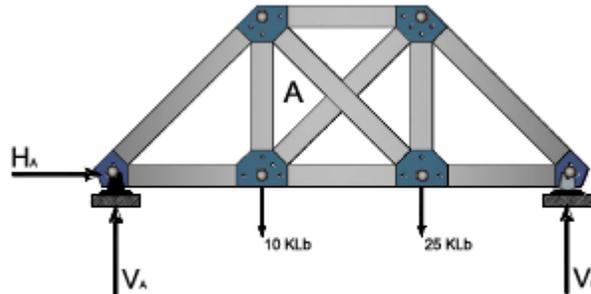


Figura 15 Análisis de armaduras con el método de trabajo virtual

La ecuación de condición que se debe usar es la deformación de la barra o miembro redundante. Realizando el cálculo matemático por último se tendrá;

$$f_A = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{(f' f_v) L}{AE} \right)_i}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{f_v^2 L}{AE} \right)_i} \tag{3.7}$$

En esta ecuación  $f$  son las fuerzas en cada una de las barras causadas por las fuerzas que actúan sobre la armadura. Las fuerzas  $f_v$  son las fuerzas virtuales en la armadura cuando la fuerza virtual en A es igual a 1. La fuerza  $f_A$  es la fuerza redundante.  $f'$  son las fuerzas en los miembros si la fuerza en la barra redundante es igual a cero.

Una vez que se ha calculado la fuerza en la barra redundante, puede encontrarse la fuerza en cualquier otro miembro. Estas fuerzas, son  $f_i = f'_i + f_A(f_v)_i$

• **MÉTODO PENDIENTE-DEFLEXIÓN**

(Nelson & McCormac, 2006)El profesor George A. Maney presentó en 1915 el método de análisis de pendiente-deflexión en una publicación sobre ingeniería estructural de la universidad de Minnesota. Su trabajo fue una aplicación de los estudios realizados por Manderla y Mohr sobre los esfuerzos secundarios.

El nombre de pendiente- deflexión se debe al hecho de que los momentos en los extremos de los miembros de estructuras estáticamente indeterminadas se expresan en términos de las rotaciones (o pendientes) y las deflexiones de los nodos. Para desarrollar las ecuaciones, se supone que los miembros tienen sección transversal constante entre cada par de nodos o apoyos.

Al desarrollar el método se tendrán las siguientes ecuaciones de momentos en los extremos (A y B) del miembro debido a la rotación de los nodos y desplazamientos.

$$M_{AB} = 2 \frac{EI}{L} (2\theta_A + \theta_B - 3\psi) \tag{3.8}$$

$$M_{BA} = 2 \frac{EI}{L} (\theta_A + 2\theta_B - 3\psi) \tag{3.9}$$

Los momentos de extremos finales son iguales a los momentos causados por la rotación y la deflexión de los nodos más los momentos de empotramiento que actúan en los extremos de la viga. Las ecuaciones de pendiente deflexión finales son entonces;

$$M_{AB} = 2 \frac{EI}{L} (2\theta_A + \theta_B - 3\psi) + FEM_{AB} \tag{3.10}$$

$$M_{BA} = 2 \frac{EI}{L} (\theta_A + 2\theta_B - 3\psi) + FEM_{BA} \tag{3.11}$$

En estas expresiones el término  $I/L$  se puede sustituir por el factor  $k$  llamado factor de rigidez,  $FEM_{AB}$  representan los momentos en los extremos supuestos.

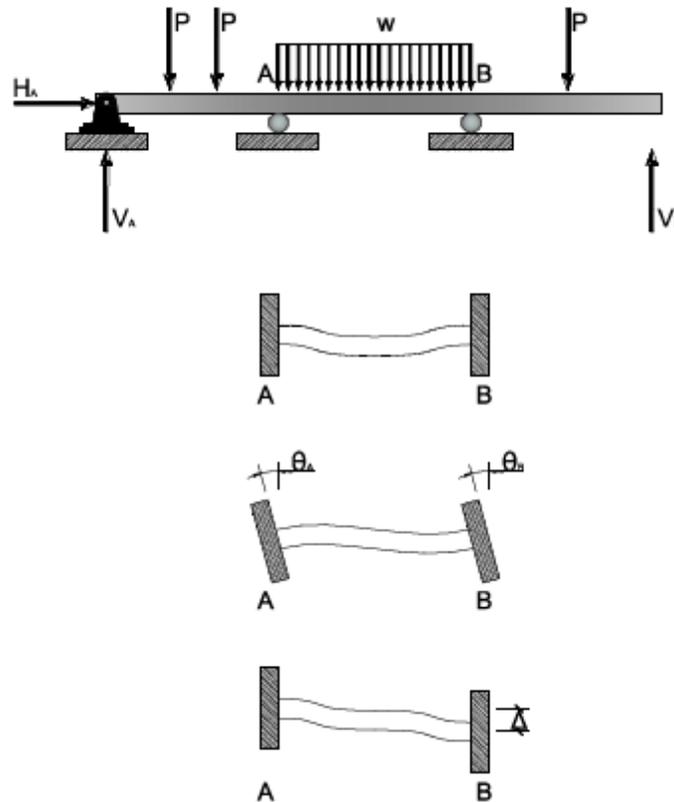


Figura 16 Método de pendiente-deflexión

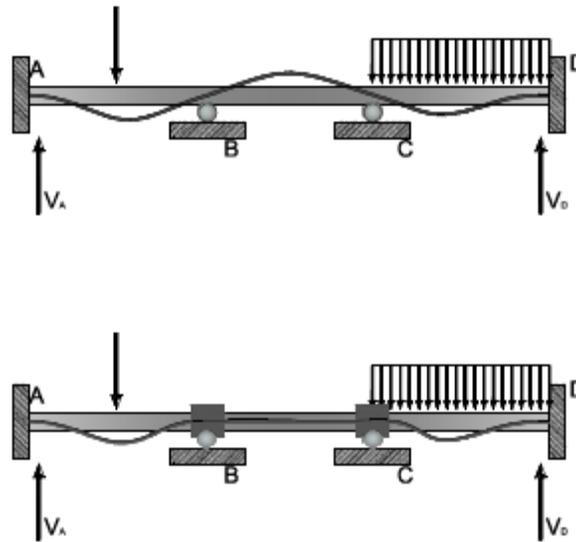
• **MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS**

En 1929 y 1930, el profesor Hardy Cross escribió artículos acerca del método de distribución de momentos, luego de haber enseñado ese procedimiento a sus alumnos en la universidad de Illinois desde el año de 1924.

Este método implica ciclos sucesivos de cálculo, en los que cada ciclo se acerca cada vez más a las respuestas exactas. Cuando los cálculos se prolongan hasta que los cambios en los números son muy pequeños, el método se considera como un método exacto de análisis. Si el número de ciclos se limita, el método resulta ser un excelente método aproximado. En el análisis se han hecho ciertas hipótesis;

- a. Las estructuras tienen miembros de sección transversales constantes en toda su longitud.
- b. Los nodos en que dos o más miembros se conectan no se trasladan.
- c. Los nodos en que los miembros se conectan pueden girar, pero los extremos de todos los miembros conectados a un nodo giran la misma cantidad que el nodo.

d. La deformación axial de los miembros se desprecia.



**Figura 17 Método de distribución de momentos**

Una vez calculados los momentos de empotramientos, el proceso de distribución de momentos pueden enunciarse brevemente como el cálculo de;

$$M = M_{fijo} + M_{\theta E} \tag{3.12}$$

Por lo general, los elementos estructurales conectados en un nodo tienen diferente rigidez a la flexión. Cuando un nodo se libera y comienza a girar debido al momento desequilibrado, la resistencia de la rotación varía de miembro a miembro. El giro que se presenta en el extremo de un elemento en razón directa al valor  $I/L$  del elemento. Cuanto mayor sea la rotación de un miembro, tanto menor será el momento que soporte. El momento resistido varía en razón inversa a la magnitud de la rotación, o bien, directamente con la cantidad  $I/L$ . Este último valor recibe el nombre de factor de rigidez  $k$ .

$$K = \frac{EI}{L} \tag{3.13}$$

Para determinar el momento desequilibrado que toma cada uno de los elementos concurrentes en un nodo, se suman los factores de rigidez para dicho nodo y se supone que cada miembro resiste una parte del momento desequilibrado igual a su valor  $K$  en el nodo. Estas fracciones del momento de desequilibrio total, resistidas por cada uno de los elementos, son los factores de distribución.

$$DF_i = \frac{K_i}{\sum K} \quad (3.14)$$

### 3.2.2. MÉTODOS MATRICIALES

Correspondientes a los métodos de discretización para el análisis estructural, dentro de estos se encuentran dos formulaciones, el método de las fuerzas y el método los desplazamientos o de rigidez. La diferencia entre estos métodos radica en las variables que toman como incógnitas y en la secuencia de aplicación de las relaciones de equilibrio y ley de comportamiento.

- **MÉTODO DE LAS FUERZAS**

(Martí Montrull, 2007) Las incógnitas en este método son fuerzas (esfuerzos o reacciones). Se define el grado de hiperestaticidad de una estructura, como la diferencia entre el número de fuerzas independientes desconocidas y el número de ecuaciones de equilibrio independientes, que ligan a estas incógnitas. Si el número de incógnitas es igual al número de ecuaciones, se dice que el problema es estáticamente determinado o isostático; en caso contrario, si el número de incógnitas es mayor que el número de ecuaciones, se dice que el problema es estáticamente indeterminado o hiperestático.

(Martí Montrull, 2007) En los problemas isostáticos, los esfuerzos se obtienen directamente aplicando las condiciones de equilibrio. Una vez obtenidos los esfuerzos, las deformaciones se obtienen a partir de la Ley de comportamiento del material, y los desplazamientos a partir de las ecuaciones de compatibilidad.

(Martí Montrull, 2007) En los problemas hiperestáticos no es posible seguir un proceso secuencial similar al anterior, debiendo emplearse conjuntamente las relaciones de equilibrio, compatibilidad y ley de comportamiento. El proceso de análisis en este método se inicia aplicando las condiciones de equilibrio y expresando las fuerzas de la estructura en función de las fuerzas incógnita; a continuación, introduciendo estas fuerzas en la ley de comportamiento, se tienen las deformaciones en función de las fuerzas incógnitas; por último, sustituyendo las deformaciones en las ecuaciones de compatibilidad se llega a un sistema de ecuaciones de compatibilidad con las fuerzas como incógnitas. Una vez obtenidas las fuerzas incógnitas, el proceso para obtener las deformaciones y los desplazamientos es el mismo de los problemas isostáticos.

- **MÉTODO DE RIGIDEZ O DE LOS DESPLAZAMIENTOS**

(Oyarzo, 1998)El método de rigidez, se usa en su forma básica en el análisis de estructuras lineales y elásticas; aunque se puede adaptar en el análisis de estructuras no lineales.

(Oyarzo, 1998)El método directo de la rigidez es un procedimiento organizado y conceptualmente muy sencillo, para el análisis de todos los tipos de estructuras, el cual se introduce con facilidad en computadoras, usando planteamientos matriciales. El método de rigidez utiliza ecuaciones fundamentales que se derivan del principio de superposición, las incógnitas son los desplazamientos de los nudos de la estructura. Por lo tanto, el número de incógnitas que deben calcularse, es igual al grado de indeterminación cinemática.

(Tena Colunga, 2007)Las incógnitas en este método son los desplazamientos en puntos de la estructura. Se define el grado de libertad de una estructura, como el número mínimo de desplazamientos desconocidos, a partir de los cuales pueden obtenerse los desplazamientos en cualquier otro punto de la estructura.

(Tena Colunga, 2007)El proceso de análisis en este método se inicia aplicando la condición de compatibilidad y expresando las deformaciones en función de los desplazamientos, a continuación, mediante la ley de comportamiento, se obtienen las tensiones (esfuerzos) en función de los desplazamientos; por último, sustituyendo las tensiones en las condiciones de equilibrio, se llega a un sistema de ecuaciones de equilibrio con los desplazamientos como incógnitas.

(Tena Colunga, 2007)Una vez obtenidos los desplazamientos, las deformaciones se obtienen a partir de las condiciones de compatibilidad y las tensiones a partir de la ley de comportamiento del material.

## **Calculo De Los Desplazamientos**

### ***Estructura fija***

(Oyarzo, 1998)Consiste en obtener una estructura cinemáticamente determinada; alternando la estructura real de modo tal, que todos los desplazamientos desconocidos (traslación y rotaciones de nudos) sean cero, impidiendo así que los nudos de la estructura tengan desplazamiento de cualquier clase.

### ***Análisis de estructura fija sujeta a cargas***

(Oyarzo, 1998)Todas las cargas que producen reacciones internas, excepto aquellas que corresponden a un desplazamiento de nudo desconocido, se consideran aplicadas a la estructura fija, las diversas acciones en la estructura son evaluadas. Las acciones más importantes que deben determinarse son las acciones que corresponden a los desplazamientos desconocidos.

**Análisis de la estructura fija para desplazamientos unitarios**

(Oyarzo, 1998) Se deben determinar las acciones en la estructura fija, debido a los valores unitarios de los desplazamientos de nudo desconocidos (coeficientes de rigidez  $k$ ).

**Determinación de desplazamientos**

(Oyarzo, 1998) Utilizando el principio de superposición de efectos, se define que las acciones aplicadas a la estructura real, en dirección a las deformaciones desconocidas, la cual será equivalente a:

$$Q_D = Q_{DL} + KD \tag{3.15}$$

Cada uno de los componentes de esta ecuación, representan acciones en la estructura a analizar, generalizando el análisis se tiene que:

$$Q_{Dn} = Q_{DLn} + K_n D_n \tag{3.16}$$

Donde,  $n$  representa el número de desplazamientos desconocidos que se van a analizar en la estructura y es igual a  $n_k$ .

En general, estos vectores tendrán tantos renglones como existan desplazamientos de nudos desconocidos. Por lo tanto, si  $n_k$  es el número de desplazamientos desconocidos, el orden del vector de rigidez  $k$  será  $n_k * n_k$  en tanto que  $Q_D, Q_{DL}$  y  $D$  son vectores de orden  $n_k * 1$ .

(Oyarzo, 1998) Para hallar los desplazamientos se despeja la variable  $D_n$  de la ecuación anterior, teniendo en cuenta que esta ecuación es vectorial (matricial) de donde:

$$D_n = K_n^{-1} [Q_{Dn} - Q_{DLn}] \tag{3.17}$$

**Calculo De Reacciones Y Acciones De Extremo**

(Hernández Monzón, 1996) Una vez encontrados los desplazamientos de nudo, es necesario determinar las acciones de extremo y las reacciones de la estructura, para lo cual existen dos procedimientos:

- A. Obtener las acciones de extremo, considerando consecutivamente cada miembro en particular de la estructura, efectuando cálculos separados para cada miembro, una vez encontrados los desplazamientos de nudo.

B. Efectuar los cálculos de modo sistemático, simultáneamente con los cálculos para encontrar los desplazamientos.

(Hernández Monzón, 1996) El segundo acercamiento para encontrar acciones de extremo y reacciones es apropiado, sin embargo, para cálculos manuales debido a que es sistemático puede generalizarse fácilmente.

Las matrices de acciones en los extremos de los miembros y reacciones, en la estructura real, se denominan  $Q_M$  y  $Q_R$  respectivamente.

(Hernández Monzón, 1996) En la estructura fija a las cargas, las matrices de acciones de extremo y reacciones correspondientes a  $Q_M$  y  $Q_R$  se denominarán  $Q_{ML}$  y  $Q_{RL}$  respectivamente. Debe notarse de nuevo que cuando se haga cualquier referencia a las cargas que actúan sobre la estructura fija, se supone que todas las cargas reales se toman en consideración, excepto aquellas que corresponden a un desplazamiento desconocido.

Las matrices  $Q_M$  y  $Q_{ML}$ , son de orden  $m * 1$ , suponiendo que  $m$ , representa el número de acciones de extremo; de igual modo, las matrices  $Q_R$  y  $Q_{RL}$ , son de orden  $r * 1$ , en donde  $r$  representa el número de reacciones.

(Oyarzo, 1998) En la estructura fija a desplazamientos unitarios, las matrices de acciones de extremo y reacciones se denominan  $Q_{MD}$  y  $Q_{RD}$  respectivamente.

(Oyarzo, 1998) En el caso general las matrices  $Q_{MD}$  y  $Q_{RD}$  son de orden  $m * n_k$  y  $r * n_k$ . Las ecuaciones de superposición, para las acciones de extremo y reacciones en la estructura real pueden expresarse ahora en forma matricial como:

$$\begin{aligned} Q_M &= Q_{ML} + Q_{MD}D \\ Q_R &= Q_{RL} + Q_{RD}D \end{aligned} \tag{3.18}$$

Al resolver las dos ecuaciones anteriores y la ecuación  $D_n = K_n^{-1}[Q_{Dn} - Q_{DLn}]$ , se obtendrán desplazamientos, acciones de extremo y reacciones de la estructura; constituyendo las tres ecuaciones de superposición del método de rigidez.

## Convención De Signos

### *En extremo del miembro*

(Hernández Monzón, 1996) Se consideraran como positivos si la dirección es la misma de la figura mostrada:

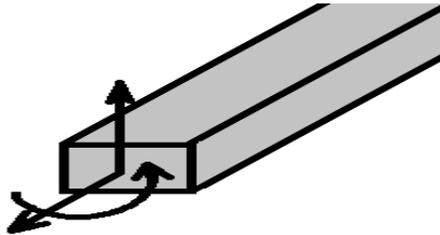


Figura 18 Convención de signos en el extremo del miembro

### *Cargas internas en nudos*

(Hernández Monzón, 1996) De los extremos del miembro, las acciones son transmitidas al nudo y si toman la dirección presentada en la figura serán positivos.

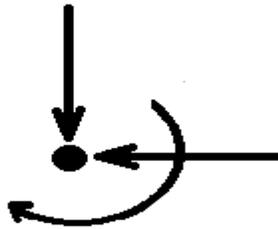


Figura 19 Convención de signos de cargas internas en nudos

### *Cargas externas sobre un nudo*

(Hernández Monzón, 1996) Correspondiente a momentos concentrados y cargas puntuales se toman con signos positivos si la dirección de la figura adjunta; al darse sentido contrario de lo especificado se tomara con signo negativo.



Figura 20 Convención de signos de cargas externas en nudos

### 3.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE RIGIDEZ EN ESTRUCTURAS PLANAS

(Hibbeler, 1997) La aplicación del método de las rigideces requiere subdividir la estructura en una serie de elementos finitos e identificar sus puntos extremos como nodos. Se determinan las propiedades de fuerza-desplazamiento de cada elemento y luego se relacionan entre sí mediante las ecuaciones de equilibrio planteadas en los nodos. Esas relaciones, para todos los miembros de la estructura, se agrupan luego en lo que se denomina matriz  $K$  de rigidez de la estructura. Una vez establecida ésta, los desplazamientos desconocidos de los nodos pueden determinarse para cualquier carga dada en la estructura. Cuando se conocen esos desplazamientos, las fuerzas externas e internas en la estructura pueden calcularse mediante las relaciones fuerza-desplazamiento para cada miembro.

#### 3.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

- IDENTIFICACIÓN DE MIEMBROS Y NODOS

(Hibbeler, 1997) Al aplicar el método de rigidez es necesario identificar los elementos o miembros de la estructura y sus nodos. Diversos textos usan un número encerrado en un cuadrado para identificar cada miembro y un número encerrado en un círculo para identificar los nodos. Los extremos cercano y alejado de un miembro se identifican recurriendo a una flecha a lo largo del miembro dirigida hacia el extremo alejado, tal y como se ilustra en la figura.

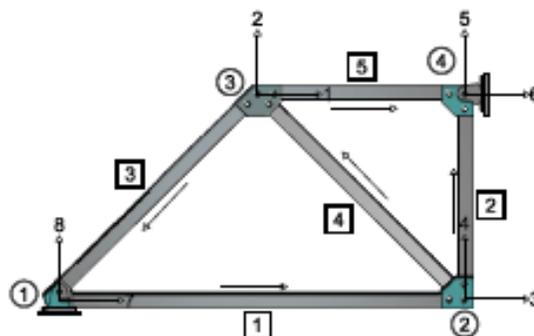
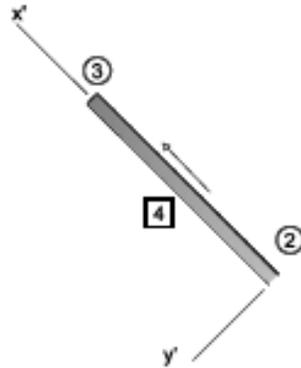


Figura 21 Identificación de miembros y nodos de estructuras

- COORDENADAS DE MIEMBROS Y GLOBALES

(Hibbeler, 1997) Como las cargas y los desplazamientos son cantidades vectoriales, es necesario establecer un sistema para especificar su sentido correcto de dirección. A menudo se usan dos sistemas coordinados; un sistema coordinado global o de la estructura, usando ejes  $x, y$ , especificará el sentido de

cada una de las componentes externas de la fuerza y desplazamiento en los nodos y un sistema coordenado local o de miembro se usará en cada miembro en especificar el sentido de sus desplazamientos y cargas internas. Este sistema se identifica usando ejes  $x', y'$  con origen en el nodo cercano y el eje  $x'$  señalando hacia el extremo alejado.



**Figura 22 Coordenadas de miembros**

- **GRADOS DE LIBERTAD**

(Hibbeler, 1997) Los grados de libertad no restringidos de una estructura representan las incógnitas principales en el método de la rigidez y por tanto deben ser identificados. En las aplicaciones, cada grado de libertad debe especificarse en la estructura usando un número de código, mostrado en el nudo o nodo y referido a su dirección coordenada global positiva por medio de una flecha.

(Hibbeler, 1997) El método de identificación de los grados de libertad refiere que los números de códigos más bajos se usaran siempre para identificar los desplazamientos desconocidos (grados de libertad no restringidos) y los números de códigos más altos se usaran para identificar los desplazamientos conocidos (grados de libertad restringidos). La razón para la selección de este método de identificación tiene que ver con la conveniencia de subdividir después la matriz de rigidez de la estructura, de modo que los desplazamientos desconocidos puedan encontrarse de la manera más directa posible.

Los grados de libertad por cada nodo esta en dependencia del tipo de estructura que se pretenda analizar ya sea una armadura plana, una viga o bien un marco plano.

### 3.3.2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACION DE LA MATRIZ GLOBAL

(Hibbeler, 1997) Una vez designados los diversos elementos de la estructura y códigos planteados, se procede a la determinación de una matriz de rigidez de miembro  $K'$  para cada miembro de la estructura. Por la diferencia de dirección de los elementos de la estructura se debe desarrollar un medio para transformar esas cantidades de cada sistema coordenado local  $x', y'$  del miembro a un sistema coordenado global  $x, y$  de la estructura. Esto se logra usando matrices de transformación de fuerzas y desplazamientos.

(Hibbeler, 1997) Luego los elementos de la matriz de rigidez de cada miembro pueden transformarse de coordenadas locales a globales y generar la matriz de rigidez de la estructura. Para realizar la transformación existen dos maneras. En el primero se debe construir una matriz  $K_c$  de rigidez de elemento compuesto que representa las relaciones carga-deflexión para todos los miembros de la estructura en términos de coordenadas locales. Posteriormente se desarrolla una matriz de transformación de la estructura y transformar  $K_c$  de sus coordenadas locales a globales, obteniendo así la matriz  $K$ . Este método presenta la desventaja de no funcionar tan bien con computadora debido a la singularidad de  $K$  para cada estructura.

El otro método alternativo se le denomina procedimiento directo de la rigidez; esto es, cada matriz de rigidez de miembro se transformará separadamente de coordenadas locales a globales. Cuando las matrices de rigidez globales para todos los miembros de la estructura hayan sido determinadas, la matriz de rigidez de la estructura  $K$  se formara ensamblando entre sí las matrices de rigidez de los miembros.

Usando  $K$ , se puede determinar los desplazamientos nodales en primera instancia y luego las reacciones y las fuerzas en los miembros.

- **PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS MATRICES DE RIGIDEZ**

(Hernández Monzón, 1996) La ecuación general de rigidez se escribe simbólicamente como:

$$A_D = KD \tag{3.19}$$

(Hernández Monzón, 1996) El orden en que se anotan las acciones modales de la matriz  $K$  debe ser el mismo al anotar los desplazamientos correspondientes en la matriz  $D$ . Así si la primera acción nodal anotada en la matriz  $A_D$  es  $X_1$ , entonces el primer desplazamiento anotado en la matriz  $D$  debe ser  $D_1$ , etc. Si a lo largo de

todo el análisis se conserva en este orden, las matrices de rigidez tendrán las siguientes características:

- a. Serán simétricas respecto a la diagonal, o sea  $K_{ij} = K_{ji}$ . Una prueba de esta característica puede determinarse a partir de la ley de la deformaciones reciprocas del teorema de Maxwell.
- b. La matriz completa de rigidez, ya sea para un solo elemento o toda una estructura es singular. Sin embargo, si se especifican suficientes condiciones de frontera, de manera que la estructura sea estable (y la matriz de rigidez se modifica para reflejar esas condiciones), la matriz resultante deberá ser no singular.
- c. Los coeficientes de rigideces en la diagonal son siempre positivos. La razón de esta característica tiene que ver con el hecho de que los coeficientes de rigidez en la diagonal principal representan, cada una de las acciones necesarias en un nodo para producir un desplazamiento correspondiente en ese nodo. Una acción negativa necesaria para producir un desplazamiento positivo es contrario al comportamiento observado de las estructuras.

**3.3.3. MÉTODO DE RIGIDEZ APLICADO AL ANÁLISIS DE ARMADURAS**

A continuación se presenta los fundamentos matemáticos empleados para la determinación de desplazamientos nodales, fuerzas externas e internas de los miembros, es decir el análisis estructural de una armadura.

• **MATRIZ DE RIGIDEZ DE UN MIEMBRO DE ARMADURA**

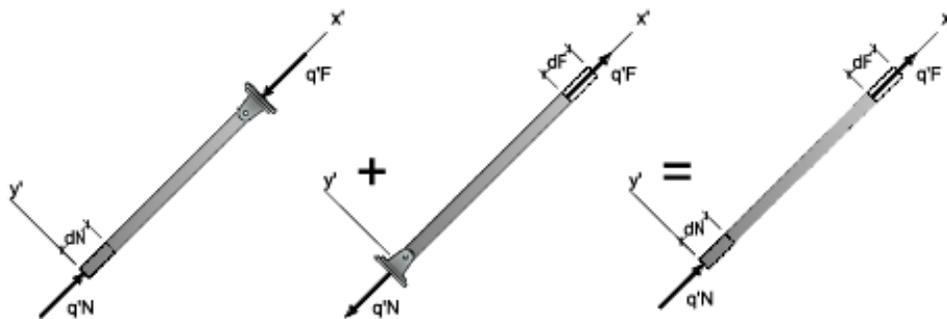
(Hibbeler, 1997)El establecimiento de la matriz de rigidez de cada elemento de la armadura se realiza en coordenadas locales  $x', y'$ . Esta matriz representará las relaciones cargas-desplazamiento entre los extremos del miembro cuando éste está sometido a sus varios desplazamientos y cargas.

(Hibbeler, 1997)Un miembro de armadura sólo puede desplazarse a lo largo de su eje (eje  $x'$ ) ya que las cargas están aplicadas a lo largo de este eje. Por tanto son posibles dos desplazamientos independientes. En la figura, se impone el desplazamiento positivo  $d_N$  sobre el extremo cercano del miembro mientras que el extremo lejano se mantiene articulado. Las fuerzas desarrolladas en los extremos del miembro son:

$$q'_N = \frac{AE}{L} d_N \quad q'_F = -\frac{AE}{L} d_N \tag{3.20}$$

Es notorio que  $q'_F$  es negativa ya que por equilibrio actúa en sentido  $x'$  negativo. Igualmente, un desplazamiento positivo  $d_F$  del extremo alejado, manteniendo al extremo cercano articulado, conduce la fuerza del miembro.

$$q''_N = -\frac{AE}{L} d_F \quad q''_F = \frac{AE}{L} d_F \tag{3.21}$$



**Figura 23 Relaciones carga-desplazamiento en los extremos de miembro**

Aplicando el principio de superposición, el efecto resultante de  $d_N$  y  $d_F$  es:

$$q_N = \frac{AE}{L} d_N - \frac{AE}{L} d_F \tag{3.22}$$

$$q_F = \frac{AE}{L} d_F - \frac{AE}{L} d_N \tag{3.23}$$

Estas ecuaciones de carga-desplazamiento pueden escribirse en forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} q_N \\ q_F \end{bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_N \\ d_F \end{bmatrix} \tag{3.24}$$

O bien

$$q = k' d \tag{3.25}$$

Donde

$$k' = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.26}$$

(Hibbeler, 1997)Esta matriz  $k'$  se llama matriz de rigidez de miembro y es de la misma forma para cada miembro de la armadura. Los cuatro elementos que la componen se llaman coeficientes de influencia de rigidez del miembro  $k'_{ij}$ . Físicamente,  $k'_{ij}$  representa la fuerza en el nodo  $i$  cuando se impone un desplazamiento unitario sólo en el nodo  $j$ . Por ejemplo, si el nudo alejado se mantiene fijo, la fuerza en el nudo cercano, cuando este nudo sufre un desplazamiento  $d_N = 1$ , se determina con  $i = j = 1$  y con la ecuación  $q_N = \frac{AE}{L} d_N - \frac{AE}{L} d_F$ ;

$$q_N = k'_{11} = \frac{AE}{L} \tag{3.27}$$

Igualmente, la fuerza en el nudo alejado se determina con  $i = 2, j = 1$ , de modo que;

$$q_N = k'_{21} = -\frac{AE}{L} \tag{3.28}$$

(Hibbeler, 1997)Estos términos representan la primera columna de la matriz de rigidez del miembro. De la misma manera, la segunda columna de esta matriz representa las fuerzas en el miembro cuando sólo el extremo alejado de éste sufre un desplazamiento unitario. Del desarrollo de la ecuación de la matriz  $k'$ , se observa que tanto el equilibrio como la compatibilidad de las deformaciones del miembro se satisfagan.

- **MATRICES DE TRANSFORMACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS Y FUERZAS**

(Hibbeler, 1997)Como una armadura está compuesta de muchos miembros (elementos), se debe desarrollar un método para transformar las fuerzas  $q$  de miembro y los desplazamientos  $d$  de miembro definidos en coordenadas locales a un sistema de coordenadas  $x, y$  globales o de la estructura, para toda la armadura. Considerando la  $x$  positiva hacia la derecha y la  $y$  positiva hacia arriba. Los ángulos más pequeños entre los ejes  $x, y$  globales positivos y el eje local  $x'$  positivo se designan con  $\theta_x$  y  $\theta_y$  como se muestra en la Figura 24. Los cosenos de esos ángulos se usarán en el análisis matricial. Estos se identifican con  $\lambda_x = \cos \theta_{x'}$   $\lambda_y = \cos \theta_{y'}$ . Los valores numéricos para  $\lambda_x$  y  $\lambda_y$  pueden generarse fácilmente por computadora una vez que se hayan especificado las coordenadas globales de los extremos cercanos  $N$  y alejado  $F$  del miembro. Considerando un miembro  $NF$  de la armadura mostrada en la figura. Las coordenadas de  $N$  y  $F$  se miden desde el origen del sistema coordenado global, partiendo de esto se tiene que:

$$\lambda_x = \cos \theta_{x'} = \frac{X_F - X_N}{L} = \frac{X_F - X_N}{\sqrt{(X_F - X_N)^2 + (Y_F - Y_N)^2}} \tag{3.29}$$

$$\lambda_y = \cos \theta_{y'} = \frac{Y_F - Y_N}{L} = \frac{Y_F - Y_N}{\sqrt{(X_F - X_N)^2 + (Y_F - Y_N)^2}} \tag{3.30}$$

Los signos algebraicos en esas ecuaciones tomaran en cuenta automáticamente a los miembros que estén orientados en otros cuadrantes del plano  $x - y$ .

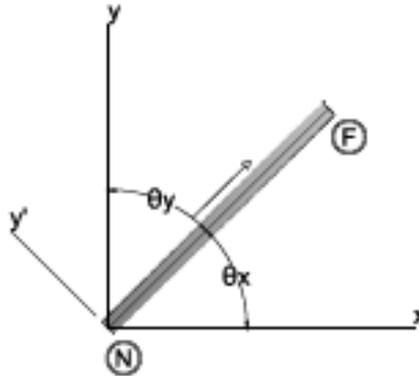
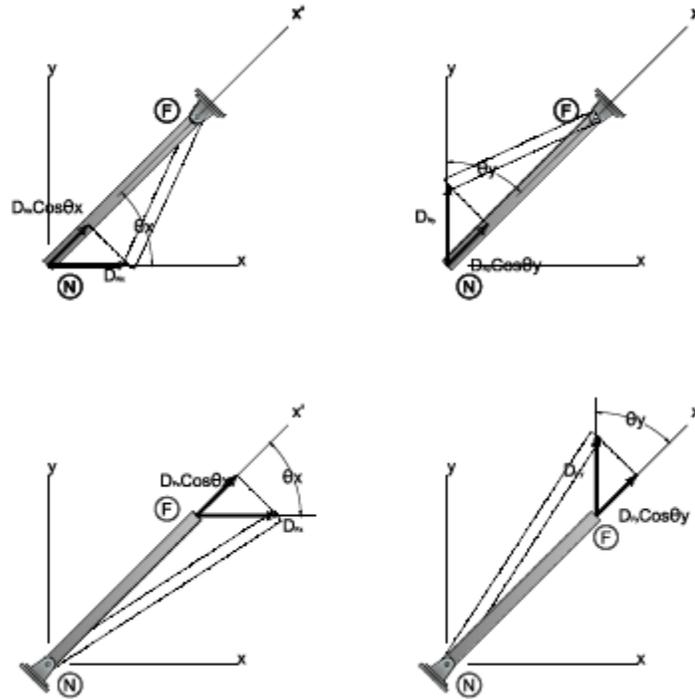


Figura 24 Extremos cercano y alejado de miembros

- **MATRIZ DE TRANSFORMACION DE DESPLAZAMIENTOS**

(Hibbeler, 1997) En coordenadas globales, cada extremo del miembro puede tener dos grados de libertad o desplazamientos independientes; o sea, el nudo  $N$  tiene  $D_{Nx}$  y  $D_{Ny}$  y el nudo  $F$  tiene  $D_{Fx}$  y  $D_{Fy}$ . Considerando por separado cada uno de esos desplazamientos globales, para determinar cada componente de desplazamiento a lo largo del miembro. Cuando el extremo alejado se mantiene articulado y al extremo cercano se le da un desplazamiento global  $D_{Nx}$ , el desplazamiento correspondiente al largo de la barra es  $D_{Nx} \cos \theta_x$ . De la misma manera, un desplazamiento global  $D_{Ny}$  ocasionará que la barra se desplace  $D_{Ny} \cos \theta_y$  a lo largo del eje  $x'$ . El efecto de ambos desplazamientos globales es entonces

$$d_N = D_{Nx} \cos \theta_x + D_{Ny} \cos \theta_y \tag{3.31}$$



**Figura 25 Transformación de desplazamientos**

De manera similar, los desplazamientos positivos  $D_{Fx}$  y  $D_{Fy}$  aplicados sucesivamente en el extremo alejado  $F$  mientras el extremo cercano se mantiene articulado, ocasionarán que el miembro se desplace

$$d_F = D_{Fx} \cos \theta_x + D_{Fy} \cos \theta_y \tag{3.32}$$

Si  $\lambda_x = \cos \theta_x$  y  $\lambda_y = \cos \theta_y$  representan los cosenos directores del miembro, entonces

$$d_N = D_{Nx} \lambda_x + D_{Ny} \lambda_y \tag{3.33}$$

$$d_F = D_{Fx} \lambda_x + D_{Fy} \lambda_y \tag{3.34}$$

Escrito de forma matricial se tiene que:

$$\begin{bmatrix} d_N \\ d_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{Nx} \\ D_{Ny} \\ D_{Fx} \\ D_{Fy} \end{bmatrix} \tag{3.35}$$

O bien:

$$d = TD \tag{3.36}$$

Donde

$$T = \begin{bmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_y \end{bmatrix} \tag{3.37}$$

En la derivación anterior,  $T$  transforma los cuatro desplazamientos globales  $x, y, D$  en los dos desplazamientos  $d$  locales  $x'$ . Por ello, a  $T$  se le denomina Matriz de Transformación de desplazamientos.

• **MATRIZ DE TRANSFORMACION DE FUERZAS**

(Hibbeler, 1997) Considerando la aplicación de la fuerza  $q_N$  al extremo cercano del miembro, manteniendo el extremo alejado articulado, las componentes globales de la fuerza  $q_N$  en  $N$  son

$$Q_{Nx} = q_N \cos \theta_x \qquad Q_{Ny} = q_N \cos \theta_y \tag{3.38}$$

De la misma manera, si se aplica  $q_F$  a la barra, las componentes globales de la fuerza en  $F$  son

$$Q_{Fx} = q_F \cos \theta_x \qquad Q_{Fy} = q_F \cos \theta_y \tag{3.39}$$

Mediante los cosenos directos  $\lambda_x = \cos \theta_x$  y  $\lambda_y = \cos \theta_y$  estas ecuaciones se expresan como

$$Q_{Nx} = q_N \lambda_x \qquad Q_{Ny} = q_N \lambda_y \tag{3.40}$$

$$Q_{Fx} = q_F \lambda_x \qquad Q_{Fy} = q_F \lambda_y \tag{3.41}$$

Escrito de forma matricial

$$\begin{bmatrix} Q_{Nx} \\ Q_{Ny} \\ Q_{Fx} \\ Q_{Fy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_x & 0 \\ \lambda_y & 0 \\ 0 & \lambda_x \\ 0 & \lambda_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_N \\ q_F \end{bmatrix} \tag{3.42}$$

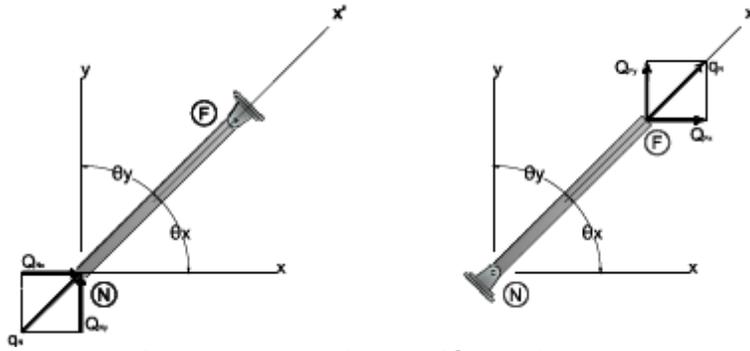


Figura 26 Transformación de fuerzas

O bien

$$Q = T^T q \tag{3.43}$$

Donde

$$T^T = \begin{bmatrix} \lambda_x & 0 \\ \lambda_y & 0 \\ 0 & \lambda_x \\ 0 & \lambda_y \end{bmatrix} \tag{3.44}$$

En este  $T^T$  transformara las dos fuerzas  $q$  locales  $x'$  que actúan en los extremos de los miembros en las cuatro componentes  $Q$  globales  $(x, y)$ . Esta matriz de transformación de fuerzas es la transpuesta de la matriz de transformación de desplazamientos.

• **MATRIZ GLOBAL DE UN MIEMBRO**

Considerando los principios de los acápites precedentes, se presenta la determinación de la matriz de rigidez para un miembro que relaciona las componentes globales de fuerza  $Q$  del miembro con sus desplazamientos globales  $D$ . Si se sustituye en la ecuación  $q = k'd$  la ecuación  $d = TD$ , se podrá determinar las fuerzas  $q$  del miembro en términos de los desplazamientos globales  $D$  en sus puntos extremos:

$$q = k'TD \tag{3.45}$$

Sustituyendo esta ecuación en la ecuación  $Q = T^T q$  se obtiene el resultado final

$$Q = T^T k'TD \tag{3.46}$$

$$Q = kD \tag{3.47}$$

Donde:

$$k = T^T k' T \tag{3.48}$$

(Oyarzo, 1998) La matriz  $k$  es la matriz de rigidez del miembro en coordenadas globales. Como  $T^T, T$  y  $k'$  son conocidas, se tiene que:

$$k = \begin{bmatrix} \lambda_x & 0 \\ \lambda_y & 0 \\ 0 & \lambda_x \\ 0 & \lambda_y \end{bmatrix} \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_y \end{bmatrix} \tag{3.49}$$

Efectuando las operaciones matriciales, resulta

$$k = \frac{AE}{L} \begin{matrix} & N_x & N_y & F_x & F_y \\ \begin{bmatrix} \lambda^2_x & \lambda_x \lambda_y & -\lambda^2_x & -\lambda_x \lambda_y \\ \lambda_x \lambda_y & \lambda^2_y & -\lambda_x \lambda_y & -\lambda^2_y \\ -\lambda^2_x & -\lambda_x \lambda_y & \lambda^2_x & \lambda_x \lambda_y \\ -\lambda_x \lambda_y & -\lambda^2_y & \lambda_x \lambda_y & \lambda^2_y \end{bmatrix} & \begin{matrix} N_x \\ N_y \\ F_x \\ F_y \end{matrix} \end{matrix} \tag{3.50}$$

La localización de cada elemento en esta matriz simétrica de  $4 \times 4$  está relacionada con cada grado de libertad global asociado con el extremo cercano  $N$ , seguido del extremo alejado  $F$ . Esto se indica por la notación de números codificados a lo largo de renglones y columnas, esto es  $N_x, N_y, F_x, F_y$ , igual que  $k', k$  representa aquí las relaciones fuerza desplazamiento para el miembro cuando las componentes de fuerza y desplazamiento en los extremos del miembro están dadas en las direcciones globales o direcciones  $x, y$ . Cada uno de los términos de la matriz es por tanto un coeficiente de influencia de rigidez  $k_{ij}$  que denota la componente de fuerza en  $x$  o en  $y$  en  $i$  necesaria para generar en  $j$  una componente de desplazamiento unitario en  $x$  o en  $y$ . En consecuencia, cada columna identificada de la matriz representa las cuatro componentes de fuerza desarrolladas en los extremos del miembro cuando el extremo identificado sufre un desplazamiento unitario relacionado con su columna en la matriz.

- **MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ARMADURA**

(Hibbeler, 1997) Una vez que todas las matrices de rigidez de miembro se han expresado en coordenadas globales, resulta necesario ensamblarlas en el orden apropiado para poder encontrar la matriz  $K$  de rigidez de la estructura para la armadura entera. Este proceso de combinar las matrices de miembro depende de una cuidadosa identificación de los elementos de cada matriz. Esto se hace designando los renglones y columnas de la matriz con los cuatro números de código  $N_x, N_y, F_x, F_y$  usados para identificar los dos grados de libertad globales que pueden presentarse en cada extremo del miembro. La matriz de rigidez de la estructura tendrá entonces un orden que será igual al número de códigos más alto asignado a la estructura, ya que éste representa el número de grados de libertad total para la estructura. Cuando se ensamblan la matrices  $k$ , cada elemento de  $K$  se colocara en su misma designación de renglón y columna en la matriz  $K$  de rigidez de la estructura. En particular cuando dos o más miembros están conectados en el mismo nodo o nudo, entonces algunos de los elementos de cada una de las matrices  $k$  se asignaran a la misma posición en la matriz  $K$ . Cuando esto ocurre, los elementos asignados a la posición común deben sumarse entre sí algebraicamente. La razón para esto es clara si se ve que cada elemento de la matriz  $k$  representa la resistencia del miembro a una fuerza aplicada en su extremo. De esta manera, al sumar esas resistencias en la dirección  $x$  o  $y$  al tiempo que se forma la matriz  $K$  es un simbolismo de la determinación de la resistencia total de cada nudo a un desplazamiento unitario en la dirección  $x$  o  $y$ .

- **APLICACIÓN DEL MÉTODO AL ANÁLISIS DE ARMADURAS**

(Hibbeler, 1997) Una vez que se ha formado la matriz de rigidez de la estructura, está puede ser usada para determinar los desplazamientos de los nudos, las reacciones externas y las fuerzas internas en los miembros. Para esto se asignan códigos menores para identificar los grados de libertad no restringidos, esto nos permitirá  $Q = KD$  de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} Q_k \\ Q_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_u \\ D_k \end{bmatrix} \tag{3.51}$$

Donde

$Q_k, D_k$  = Cargas y desplazamientos externos conocido; las cargas existentes sobre la armadura y los desplazamientos generalmente como generalmente como iguales a cero debido a las restricciones en los soportes tales como pasadores o rodillos.

$Q_u, D_u$  = Cargas y desplazamientos desconocidos; las cargas representan las reacciones desconocidas en los soportes, y los desplazamientos son en nudos donde el movimiento no está restringido en una dirección particular.

$K$  = Matriz de rigidez de la estructura, que se subdivide en formas compatible con la subdivisiones de  $Q$  y  $D$ .

Desarrollando la ecuación, se obtiene:

$$Q_k = K_{11}D_u + K_{12}D_k \tag{3.52}$$

$$Q_u = K_{21}D_u + K_{22}D_k \tag{3.53}$$

Con frecuencia  $D_k = 0$  ya que los soportes no se desplazan. Si esto es así, la ecuación de  $Q_k$  se convierte en:

$$Q_k = K_{11}D_u \tag{3.54}$$

(Hibbeler, 1997) Como los elementos en la matriz subdividida  $K_{11}$  representan la resistencia total en el nudo de una armadura a un desplazamiento unitario en la dirección  $x$  o  $y$  la ecuación anterior simboliza entonces el conjunto de todas las ecuaciones de equilibrio de fuerzas aplicadas a los nudos donde las cargas externas son cero o tiene un valor conocido ( $Q_k$ ). Despejando  $D_u$  se obtiene:

$$D_u = [K_{11}]^{-1}Q_k \tag{3.55}$$

De esta ecuación se obtiene una solución directa para todos los desplazamientos desconocidos de nudo, sustituyendo este resultado en la ecuación  $Q_u = K_{21}D_u + K_{22}D_k$ , con  $D_k = 0$ , se tendrá que:

$$Q_u = K_{21}D_u \tag{3.56}$$

De la cual se determinan las reacciones desconocidas en los soportes. Las fuerzas internas en los miembros pueden determinarse mediante la ecuación

$$q = k'TD \tag{3.57}$$

Desarrollando esta ecuación resulta:

$$\begin{bmatrix} q_N \\ q_F \end{bmatrix} = q_F \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{Nx} \\ D_{Ny} \\ D_{Fx} \\ D_{Fy} \end{bmatrix} \tag{3.58}$$

Como por equilibrio,  $q_N = -q_F$  sólo una de las fuerzas tiene que encontrarse. Aquí se determina  $q_F$ , aquella que ejerce tensión en el miembro.

$$q_F = q_F \begin{bmatrix} -\lambda_x & -\lambda_y & \lambda_x & \lambda_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{Nx} \\ D_{Ny} \\ D_{Fx} \\ D_{Fy} \end{bmatrix} \tag{3.59}$$

De acuerdo con la convención de signo asumida, si el resultado de esta ecuación es negativo, el miembro estará a compresión.

### 3.3.4. MÉTODO DE RIGIDEZ APLICADO AL ANÁLISIS DE VIGAS

- IDENTIFICACION DE NODOS Y MIEMBROS

(Oyarzo, 1998) Para aplicar el método de rigidez a vigas, se debe determinar, primeramente, como subdividir la estructura en sus componentes de elementos finitos. En general, los nodos de cada elemento se localizan en un soporte, una esquina o un nudo, en los que se aplicará una fuerza o donde va a determinarse el desplazamiento lineal o rotaciones en un punto (o nudo).

(Oyarzo, 1998) Para la identificación de los nodos, el número de elemento y los extremos cercanos y alejados de estos, se usan los códigos usados en el análisis de armaduras.

- COORDENADAS DE MIEMBRO Y GLOBALES

El sistema de coordenadas globales o de la estructura se identifican con el uso de ejes  $x, y, z$  que tienen generalmente su origen en un nodo y están posicionados de manera que todos los nodos en otros puntos tengan coordenadas positivas. Las coordenadas locales o de miembro  $x', y', z'$  tienen su origen en el extremo cercano de cada miembro y el eje  $x'$  positivo está dirigido hacia el extremo alejado.

- GRADOS DE LIBERTAD

Una vez identificado los miembros de la estructura y los nodos y que se ha establecido el sistema global de coordenadas, pueden determinarse los grados de libertad de la viga.

Si se desprecian los efectos de la fuerza axial y la fuerza cortante y se considera sólo deflexiones de vigas causadas por flexión, como en el análisis clásico, el tamaño de la matriz de rigidez de la estructura será algo pequeño. Además si la viga no posee volados de patín, o si los soportes no tienen un desplazamiento transversal por asentamientos, entonces cada nodo, si está localizado en un soporte, tiene sólo un grado de libertad, representado como un desplazamiento angular.

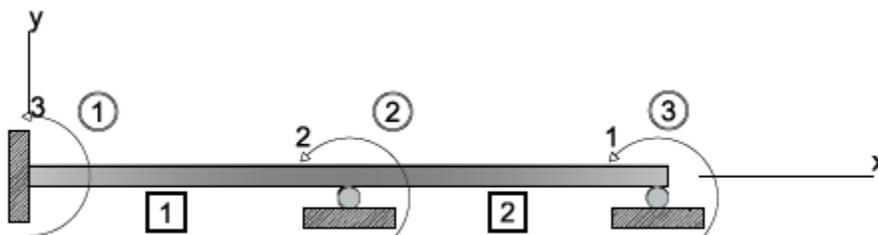


Figura 27 Elementos y grados de libertad de vigas

- **MATRIZ DE RIGIDEZ DE UN MIEMBRO DE UNA VIGA**

(Hibbeler, 1997) Si se establece que los soportes no sufren desplazamientos transversales, es decir, asentamientos, o si la viga no tienen un volado de patín, entonces, en general, cada uno de los soportes de la viga tendrá solo un grado de libertad, esto es, un desplazamiento angular. Siendo este el caso, la matriz de rigidez de una viga queda representada por cuatro elementos, que son;

$$k = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & \frac{4EI}{L} \\ \frac{2EI}{L} & \frac{2EI}{L} \end{bmatrix} \tag{3.60}$$

Esta matriz es equivalente a la matriz de rigidez del miembro en coordenadas locales,  $k'$  ya que las rotaciones no se transforman, esto es  $k = k'T$ .

- **MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL DE UNA VIGA**

Después de determinada cada matriz de rigidez de miembro e identificados los renglones y columnas con los números de códigos apropiados, ensamble las matrices para determinar la matriz de rigidez de la estructura  $K$ . como comprobación, las matrices de miembro y de la estructura deben ser simétricas.

- **DESPLAZAMIENTOS Y CARGAS**

Subdivida la matriz de rigidez según la ecuación mostrada;

$$\begin{bmatrix} Q_k \\ Q_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_u \\ D_k \end{bmatrix} \tag{3.61}$$

La cual desarrollada conduce a;

$$Q_k = K_{11}D_u + K_{12}D_k \tag{3.62}$$

$$Q_u = K_{21}D_u + K_{22}D_k \tag{3.63}$$

Estas ecuaciones expresan el equilibrio por fuerzas y momentos de cada nodo. Los desplazamientos conocidos  $D_u$  se determinan con la primera de las ecuaciones. Por medio de esos valores, las reacciones  $Q_u$  en los soportes se calculan con la segunda ecuación.

Finalmente, las cargas internas  $q$  en los extremos de los miembros pueden calcularse con la expresión:

$$q = k'TD \tag{3.64}$$

### 3.3.5. MÉTODO DE RIGIDEZ APLICADO AL ANÁLISIS DE MARCOS

- GRADOS DE LIBERTAD

(Hibbeler, 1997) Al derivar los métodos clásicos de análisis, se desprecia la deformación en los miembros de marcos causada por fuerza axial y fuerza cortante y se considera sólo el efecto de la flexión. Esto es justificable ya que las fuerzas axiales o cortantes, en general, no contribuyen en forma considerable a la deflexión de los miembros de un marco. Sin embargo, en el análisis más exacto de un marco se incorporan los desplazamientos por flexión y fuerza axial en el método de rigidez. En consecuencia, cada nodo de un miembro de un marco tendrá tres grados de libertad, cada uno de los cuales se identifica por medio de un número de código. Como en el caso de armaduras, los números de código más pequeños se usan para identificar los desplazamientos desconocidos o grados de libertad no restringidos y los números mayores se usan para identificar los desplazamientos conocidos o grados de libertad restringidos.

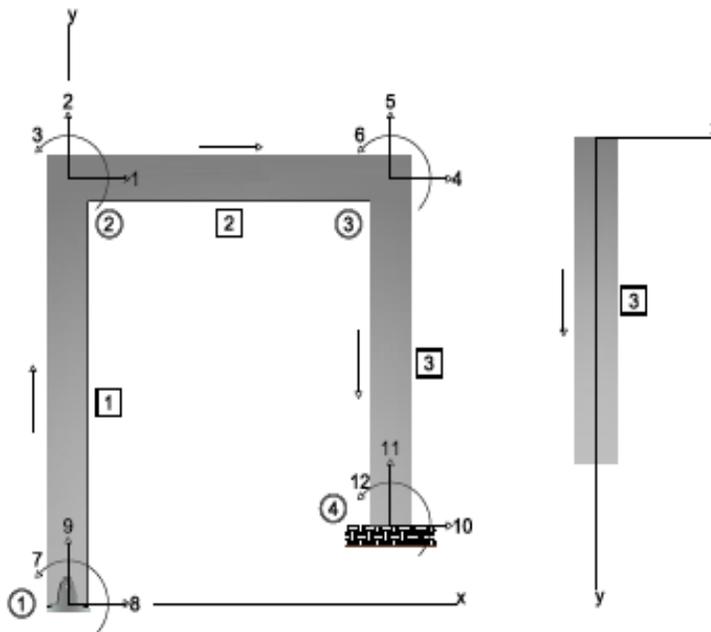


Figura 28 Miembros y grados de libertad de marco

- MATRIZ DE RIGIDEZ DE UN MIEMBRO DE UN MARCO

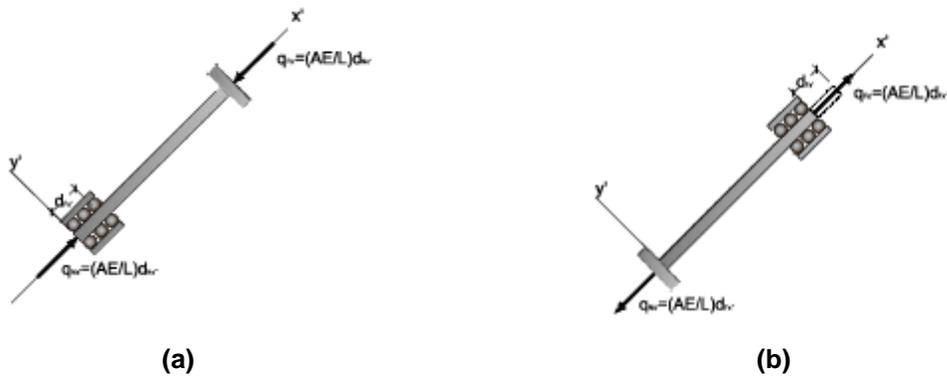
En referencia al desarrollo de la matriz de rigidez de un miembro de un marco, referido a un sistema de coordenadas locales  $x', y', z'$ . El origen se coloca en el extremo cercano  $N$  y el eje  $x'$  positivo se extiende hacia el extremo alejado  $F$ . En cada extremo de elemento hay tres reacciones, que consisten en fuerzas axiales  $q_{Nx'}$  y  $q_{Fx'}$ , en fuerzas cortantes  $q_{Ny'}$  y  $q_{Fy'}$  y momentos flexionantes  $q_{Nz'}$  y  $q_{Fz'}$ . Todas esas cargas actúan en las direcciones coordenadas positivas. En particular

$q_{Nz'}$  y  $q_{Fz'}$  son positivos en sentido contrario a las manecillas del reloj, esto según la regla de la mano derecha.

Los desplazamientos lineales y angulares asociados con esas cargas siguen también la misma convención de signo positivo. Imponiendo por separado esos desplazamientos y determinando las cargas que actúan en el miembro como consecuencia de cada desplazamiento, se tiene lo siguiente.

### Desplazamientos En $x'$

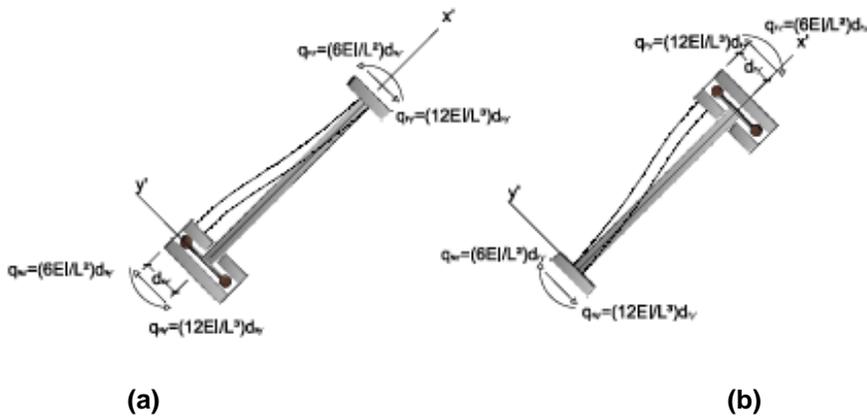
Si el miembro sufre un desplazamiento  $d_{Nx'}$ , o un desplazamiento  $Nx'$  se generan las fuerzas axiales en los extremos del miembro mostradas en la Figura 29.



(a) (b)  
**Figura 29 Desplazamientos en el eje  $x'$  del miembro de un marco**

### Desplazamientos En $y'$

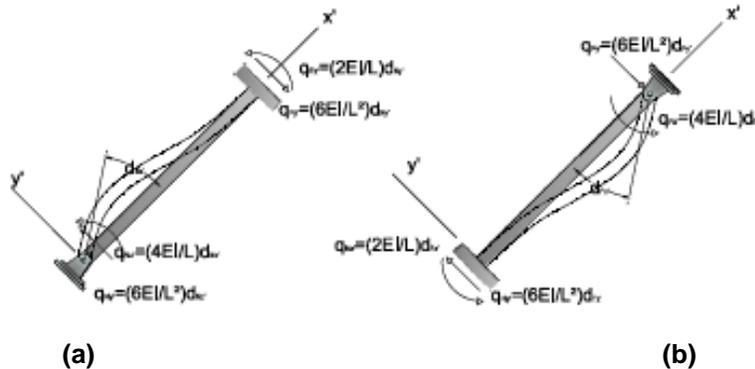
Las fuerzas cortantes y momentos flexionantes resultantes que se generan cuando se impone un desplazamiento positivo  $d_{Ny'}$  mientras todos los otros posibles desplazamientos están impedidos, se muestran en la Figura 30 (a). Igualmente, cuando se impone  $d_{Fy'}$ , las fuerzas cortantes y momentos flexionante requeridos son los mostrados en la Figura 30 (b).



(a) (b)  
**Figura 30 Desplazamientos en el eje  $y'$  del miembro de un marco**

**Rotaciones En  $z'$**

Si se impone una rotación positiva  $d_{Nz'}$ , mientras que todos los otros posibles desplazamientos están impedidos, las fuerzas cortantes y momentos requeridos para esta deformación son como se muestra en la Figura 31 (a). Igualmente, cuando se impone  $d_{Fz'}$  las cargas resultantes son como se muestra en la Figura 31 (b).



**Figura 31 Desplazamientos en el eje  $z'$  del miembro de un marco**

Por superposición, si se suman los resultados anteriores, las seis relaciones carga-desplazamiento para el miembro pueden expresarse en forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} q_{Nx'} \\ q_{Ny'} \\ q_{Nz'} \\ q_{Fx'} \\ q_{Fy'} \\ q_{Fz'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{Nx'} \\ d_{Ny'} \\ d_{Nz'} \\ d_{Fx'} \\ d_{Fy'} \\ d_{Fz'} \end{bmatrix} \tag{3.65}$$

Estas ecuaciones pueden escribirse en forma abreviada como

$$q = k'd \tag{3.66}$$

A la matriz simétrica  $k'$  de esta ecuación se le llama matriz de rigidez de miembro. Los 36 coeficientes de influencia  $k_{ij}$  que contiene, toman en cuenta las fuerzas axiales, cortantes y momento flexionante por desplazamientos del miembro. Físicamente, estos coeficientes representan la carga sobre el miembro cuando éste sufre un desplazamiento unitario específico.

- **MATRICES DE TRANSFORMACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS Y FUERZAS**

Como en el caso de armaduras, se debe transformar las cargas internas  $q$  de miembro así como las deformaciones  $d$  de coordenadas locales  $x', y', z'$  a coordenadas globales  $x, y, z$ . Para este fin se requieren matrices de transformación.

- **MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS**

Considerando el miembro de marco mostrado. Se ve que un desplazamiento de coordenada global  $D_{Nx}$  genera desplazamientos de coordenadas locales.



(a) (b)  
**Figura 32 Transformación de desplazamientos**

$$d_{Nx'} = D_{Nx} \cos \theta_x \qquad d_{Ny'} = -D_{Nx} \cos \theta_y \qquad (3.67)$$

Igualmente, un desplazamiento de coordenadas global  $D_{Ny}$ , genera desplazamientos de coordenadas locales

$$d_{Nx'} = D_{Ny} \cos \theta_y \qquad d_{Ny'} = D_{Ny} \cos \theta_x \qquad (3.68)$$

Finalmente, como los ejes  $z'$  y  $z$  coinciden, esto es, están dirigidos hacia afuera de la página, una rotación de  $D_{Nz}$  alrededor de  $z$  genera una correspondiente rotación  $d_{Nz'}$ , entonces.

$$d_{Nz'} = D_{Nz} \qquad (3.69)$$

De manera similar, si desplazamientos globales  $D_{Fx}$  en la dirección de  $x$ ,  $D_{Fy}$  en la dirección  $y$  y una rotación  $D_{Fz}$  se imponen sobre el extremo alejado del miembro, las ecuaciones de transformación resultantes son, respectivamente:

$$d_{Fx'} = D_{Fx} \cos \theta_x \qquad d_{Fy'} = -D_{Fx} \cos \theta_y \tag{3.70}$$

$$d_{Fx'} = D_{Fy} \cos \theta_y \qquad d_{Fy'} = D_{Fy} \cos \theta_x \tag{3.71}$$

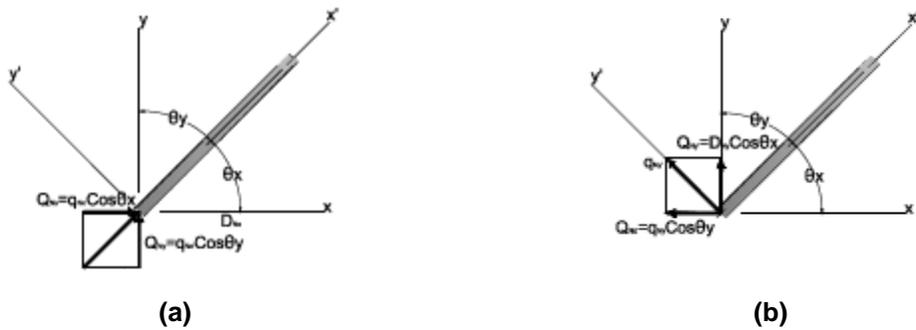
$$d_{Fz'} = D_{Fz} \tag{3.72}$$

Si  $\lambda_x = \cos \theta_x$  y  $\lambda_y = \cos \theta_y$  representan los cosenos directores del miembro, podemos escribir las ecuaciones anteriores en forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} d_{Nx'} \\ d_{Ny'} \\ d_{Nz'} \\ d_{Fx'} \\ d_{Fy'} \\ d_{Fz'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_x & \lambda_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\lambda_y & \lambda_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_x & \lambda_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_y & \lambda_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{Nx} \\ D_{Ny} \\ D_{Nz} \\ D_{Fx} \\ D_{Fy} \\ D_{Fz} \end{bmatrix} \tag{3.73}$$

Por inspección,  $T$  transforma lo seis desplazamientos globales  $D$  en  $x, y, z$  en los seis desplazamientos locales  $d$  en  $x', y', z'$ . Por esto a  $T$  se le llama matriz de transformación de los desplazamientos.

• **MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN DE FUERZAS**



**Figura 33 Transformación de fuerzas**

Si se aplica a cada componente de carga al extremo cercano del miembro, se puede determinar cómo transformar las componentes de carga, de coordenadas locales a globales. Si se aplica  $q_{Nx}$ , se obtiene:

$$Q_{Nx} = q_{Nx'} \cos \theta_x \qquad Q_{Ny} = q_{Nx'} \cos \theta_y \tag{3.74}$$

Si se aplica  $q_{Ny}$  sus componentes entonces:

$$Q_{Nx} = -q_{Ny'} \cos \theta_y \qquad Q_{Ny} = q_{Ny'} \cos \theta_x \tag{3.75}$$

Finalmente, como  $q_{Nz'}$  es colineal con  $Q_{Nz}$

$$Q_{Nz} = q_{Nz'} \tag{3.76}$$

De manera similar, las cargas extremas de  $q_{Fx'}, q_{Ny'}, q_{Nz'}$  darán los siguientes resultados:

$$Q_{Fx} = q_{Fx'} \cos \theta_x \qquad Q_{Fy} = q_{Fx'} \cos \theta_y \tag{3.78}$$

$$Q_{Fx} = -q_{Fy'} \cos \theta_y \qquad Q_{Fy} = q_{Fy'} \cos \theta_x \tag{3.79}$$

$$Q_{Fz} = q_{Fz'} \tag{3.80}$$

Estas ecuaciones, agrupadas en forma matricial con  $\lambda_x = \cos \theta_{x'}$ ,  $\lambda_y = \cos \theta_{y'}$  dan.

$$\begin{bmatrix} Q_{Nx} \\ Q_{Ny} \\ Q_{Nz} \\ Q_{Fx} \\ Q_{Fy} \\ Q_{Fz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_x & -\lambda_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_y & \lambda_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_x & -\lambda_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_y & \lambda_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{Nx'} \\ q_{Ny'} \\ q_{Nz'} \\ q_{Fx'} \\ q_{Fy'} \\ q_{Fz'} \end{bmatrix} \tag{3.81}$$

O bien

$$Q = T^T q \tag{3.82}$$

Así, como se estableció antes,  $T^T$  transforma las seis cargas de miembro expresadas en coordenadas locales a las seis cargas expresadas en coordenadas globales.

• **MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL DE UN MIEMBRO DE UN MARCO**

A través de la combinación de los resultados anteriores se determinara la matriz global de rigidez de un miembro que relacione las cargas globales  $Q$  con los desplazamientos  $D$ . Para ello, se sustituye la ecuación de  $d = TD$  en  $q = k'd$ , de modo que se tendrá:

$$q = k'TD \tag{3.83}$$

Esta expresión relaciona las fuerzas  $q$  de miembro con los desplazamientos globales  $D$ . Si se sustituye este resultado por la  $q$  de la ecuación  $Q = T^Tq$ , se obtiene el resultado final.

$$Q = T^T k'TD \tag{3.84}$$

O bien

$$Q = kD \tag{3.85}$$

Dónde:

$$k = T^T k'T \tag{3.86}$$

Aquí,  $k$  representa la matriz de rigidez global del miembro. Se puede obtener su valor en forma generalizada por medio de las ecuaciones de transformación de fuerzas y desplazamientos y la matriz de rigidez de miembro, y efectuando las operaciones matriciales. Se tendrá que:

$$k = \begin{bmatrix} \left(\frac{AE}{L} \lambda^2_x + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2_y\right) & \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y & -\left(\frac{AE}{L} \lambda^2_x + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2_y\right) & -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y \\ \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & \left(\frac{AE}{L} \lambda^2_y + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2_x\right) & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x & -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & -\left(\frac{AE}{L} \lambda^2_y + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2_x\right) & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x \\ -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{4EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{2EI}{L} \\ -\left(\frac{AE}{L} \lambda^2_x + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2_y\right) & -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y & \left(\frac{AE}{L} \lambda^2_x + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2_y\right) & \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y \\ -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & -\left(\frac{AE}{L} \lambda^2_y + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2_x\right) & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & \left(\frac{AE}{L} \lambda^2_y + \frac{12EI}{L^3} \lambda^2_x\right) & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x \\ -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{2EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \tag{3.87}$$

Cabe resaltar que esta matriz de orden 6\*6 es simétrica. Además, la posición de cada elemento está asociada con la codificación en el extremo cercano,  $N_x, N_y, N_z$  seguida del extremo alejado  $F_x, F_y, F_z$ . Igual que la matriz  $k'$  cada columna de la matriz  $k$  representa las cargas en coordenadas globales sobre los nodos del miembro, necesarias para resistir un desplazamiento unitario en la dirección definida por el nudo codificado de la columna.

Una vez que se han encontrado todas las matrices de rigidez de los elementos, se deben ensamblar en la matriz de rigidez de la estructura  $K$ . De esta manera  $K$  tendrá un orden que será igual al número de código mayor asignado a la estructura ya que representa el número total de grados de libertad en la estructura.

- **MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA**

Después de determinada cada matriz de rigidez de miembro e identificados los renglones y columnas con los números de códigos apropiados, ensamble las matrices para determinar la matriz de rigidez de la estructura  $K$ . como comprobación, las matrices de miembro y de la estructura deben ser simétricas.

- **DESPLAZAMIENTOS Y CARGAS**

Subdivida la matriz de rigidez según la ecuación mostrada;

$$\begin{bmatrix} Q_k \\ Q_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_u \\ D_k \end{bmatrix} \tag{3.88}$$

La cual desarrollada conduce a;

$$Q_k = K_{11}D_u + K_{12}D_k \tag{3.89}$$

$$Q_u = K_{21}D_u + K_{22}D_k \tag{3.90}$$

Estas ecuaciones expresan el equilibrio por fuerzas y momentos de cada nodo. Los desplazamientos conocidos  $D_u$  se determinan con la primera de las ecuaciones. Por medio de esos valores, las reacciones  $Q_u$  en los soportes se calculan con la segunda ecuación. Finalmente, las cargas internas  $q$  en los extremos de los miembros pueden calcularse con la expresión:

$$q = k'TD \tag{3.91}$$

### 3.3.6. VENTAJAS DEL MÉTODO DE RIGIDEZ

(Martí Montrull, 2007) Teniendo en cuenta que, tanto el método de las fuerzas como el método de rigidez o de los desplazamientos, emplean las relaciones de equilibrio y compatibilidad para obtener los esfuerzos y desplazamientos. Se ha visto que la solución de un problema, por cualquiera de los dos métodos, exige la resolución de un sistema de ecuaciones; de acuerdo con esto, puede pensarse que el método más interesante es aquel que conduce al sistema de ecuaciones más pequeño; así pues, el método de las fuerzas se emplearía cuando el grado de hiperestaticidad de la estructura fuera menor que el grado de libertad de la misma, mientras que el método de rigidez se emplearía en el caso contrario. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los métodos numéricos son especialmente adecuados para el análisis de problemas grandes, en los que se hace necesario el empleo de los ordenadores, que imponen otros criterios de idoneidad para decidir cuál es el método más adecuado. Para el uso de ordenadores, la gran desventaja del método de las fuerzas es la multiplicidad de conjuntos de fuerzas que pueden tomarse como incógnitas, lo que supone una elección entre varias alternativas. El método de los desplazamientos, por el contrario, tiene un único grupo de incógnitas para cada problema, lo que le permite seguir un proceso sistemático y sin alternativas, muy adecuado para la implementación en ordenadores. Esta característica junto con la capacidad de memoria y velocidad de operación cada vez mayores de los ordenadores, ha hecho que la gran mayoría de programas generales empleen el método de los desplazamientos, utilizándose el método de las fuerzas en algunas aplicaciones muy específicas.

Por lo anterior, se puede expresar que una de las ventajas principales que presenta el método de rigidez es su fácil manejo para la programación de rutinas de cálculos con lenguajes de programación adecuados.

### 3.4. FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN EN MATLAB

#### 3.4.1. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Una computadora es una máquina que sólo interpreta las instrucciones que se le den en un determinado formato. Cada máquina reconoce y ejecuta un número de instrucciones diferentes que se agrupan en los distintos lenguajes de programación.

Un lenguaje de programación es un idioma artificial diseñado para expresar instrucciones que pueden ser llevadas a cabo por máquinas como las computadoras. Pueden usarse para crear programas que controlen el comportamiento físico y lógico de una máquina, para expresar algoritmos con precisión, o como modo de comunicación humana. Está formado de un conjunto de símbolos y reglas sintácticas y semánticas que definen su estructura y el significado de sus elementos y expresiones.

La clasificación más común y básica que suele hacerse de los lenguajes de programación es la que los divide en lenguajes de bajo y de alto nivel. La computadora sólo entiende un lenguaje conocido como código binario o código máquina, consistente en ceros y unos. Es decir, sólo utiliza 0 y 1 para codificar cualquier acción.

Los lenguajes más próximos al microprocesador de la computadora se denominan lenguajes de bajo nivel y los que se encuentran más cercanos a los programadores y usuarios se denominan lenguajes de alto nivel.

Los lenguajes de programación de bajo nivel fueron los primeros que surgieron y se llaman así porque están directamente relacionados con el hardware del computador, es decir, el usuario introduce una serie de códigos numéricos que la máquina va a interpretar como instrucciones. Para usar este lenguaje, el programador tenía que conocer el funcionamiento de la máquina al más bajo nivel y los errores de programación eran muy frecuentes.

Estos lenguajes usan un número reducido de instrucciones (normalmente en inglés) que siguen unas estrictas reglas gramaticales que se conocen como sintaxis del lenguaje. Pero aunque el programador de esta forma se distancie del hardware del computador, éste sigue trabajando en lenguaje máquina. Por ello se hace necesaria una traducción a una secuencia de instrucciones interpretables por el computador. Esta labor es llevada a cabo por los compiladores y los intérpretes.

El compilador es un programa que se encarga de la traducción global del programa realizado por el usuario. Esta operación recibe el nombre de compilación. El programa es traducido completamente antes de que se ejecute, por lo que la ejecución se realiza en un periodo muy breve. El intérprete por el

contrario lleva a cabo una traducción inmediata en el momento de la ejecución, es decir, irá ejecutando las instrucciones una a una haciendo que el proceso requiera un periodo de tiempo sensiblemente mayor del que necesitaría un compilador. Los intérpretes son usados para traducir programas de alta dificultad de implementación, en estos casos, las órdenes a traducir son de tal complejidad que no merece la pena crear un compilador ya que este también tendría que ser de una complejidad por encima de lo normal.

### **3.4.2. TIPOS DE PROGRAMACIÓN**

Los tipos o técnicas de programación son muy variados. En la mayoría de los casos, las técnicas se centran en programación modular y programación estructurada, pero existen otros tipos, tales como programación orientada a objetos, programación concurrente, programación funcional y programación lógica.

- **PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA (PE)**

La programación estructurada está compuesta por un conjunto de técnicas que han ido evolucionando aumentando considerablemente la productividad del programa, reduciendo el tiempo de depuración y mantenimiento del mismo. Esta programación estructurada utiliza un número limitado de estructuras de control, reduciendo así considerablemente los errores. Esta técnica incorpora:

- 1) Diseño descendente (top-down): el problema se descompone en etapas o estructuras jerárquicas.
- 2) Recursos abstractos (simplicidad): consiste en descomponer las acciones complejas en otras más simples capaces de ser resueltas con mayor facilidad.
- 3) Estructuras básicas: existen tres tipos de estructuras básicas:
  - Estructuras secuenciales: cada acción sigue a otra acción secuencialmente. La salida de una acción es la entrada de otra.
  - Estructuras selectivas: en estas estructuras se evalúan las condiciones y en función del resultado de las mismas se realizan unas acciones u otras. Se utilizan expresiones lógicas.
  - Estructuras repetitivas: son secuencias de instrucciones que se repiten un número determinado de veces.

Las principales ventajas de la programación estructurada son:

- 1) Los programas son más fáciles de entender
- 2) Se reduce la complejidad de las pruebas

- 3) Aumenta la productividad del programador
- 4) Los programas quedan mejor documentados internamente.

- **PROGRAMACIÓN MODULAR**

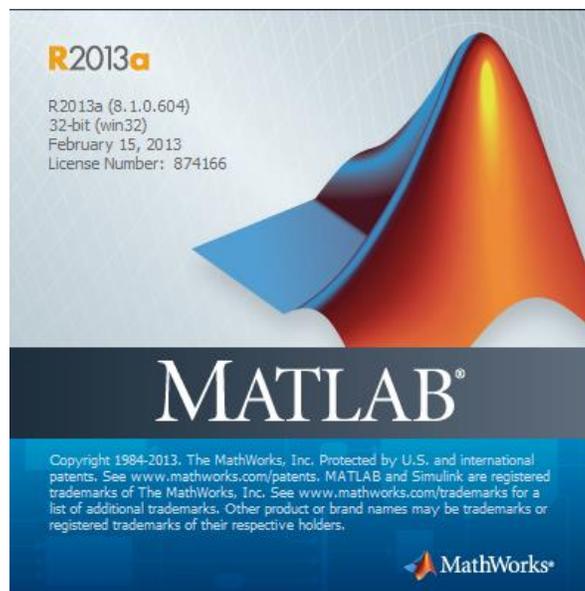
La programación modular consta de varias secciones divididas de forma que interactúan a través de llamadas a procedimientos, que integran el programa en su totalidad.

En la programación modular, el programa principal coordina las llamadas a los módulos secundarios y pasa los datos necesarios en forma de parámetros. A su vez cada módulo puede contener sus propios datos y llamar a otros módulos o funciones.

### **3.4.3. GENERALIDADES SOBRE MATLAB**

- **MATRIX LABORATORY (MATLAB)**

(Moore, 2007)MATLAB es una de las muchas sofisticadas herramientas de computación disponibles en el comercio para resolver problemas de matemáticas, tales como Maple. Mathematica y MathCad. A pesar de lo que afirman sus defensores, ninguna de ellas es "la mejor". Todas tienen fortalezas y debilidades. Cada una permitirá efectuar cálculos matemáticos básicos, pero difieren en el modo como manejan los cálculos simbólicos y procesos matemáticos más complicados, como la manipulación de matrices. Por ejemplo, MATLAB es superior en los cálculos que involucran matrices, mientras que Maple lo supera en los cálculos simbólicos.



**Figura 34 Matrix Laboratory**

(Moore, 2007)El nombre mismo de MATLAB es una abreviatura de Matrix Laboratory, laboratorio matricial. En muchas clases de ingeniería, la realización de cálculos con un programa de computación matemático como MATLAB sustituye la programación de computadoras más tradicional. Esto no significa que no se deba aprender un lenguaje de alto nivel como C++ o FORTRAN, sino que los programas como MATLAB se han convertido en una herramienta estándar para ingenieros y científicos.

- **HISTORIA BREVE DE MATLAB**

(García de Jalón, Rodríguez, & Vidal, 2005)Fue creado por Cleve Moler en 1984, surgiendo la primera versión con la idea de emplear paquetes de subrutinas escritas en Fortran en los cursos de álgebra lineal y análisis numérico, sin necesidad de escribir programas en dicho lenguaje. El lenguaje de programación M fue creado en 1970 para proporcionar un sencillo acceso al software de matrices LINPACK y EISPACK sin tener que usar Fortran.

MATLAB es un programa de cálculo numérico orientado a matrices. Por tanto, será más eficiente si se diseñan los algoritmos en términos de matrices y vectores.

(Moore, 2007)MATLAB, es un programa grande de aplicación, y se escribió originalmente en FORTRAN posteriormente se reescribió en C, precursor de C++.

- **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL LENGUAJE DE MATLAB**

(Moore, 2007)Dado que MATLAB es tan fácil de usar, muchas tareas de programación se llevan a cabo con él. Sin embargo, MATLAB no siempre es la mejor herramienta para usar en una tarea de programación. El programa destaca en cálculos numéricos, especialmente en los relacionados con matrices y gráficas. Pero usted no querrá escribir un programa de procesamiento de palabras en MATLAB. C++ y FORTRAN son programas de propósito general y serían los programas de elección para aplicaciones grandes como los sistemas operativos o el software de diseño.

(Moore, 2007)Por lo general, los programas de alto nivel no ofrecen acceso fácil a la graficación, que es una aplicación en la que destaca MATLAB. El área principal de interferencia entre MATLAB y los programas de alto nivel es el "procesamiento de números": programas que requieren cálculos repetitivos o el procesamiento de grandes cantidades de datos. Tanto MATLAB como los programas de alto nivel son buenos en el procesamiento de números.

(Moore, 2007)Frecuentemente, es más fácil escribir un programa que "procese números" en MATLAB, pero usualmente se ejecutará más rápido en C++ o FORTRAN. La única excepción a esta regla son los cálculos que involucran matrices: puesto que MATLAB es óptimo para matrices, si un problema se puede

formular con una solución matricial, MATLAB lo ejecuta sustancialmente más rápido que un programa similar en un lenguaje de alto nivel.

(García de Jalón, Rodríguez, & Vidal, 2005) Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

### **3.4.4. CONCEPTOS DE PROGRAMACION EN MATLAB**

- **MANIPULACIÓN DE MATRICES**

Para introducir los elementos de una matriz A, escribiremos entre corchetes los elementos de cada fila separados por un espacio (o por una coma), mientras que las filas se separan con punto y coma.

Ejemplo. La matriz

$$A = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 \\ 3 & 2 & 1 \end{pmatrix} \tag{3.92}$$

Se introduce en Matlab como sigue

```
A=[2 -1 0;3 2 1];
```

Para referirse al elemento de la fila *i* y columna *j* de una matriz A, se escribe A(*i,j*), como es usual en la teoría de matrices. También se puede necesitar referirse a alguna sub-matriz de A. Por ejemplo, se necesita la fila *i* de A, escribiremos A(*i,:*). Del mismo modo, la columna *j* de A se denota en Matlab por A(:,*j*).

La sub-matriz de A formada por las filas 2 y 3 y las columnas 1 y 2 de A se denota por

```
A([2 3],[1 2])
```

Cuando las filas (o las columnas) que forman la sub-matriz son consecutivas hay una forma más simple de denotarla

```
A(1:4,[2 4])
```

Es la forma de referirse a la sub-matriz de A formada por las cuatro primeras filas y por las columnas 2 y 4.

Ciertas matrices muy simples, entre ellas la matriz unidad y la matriz nula, no necesitan ser introducidas elemento a elemento ya que Matlab dispone de funciones que nos permitirán referirnos a ellas de forma muy fácil.

- Matriz unidad: `eye(4)` es la matriz unidad de orden 4.
- Matriz nula: `zeros(3,4)` es la matriz nula 3 x 4.
- `ones(n,m)` es la matriz  $n \times m$  cuyos elementos son todos iguales a 1.
- `rand(n,m)` es una matriz  $n \times m$  de números aleatorios distribuidos uniformemente en el intervalo (0,1). `randn(n,m)` es una matriz de números aleatorios como antes, pero ahora están distribuidos normalmente.
- `det(A)` nos da el determinante de una matriz cuadrada  $A$ .
- `rank(A)` es el rango de la matriz  $A$ .
- $A'$  es la matriz traspuesta y conjugada de  $A$ .
- `inv(A)` es la matriz inversa de la matriz cuadrada y regular  $A$ .
- `sin(A)` es la matriz  $(\sin(a_{ij}))$ , donde  $A = (a_{ij})$
- `diag(A)` es una matriz columna con los elementos de la diagonal principal de  $A$ .
- `size(A)` nos da las dimensiones de la matriz  $A$ .

### Operaciones Con Matrices

Los símbolos  $+$ ,  $*$  y  $^{\wedge}$  se reservan para las operaciones matriciales suma, producto y potencia.

Ejemplos.

a) Determinar el cuadrado de la matriz cuadrada  $A$ :

$$A^2$$

b) Determinar el producto de las matrices  $A$  y  $B$  (recordar que el producto sólo es posible si el número de columnas de  $A$  es igual al de filas de  $B$ ):

$$A*B$$

c) Sumar las matrices  $A$  y  $B$  (que deberían tener la misma dimensión):

$$A+B$$

También necesitaremos operaciones como las siguientes: el producto de dos matrices elemento a elemento, elevar cada elemento de una matriz a un cierto exponente, dividir elemento a elemento una matriz por otra. En general, estas

operaciones se indicarán anteponiendo un punto al símbolo usado para denotar la operación en cuestión. A continuación damos una relación de estas operaciones:

$$A \cdot B$$

Es la matriz cuyos elementos se obtienen haciendo el producto de cada elemento de A por el correspondiente de B.

$$A.^a$$

Es la matriz que resulta al elevar cada elemento de A al exponente a.

$$A ./ B$$

Es la matriz cuyos elementos se obtienen dividiendo cada elemento de A por el correspondiente de B.

### **Operaciones Entre Escalares Y Matrices**

$a + B$  es la matriz que resulta al sumar el escalar a, a cada elemento de la matriz B.

$a * B$  cada elemento de B se multiplica por el escalar a.

$A/b$  cada elemento de A se divide entre el escalar b.

- **CONTROL DE FLUJO**

Normalmente, Matlab va realizando las instrucciones de un programa en el orden que las hemos escrito. No obstante, hay 8 formas diferentes de conseguir que este orden no se respete:

- If, elseif y else: ejecuta un grupo de instrucciones dependiendo de qué cierta expresión lógica sea cierta o no.
- While: ejecuta un grupo de instrucciones un número indefinido de veces que depende de que cierta expresión lógica se verifique o no.
- For: ejecuta un grupo de instrucciones un número establecido de veces.
- Break: termina la ejecución de un for o while.
- Switch, case y otherwise: ejecuta diferentes grupos de instrucciones dependiendo del valor de alguna condición lógica.
- Continue pasa el control a la siguiente iteración de un for o while, ignorando cualquier instrucción posterior (del for o while en cuestión).
- Try... catch: cambia el control del flujo si se detecta un error durante la ejecución.
- Return: provoca que la ejecución de una función termine inesperadamente.

## If, Else Y Elseif

If evalúa una expresión lógica y ejecuta un grupo de instrucciones si la expresión lógica es verdadera. La forma más simple es la siguiente

```
if expresión lógica
    Instrucciones
elseif expresión lógica
    Instrucciones
else
    Instrucciones
end
```

Ejemplo: Para entender cómo funciona elseif y else, vamos a considerar que queremos obtener las raíces de una ecuación de segundo grado  $ax^2 + bx + c = 0$ , pero vamos a establecer distintas salidas, según sea el valor de Delta.

```
%este código determina las raíces de a*x^2 + b*x + c = 0, nos pide
%los coeficientes
a=input('ingrese coeficiente de x^2 ');
b=input('ingrese coeficiente de x ');
c=input('ingrese término independiente ');

Delta = b^2-4*a*c;
if Delta<0
    disp('no hay raíces reales')
elseif Delta>0
    x1=(-b+sqrt(Delta))/2*a
    x2=(-b-sqrt(Delta))/2*a
else
    x=-b/(2*a)
    disp('raíz doble')
end
```

elseif evalúa la expresión lógica que aparece en su misma línea si if o los anteriores elseif resultan falsos. Si dicha expresión lógica es verdadera se ejecutan las instrucciones siguientes hasta el próximo elseif o else. Por el contrario, else no lleva expresión lógica a evaluar y matlab realiza las instrucciones siguientes hasta end si las expresiones lógicas de if y los elseif anteriores son falsos.

## For

La sintaxis es la siguiente:

```
for índice=inicio:incremento:final
instrucciones
end
```

*F. Berrios*

*D. Chavarría*

Si el incremento es la unidad, no hace falta indicarlo.

Ejemplo: Deseamos encontrar el factorial de un número cualquiera

```
% Este código determina el factorial de un número natural N
n=input('ingrese un número natural ');
y=1;
for k=1:n
    y=y*k;
end
disp(['el factorial de ', num2str(n), (' es '), num2str(y)]);
```

Ejemplo. Construir una matriz  $A$ ,  $n \times m$ , tal que  $a_{ij} = 1/(i + j - 1)$ .

```
%ordena una matriz con datos según A(i,j)=1/(i+j-1)
n=input('ingrese el número de filas ');
m=input('ingrese el número de columnas ');

A=zeros(n,m);
for i=1:n
    for j=1:m
        A(i,j)=1/(i+j-1);
    end
end
```

## while

Su sintaxis es la siguiente:

```
while expresión
instrucciones
end
```

Mientras que la expresión que controla el while sea verdadera, se ejecutan todas las instrucciones comprendidas entre while y end.

Ejemplo. Calcular el primer natural  $n$  tal que  $n!$  es un número con 100 dígitos.

```
%Este código calcula el primer número cuyo factorial es un número con 100
%dígitos
n=1;
while prod(1:n)<1e100
    n=n+1;
end
```

## Break

Esta instrucción se usa para terminar un for o un while antes de que la ejecución sea completa. Si éste no es el caso, se usará el comando return.

Ejemplo. Supongamos que se desea determinar un vector  $v$  con un número de componentes menor o igual que 10 y que verifique:

- a. Sus componentes son de la forma  $24-k^2$
- b. Son positivas

```
k=1;
w(1)=24-k^2;
for k=2:10
    a=24-k^2;
    if a>=0
        v(k)=a
    else
        break
    end
end
```

## Continue

Este comando pasa el control a la siguiente iteración en un for o un while, sin realizar las instrucciones siguientes que pueda haber antes de end.

Ejemplo. Determinar un vector y cuyas componentes sean de la forma  $\sin x/x$ , para  $x = -1: 0.1: 1$ , exceptuando  $x = 0$ .

```
k=0;
for x=-1:.1:1
    if x==0
        continue
    end
    k=k+1;
    y(k)=sin(x)/x;
end
```

## Switch

La sintaxis es como sigue

```
switch expresión (o variable)
    case valor1
        instrucciones (se ejecutan si el valor de expresión es valor1)
    case valor2
        instrucciones (se ejecutan si el valor de expresión es valor2)
    otherwise
        instrucciones (se ejecutan si el valor de expresión no es
ninguno de los valores de cada caso)
end
```

Ejemplo: Supongamos que una variable escalar se llama var. Si el valor de var es -1, debe aparecer en pantalla el texto "uno negativo"; si el valor es 0, queremos que aparezca en pantalla el texto "cero"; Si el valor de var es 1, debe aparecer en

pantalla el texto "uno positivo". Finalmente, si el valor de var es cualquier otro, debe aparecer el texto "otro valor".

```
var=input('ingrese un número entre -2 y 2 ');
switch var
    case -1
        disp('uno negativo')
    case 0
        disp('cero')
    case 1
        disp('uno positivo')
    otherwise
        disp('otro valor')
end
```

## Try

Try y catch le permiten pasar sobre la disposición del comportamiento predeterminado de un error para un conjunto de declaraciones del programa. Si cualquier declaración en un try genera un error, el control del programa va inmediatamente al catch, el cual ejecuta otra declaración según lo especificado.

La excepción es una entrada optativa de MExcepción para el catch que le permite identificar el error.

Ambos, try y catch pueden contener declaraciones anidadas de try/catch.

```
try
    instrucciones
catch
    instrucciones
end
```

Ejemplo: necesitamos sumar dos matrices cuyas dimensiones nos las solicitan si las matrices no tienen las mismas dimensiones en lugar de enviarnos un error deberá notificárnoslo con un mensaje.

```
a=input('ingrese dimensiones de la matriz A ');
b=input('ingrese dimensiones de la matriz B ');
try
    A = rand(a)
    B = ones(b)
    C=A+B
catch
    disp('no se puede sumar A y B puesto que no tienen las mismas
dimensiones')
end
```

## Return

Return se utiliza normalmente cuando una parte del código genera un resultado inesperado y deseamos terminar la ejecución del código y este no es un for o un while. Por lo general se emplea dentro de condicionantes if que identifican valores que pueden generar errores dentro de la ejecución.

### 3.4.5. UNIDADES DE INTERFACE GRAFICA (GUI) EN MATLAB

- DESCRIPCION DE GUI

Una GUI (interfaz gráfica de usuario) es un espacio gráfico en una o más ventanas conteniendo controles, llamados componentes, eso permite a un usuario realizar tareas interactivas. El usuario de la interfaz gráfica no tiene que crear órdenes en la línea de comando para lograr las tareas. A diferencia de codificar programas para lograr tareas, el usuario de una interfaz gráfica no necesita entender los detalles de cómo se ejecutan las tareas realizadas.

Una interfaz gráfica de usuario tiene componentes que pueden incluir menús, barras de herramientas, botones, botones de radio, cuadros de lista, y dispositivos deslizantes, entre otros.

- CREACION DE UNA GUI

Para crear una nueva GUI en Matlab se puede dar clic en el botón *Figure* del menú *New* en la paleta *Home*, otra forma de ejecutar esta orden, es escribiendo en el Command Window la palabra “guide”.

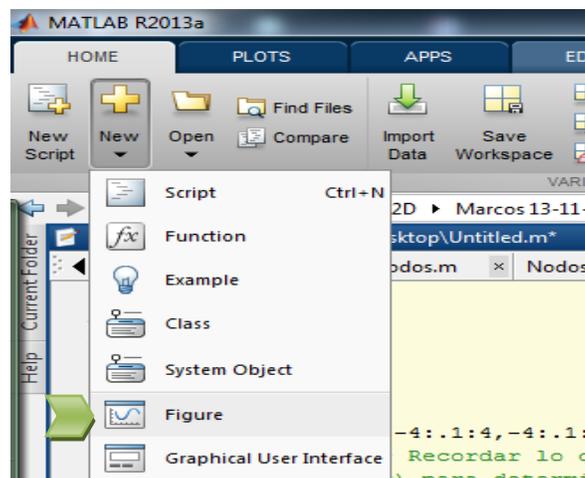


Figura 35 Creación de una GUI

Luego de esto aparecerá una ventana en donde se pide seleccionar el tipo de plantilla con la que se desea empezar en la creación de la nueva GUI.

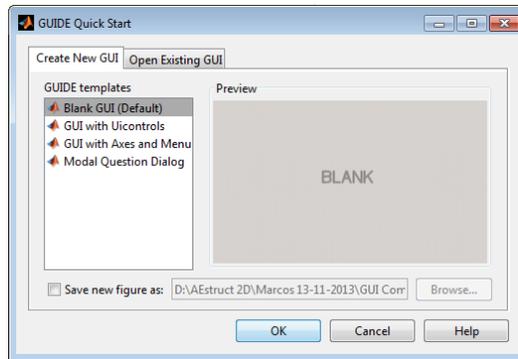


Figura 36 Ventana para empezar la creación de GUI

Si iniciamos con la primera opción, la cual es una plantilla en blanco se mostrará una ventana similar a la siguiente, en donde se nos permitirá ingresar los diferentes tipos de controles que nos facultarán ejecutar las órdenes para realizar una tarea específica.

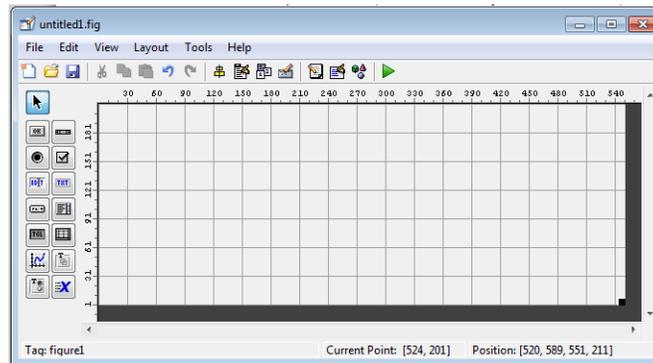


Figura 37 Ventana para inserción de controles de GUI

Una vez hayamos terminado de personalizar el interfaz de usuario con los diferentes componentes y procedamos a guardarla, se crearan dos archivos con el mismo nombre que hayamos seleccionado, uno con la extensión \*.m en el cual podremos plasmar las tareas que corresponderán a cada uno de los componentes por medio de los diferentes callbacks correspondientes (estos se detallaran en la sección que describe la función **Callback** de este documento), y otro con la extensión \*.fig en el que se guarda la visualización de la GUI, es decir, como se organizará la visualización del orden de los diferentes componentes de la GUI, ambos archivos trabajan de forma coordinada y uno no se puede ejecutar si el otro no se encuentra en la misma carpeta.

- **COMPONENTES DE UNA GUI**

**Checkbox:** Es una casilla de verificación la cual genera una acción cuando es seleccionada. Generalmente son usadas con el fin de proveer un número de selecciones independientes. Para activar una casilla de verificación, simplemente

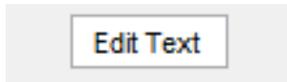
se clickea sobre el objeto. La casilla de verificación actualiza su apariencia cuando su condición es alterada.



**Figura 38 Controles de GUI – Check Box**

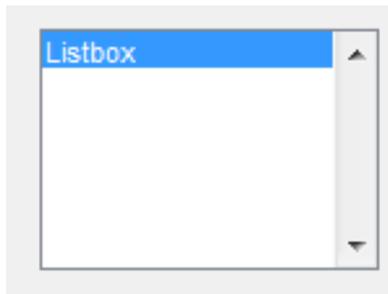
Edit: Los campos editables de texto permiten entrar o modificar valores del texto. Estos se utilizan normalmente cuando los valores de entrada son texto o numéricos. También es posible dentro de un edit text generar líneas múltiples de texto, colocando Max Min > 1. Las cajas de edición Multiline proveen una barra y pestañas de desplazamiento vertical para desplazarse a través del texto. Para obtener el texto insertado se debe llamar la propiedad String del objeto. La propiedad string se actualiza cada vez que es editado. Para ejecutar la rutina asignada (callback) al objeto del control de texto, se escribe el texto deseado en el objeto y se realiza una de las siguientes acciones:

- Dé un clic sobre otro componente, la barra de menús, o los antecedentes de la INTERFAZ GRÁFICA DEL USUARIO.
- Para una sola línea cuadro de texto editable, presione a Enter.
- Para una multilínea cuadro de texto editable, presione a Ctl Enter.



**Figura 39 Controles de GUI – Edit Text**

Listbox: exhiben una lista de artículos, de los cuál usted puede seleccionar uno o más. A diferencia de los menús desplegable, los listbox no se expanden cuando se da un click sobre ellas.

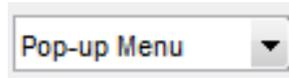


**Figura 40 Controles de GUI – Listbox**

El modo de selección depende de las propiedades Max y Min del objeto, en este caso para posibilitar la selección múltiple de artículos, se debe considerar Max-Min > 1 caso contrario para posibilitar selección de un artículo único a la vez, debe ser Max-Min < = 1. La propiedad Value almacena el identificador del artículo seleccionado actualmente en el listbox y es un vector cuando son seleccionado

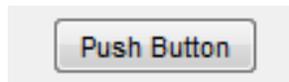
múltiples artículos y esta propiedad se actualiza cada vez que se selecciona uno o varios artículos luego de esto se ejecuta la función asignada al objeto como tal.

Popupmenu: (también conocido como menús desplegables) exhiben una lista de elecciones cuando son abiertos al dar click sobre ellos. Estando cerrado, un popupmenu indica la elección actual. Los popupmenu son útiles cuando se quiere proveer un número determinado de opciones, pero no se quiere tomar la cantidad de espacio que un grupo de radiobuttons requieren.



**Figura 41 Controles de GUI – Pop-up Menu**

Pushbutton: los botones generan una acción asignada previamente cuando son ejecutados por un clic izquierdo sobre ellos.



**Figura 42 Controles de GUI – Push Button**

Radiobutton: son bastantes similares a los checkbox, pero a diferencia de estas son pretendidos para ser mutuamente exclusivos dentro de un grupo de botones de radio relacionados. Cuando se usa así, sólo se puede seleccionar uno a la vez.

La mejor forma para trabajar un grupo de botones y la selección exclusiva de uno de ellos es colocarlos dentro de un uibuttongroup.



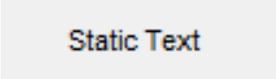
**Figura 43 Controles de GUI – Radio Button**

Slider: los sliders generan una entrada numérica dentro de un rango específico, definido primeramente, cuando se mueve el botón a lo largo de la barra. La posición del botón indica un valor numérico, asignada a la propiedad Value cuando se suelta el botón. Se puede ajustar el mínimo, máximo, y los valores actuales, y los tamaños de paso del slider.



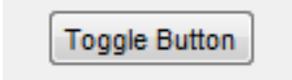
**Figura 44 Controles de GUI – Slider**

Text: El texto estático es capaz mostrar varias de líneas de texto. Típicamente se usa texto estático para designar otros controles, y aportar información al usuario, o indicar los valores asociados con un slider. Los usuarios no pueden cambiar el texto estático de forma interactiva. Los controles de texto estático no activan rutinas de ejecución (callback) cuando son clickeados.



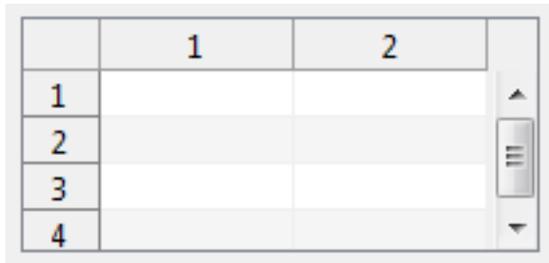
**Figura 45 Controles de GUI – Static Text**

Togglebutton: Son similares en la apariencia a los botones sencillos, pero visualmente indican su condición, ya sea presionados (abajo) o no (arriba). Dando un clic sobre un togglebutton cambia su estado, y cambia su propiedad Value entre Min y Max.



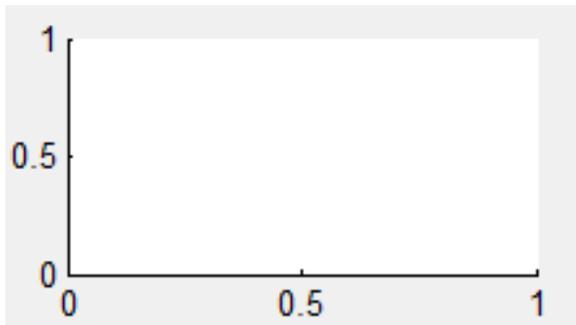
**Figura 46 Controles de GUI – Toggle Button**

Uitable: son tablas que permiten hacer diferentes tipos de arreglos de a una serie de datos que podrían ser numéricos o no.



**Figura 47 Controles de GUI – Uitable**

Axes: Crea un objeto de gráficos en la figura usando ejes de valores predeterminados. Al ejecutar la orden de un axes, MATLAB® automáticamente crea un eje si uno no existiera.



**Figura 48 Controles de GUI – Axes**

- **DESCRIPCION DE FUNCIÓN EN MATLAB**

Una función es una o una serie de órdenes que se ejecutan al ser llamadas por el accionamiento de un componente por medio de un callback o llamadas por otra función, para que una función se ejecute de forma adecuada esta debe tener variables de entrada (varargin en el caso de GUI's) y variables de salida (varargout en el caso de GUI's); las variables de entrada deben estar declaradas antes de ser llamadas por la función que hará uso de ellas mientras que las variables de salida

deben de ser seleccionadas con el mismo nombre que fueron creadas durante la ejecución de la función.

```
varargout = GUI_name(varargin)
function [VAR1, VAR2, VAR3]=nomb_funcion(var1,var2,var3)
VAR1=2*pi*var1;
VAR2=var1*var2;
VAR3=(var1+var2)/var3;
end
```

Otra forma de trabajar las funciones es guardar un archivo con la extensión \*.mat, con el nombre de la función y las variables de entrada entre paréntesis sin espacios entre palabras, a como se denotó anteriormente, en la primera línea del archivo deberá especificarse la palabra *function* luego entre corchetes las variables de salida seguidas de un igual y el nombre de la función seguido de las variables de entrada entre paréntesis, posteriormente se deberá especificar el comando que ejecutará esa función, una vez indicado esto, la función se debe finalizar con un end, sin embargo al programar callback's en una GUI no siempre es necesario especificar el fin de una función, ya que el programa finaliza las funciones al empezar una nueva.

- **FUNCIONES VINCULADAS A LOS COMPONENTES DE UNA GUI**

### **Callback**

Un callback es una función que se escribe y asocia con un componente específico en la interfaz gráfica de usuario o con la figura de interfaz gráfica de usuario misma. Los callbacks controlan la interfaz gráfica de usuario o el comportamiento de los componentes realizando alguna acción en respuesta a una interacción con su componente correspondiente. Este tipo de programación es a menudo llamada programación accionada por eventos.

Las funciones del callback que se proveen controlan cómo la interfaz gráfica de usuario responde a las interacciones tales como las acciones de los botones, el movimiento de los sliders, la selección de las diferentes opciones de los menús desplegables, o la creación y la supresión de componentes. Hay un conjunto de callbacks para cada componente y para la figura de interfaz gráfica de usuario misma.

Cuándo un evento ocurre para un componente, el software matlab llama el callback del componente asociado con ese evento. Por poner un ejemplo, suponga que una interfaz gráfica de usuario tiene un botón que provoca la esquematización de algunos datos. Cuando el usuario da un clic sobre el botón, el software llama el callback que se asoció con dar un clic sobre ese botón, y el callback, el cuál se ha programado, obtiene los datos y lo representa gráficamente.

Un componente puede ser cualquier dispositivo de control como un axes, pushbutton, listbox, o un slider. Para los propósitos de programación, también puede ser un menú, una barra de herramientas, un panel o un panel de botones.

**Tipos De Callbacks**

Las figuras de interfaz gráfica de usuario y cada tipo de componente tienen tipos específicos de callbacks con los cuales se los puede asociar. Los callbacks que están disponibles para cada componente están definidos como propiedades de ese componente. Por ejemplo, un botón tiene cinco propiedades del callback: `buttondownfcn`, `callback`, `createfcn`, `deletefcn`, y `keypressfcn`. Un panel tiene cuatro propiedades del callback: `buttondownfcn`, `createfcn`, `deletefcn`, y `resizefcn`. Se puede, pero no está obligado, a crear una función de callback para cada uno de estas propiedades. La interfaz gráfica de usuario misma, la cual es una figura, también tiene ciertos tipos de callbacks con los cuales puede ser asociada.

Cada tipo de callback tiene un mecanismo que provoca que este sea llamado. La siguiente tabla lista las propiedades de callback's que están disponibles, el mecanismo que provoca su ejecución, y los componentes para los cuales tienen aplicación.

**Tabla 2 Tipos de Callback's**

<b>CALLBACK'S</b>	<b>ORDEN QUE LO EJECUTA</b>	<b>COMPONENTES</b>
<b>ButtonDownFcn</b>	Se ejecuta cuando el usuario presiona un botón del ratón mientras el puntero está sobre o dentro de cinco pixels próximos de un componente o la figura.	Gráficos, Figura, Panel de grupo de botones, panel, controles de interfaz de usuario
<b>Callback</b>	Representa la acción del control. Se ejecuta, por ejemplo, cuando un usuario da un clic sobre un botón o selecciona un menú.	menúes contextuales, menues, controles de interfaz de usuario
<b>CellEditCallback</b>	Se ejecuta al editar un valor en una tabla con celdas editables; Usa datos de acontecimiento.	Tablas
<b>CellSelectionCallback</b>	Doy cuenta de los índices de células seleccionadas por ratón gesticulan en una mesa.	Tablas
<b>ClickedCallback</b>	Se ejecuta al hacer click sobre algún tipo de botón.	Botones
<b>CloseRequestFcn</b>	Se ejecuta cuando la figura se cierra.	Figura
<b>CreateFcn</b>	Se ejecuta después de que el componente o la figura son creados, pero antes de mostrarse.	Graficos, Panel de grupo de botones, menúes contextuales, Figuras, menúes, páneles, botones, barras de herramientas, controles de interfaz de usuario

<b>CALLBACK'S</b>	<b>ORDEN QUE LO EJECUTA</b>	<b>COMPONENTES</b>
<b>DeleteFcn</b>	Se ejecuta al eliminar un componente de la figura.	Graficos, Panel de grupo de botones, menús contextuales, Figuras, menús, páneles, botones, barras de herramientas, controles de interfaz de usuario
<b>KeyPressFcn</b>	Se ejecuta cuando el usuario presiona una tecla y el componente o figura esta seleccionada.	Figura, controles de interfaz de usuario
<b>KeyReleaseFcn</b>	Se ejecuta cuando el usuario luego de presionar una tecla la libera y el componente o figura está seleccionada.	Figura
<b>OffCallback</b>	Se ejecuta cuando un botón estático es presionado y este queda apagado.	Botones estáticos
<b>OnCallback</b>	Se ejecuta cuando un botón estático es presionado y este queda accionado.	Botones estáticos
<b>ResizeFcn</b>	Se ejecuta cuando un usuario ajusta el tamaño de un panel, un grupo de botones o figura cuya propiedad resize este activada.	Figura, Panel de Grupo de Botones, panel
<b>SelectionChangeFcn</b>	Se ejecuta cuando un usuario selecciona un botón estático o un radiobutton de un grupo en un panel de grupo de botones.	Panel de Grupo de Botones
<b>WindowButtonDownFcn</b>	Se ejecuta cuando se presiona un botón del ratón mientras el puntero está en la ventana de la figura.	Figura
<b>WindowButtonDownMotionFcn</b>	Se ejecuta cuando se mueve el puntero dentro de la ventana de la figura.	Figura
<b>WindowButtonUpFcn</b>	Se ejecuta cuando se suelta un botón del ratón.	Figura
<b>WindowKeyPressFcn</b>	Se ejecuta cuando se pulsa una tecla y la figura o cualquiera de sus objetos están seleccionados.	Figura
<b>WindowKeyReleaseFcn</b>	Se ejecuta cuando se pulsa una tecla y luego esta es liberada y la figura o cualquiera de sus objetos están seleccionados.	Figura
<b>WindowScrollWheelFcn</b>	Ejecuta cuando el usuario gira la rueda del ratón mientras la figura está seleccionada.	Figura

## IV DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA AESTRUCT2D V1.0

Luego de la elaboración de los diversos algoritmos de automatización del método de rigidez y la creación de una interfaz gráfica adecuada a las posibles necesidades de los usuarios, se obtuvo la herramienta descrita a continuación. Cabe mencionar que en este acápite se describirán aspectos puntuales sobre la programación desarrollada para la creación de la herramienta, si se necesita información adicional sobre el manejo de AEstruct2D se debe consultar el Manual de Usuario y Tutorial ubicado en el inciso 0 en los apéndices de este documento.

### 4.1. ASPECTOS GENERALES DE LA HERRAMIENTA

En este acápite se hace mención a los aspectos generales correspondientes a la herramienta desarrollada;

#### 4.1.1. AESTRUCT2D V1.0

Esta herramienta ha sido nombrada como AEstruct2D, que significa Analizador de Estructuras en Dos Dimensiones. AEstruct2D es un programa para el análisis de estructuras planas, específicamente analiza armaduras o cerchas y marcos empleando el Método de Rigidez en dos direcciones.

Esta herramienta ha sido programada con el software Matlab en su versión R2013a, del año 2013. El uso del programa AEstruct2D requiere conocimiento de los fundamentos teóricos y el procedimiento de análisis de estructuras, bajo el Método de Rigidez.

#### 4.1.2. PROPIEDADES DE AESTRUCT2D

Aquí se mencionan las principales propiedades de AEstruct2D, enmarcadas en tres grupos, las propiedades del módulo para análisis de armadura, marcos y las propiedades de la interfaz gráfico de usuario:

- **ANÁLISIS CON EL MÓDULO DE ARMADURAS PLANAS**
  - El módulo de armadura de AEstruct2D permite la inserción de datos y visualización de resultados en una sola ventana, exceptuando la apreciación del gráfico de la estructura y la matriz de rigidez.
  - AEstruct2D realiza análisis a armaduras planas con gran precisión gracias al empleo del Método de Rigidez.
  - AEstruct2D no limita el número de elementos para realizar el análisis de una armadura.

- Permite la inserción de las propiedades geométricas (Área, Modulo de Elasticidad) para cada elemento de la estructura a analizar.
  - AEstruct2D permite el uso de unidades métricas e inglesas.
  - Permite la obtención de la matriz de rigidez de cada elemento y la matriz de rigidez global de la estructura.
  - AEstruct2D en el módulo para el análisis de armaduras planas, permite la inserción de desplazamientos conocidos y fuerzas aplicadas a la estructura.
  - AEstruct2D permite guardar los análisis en archivos de formatos \*.txt, \*.mat.
- **ANÁLISIS CON EL MÓDULO DE MARCOS PLANOS**
    - El módulo de Marcos de AEstruct2D permite la inserción de datos y visualización de resultados en diversas ventanas, a diferencia del módulo de armaduras.
    - AEstruct2D realiza análisis a Marcos planos con gran precisión gracias al empleo del Método de Rigidez.
    - AEstruct2D no limita el número de elementos para realizar el análisis de un marco.
    - Permite la inserción de las propiedades geométricas (Área, Inercia, Modulo de Elasticidad) para cada elemento de la estructura a analizar.
    - AEstruct2D permite el uso de unidades métricas e inglesas.
    - Permite la obtención de la matriz de rigidez de cada elemento y la matriz de rigidez global de la estructura.
    - AEstruct2D en el módulo para el análisis de marcos planos, permite la inserción de restricciones y fuerzas aplicadas a la estructura.
    - AEstruct2D incluye un análisis por fuerza sísmica según la reglamentación de la Republica de Nicaragua.
    - Este módulo incluye la asignación de secciones y materiales a los elementos.
    - AEstruct2D permite guardar el análisis en archivos con los formatos \*.txt, \*.mat y en el formato propio del programa con extensión \*.ae2d\*. además de exportar resultados a archivos con la extensión \*.xlsx.

- **INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO**
  - Selección visual del tipo de estructura a analizar.
  - Menú para selección de unidades.
  - Visualización de grafico de la estructura a analizar.
  - Diversas ventanas para la inserción de datos, para el caso del módulo para análisis de marcos.
  - Ventanas para la visualización de resultados tanto gráficamente como matricialmente.
  - Menú para el cambio de apariencia de la interfaz gráfica de usuario del programa.
  - Cuadros de diálogos para continuar con procesos dentro del programa.
  - Ventanas emergentes para la visualización de mensajes de errores y mensajes de advertencia.

## 4.2. ESTRUCTURA DE AEstruct2D

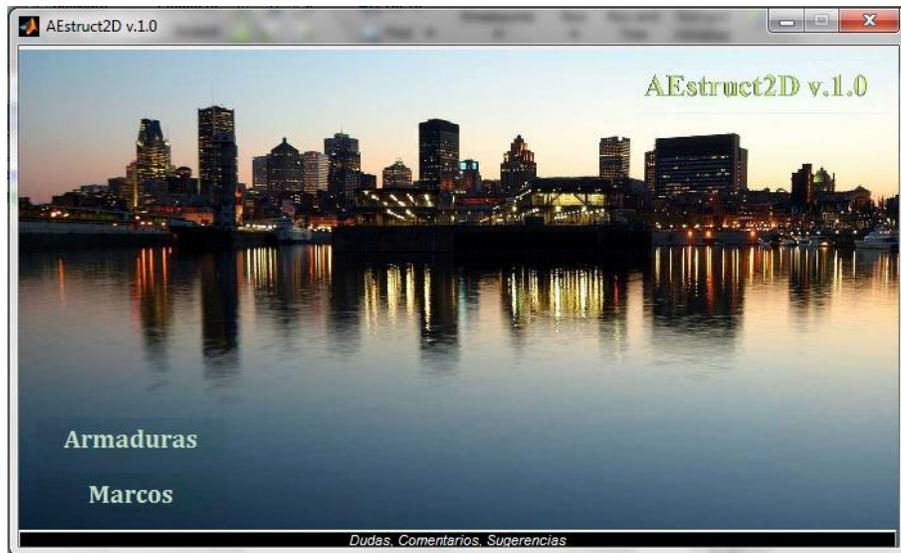
La interfaz gráfica de usuario de AEstruct2D está compuesta de diversas ventanas sobre las cuales se aborda a continuación. En la figura mostrada en la parte inferior se presenta el diagrama de flujo lógico que presenta AEstruct2D.



Figura 49 Diagrama de flujo de AEstruct2D

### 4.2.1. VENTANA PRINCIPAL DE ANÁLISIS

Al construir una interfaz gráfica interactiva que integre el análisis de marcos y armaduras planas se logró obtener la ventana mostrada en la Figura 50, ventana que se mostrara al ejecutar el programa.



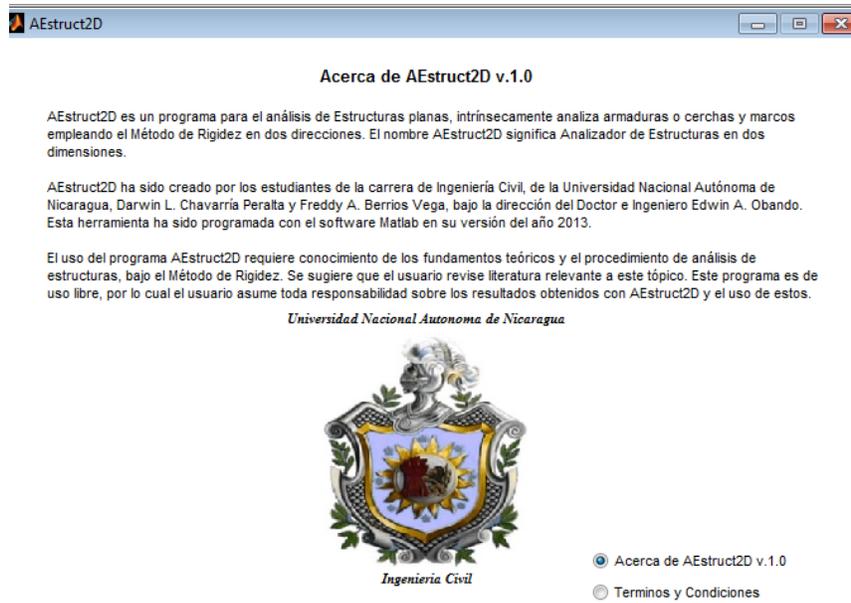
**Figura 50 Ventana principal de AEstruct2D**

Esta ventana presenta las opciones de selección del tipo de estructura a analizar y visualización de datos concernientes a AEstruct2D, además de una opción para contactarse con los creadores del programa.

La selección del tipo de estructura a analizar se realizara mediante los botones nombrados “Armaduras” y “Marcos”, estos botones están ubicados en la parte inferior izquierda de la ventana principal, al presionar uno de estos botones emergerá una ventana según sea el caso, de estas ventanas emergentes se abordara posteriormente. Al presionar estos botones se ejecutara una función como;

```
function Armaduras_Callback(hObject, eventdata, handles)
close(handles.MainGUI)
UI_Analisis_Armaduras('MainGUI', handles.MainGUI);
```

Para la visualización de datos concernientes al programa, el usuario deberá presionar el botón nombrado “AEstruct2D v1.0”, luego de esta acción se desplegara la ventana mostrada en la Figura 51.



**Figura 51 Visualización de datos sobre AEstruct2D**

En la esquina inferior derecha de esta ventana se ubican los botones seleccionables con los cuales se puede cambiar a la visualización de información o los términos y condiciones acerca del uso sobre el programa.

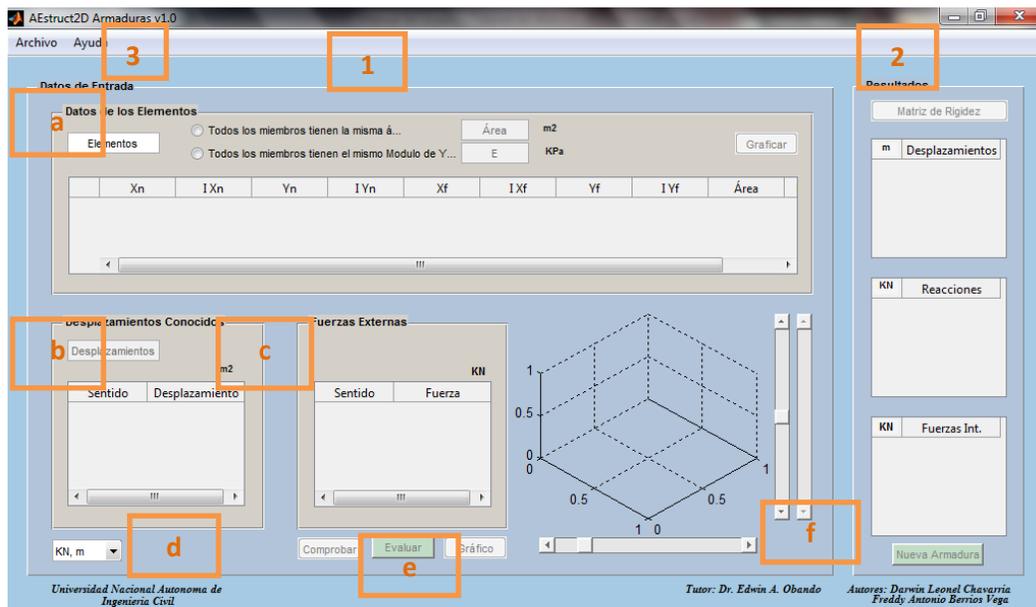
Para contactarse con los creadores de AEstruct2D, el usuario tendrá la opción de hacerlo vía INTERNET, en específico mediante la dirección [www.facebook.com/AEstruct2D](http://www.facebook.com/AEstruct2D), en esta dirección se podrá proporcionar dudas, sugerencias o comentarios sobre el programa, esto con la finalidad de una retroalimentación en la creación y avance del software. La ventana principal de AEstruct2D presenta un botón en la parte inferior para llevar al usuario hasta la dirección mencionada.

#### 4.2.2. MÓDULO PARA EL ANÁLISIS DE ARMADURAS PLANAS

A continuación se presentan algoritmos para el manejo automatizado de matrices de rigidez para elementos de armaduras planas, y de asignación de distintas condiciones de apoyos y cargas sobre la estructura. Además de una explicación acerca del ensamble entre los algoritmos creados y la unidad de interfaz gráfica.

- DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE INTERFAZ GRÁFICA

Posteriormente a seleccionar armaduras planas como tipo de estructura a analizar, al usuario le será mostrada la ventana ostentada en la Figura 52.



**Figura 52 Ventana para Análisis de Armaduras planas**

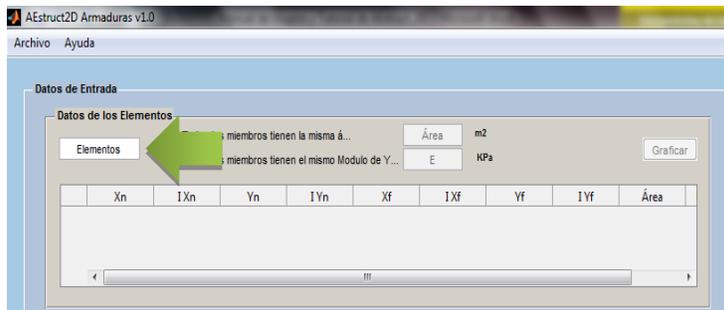
En esta ventana se destacan las opciones presentadas por los elementos:

- 1) Panel para la inserción de datos de entada, compuesto por;
  - a) Sub-panel para la introducción de datos correspondientes a cada elemento que conforma la armadura.
  - b) Sub-panel para la entrada de los desplazamientos conocidos de la estructura.
  - c) Sub-panel para indicar las fuerzas externas que actúan sobre la armadura.
  - d) Menú para la selección y cambio de unidades.
  - e) Grupo de botones para realizar el análisis de las condiciones introducidas.

- f) Visualización previa del gráfico, a escala, de la armadura.
- 2) Panel de visualización de los resultados del análisis.
- 3) Barra de menú.

- **NÚMERO DE MIEMBROS**

Se creó un vector para enumerar los elementos que componen la estructura, este vector se crea cuando se introduce el numero en el edit de la unidad de interfaz gráfica.



**Figura 53 Inserción del número de elementos de la armadura**

```
n_elem = str2double(get(hObject, 'String'));
```

Los posibles errores al insertar el número de miembros se indican en el Manual y Tutorial.

- **DATOS DE GEOMETRÍA Y RESISTENCIA DE CADA ELEMENTO**

En el sub-panel de datos de los elementos se encuentra la matriz para inserción de datos de la geometría de la estructura, tal y como se muestra en la Figura 54.



**Figura 54 Matriz de geometría de los miembros**

Al introducir los datos de coordenadas, grados de libertad, área y Modulo de elasticidad en esta matriz se ejecutara la funciones ostentadas a continuación, con la cual se creara la matriz de rigidez de cada elemento y la matriz global de la estructura;

Para crear las coordenadas nodales de cada elemento (Nodo cercano y nodo alejado), grados de libertad para los nodos de cada elemento, área de sección

transversal de cada elemento y el módulo de elasticidad  $E$  , que presenta cada elemento, se usa el siguiente código;

```

coord_elem=zeros(2,2,handles.Data.n_elem);
i_coord_elem=zeros(2,2,handles.Data.n_elem);
area=zeros(handles.Data.n_elem);
E=zeros(handles.Data.n_elem);
    for j=1:handles.Data.n_elem
        coord_elem(1,1,j)=handles.Data.Matriz_1(j,1);
        i_coord_elem(1,1,j)=handles.Data.Matriz_1(j,2);
        coord_elem(1,2,j)=handles.Data.Matriz_1(j,3);
        i_coord_elem(1,2,j)=handles.Data.Matriz_1(j,4);
        coord_elem(2,1,j)=handles.Data.Matriz_1(j,5);
        i_coord_elem(2,1,j)=handles.Data.Matriz_1(j,6);
        coord_elem(2,2,j)=handles.Data.Matriz_1(j,7);
        i_coord_elem(2,2,j)=handles.Data.Matriz_1(j,8);
        area(j)=handles.Data.Matriz_1(j,9);
        E(j)=handles.Data.Matriz_1(j,10);
    end

```

Establecimiento de la matriz de rigidez para cada elemento;

```

coord_elem=handles.Data.C_coor.*coord_elem;

    for j=1:handles.Data.n_elem
        xn=coord_elem(1,1,j);
        xf=coord_elem(2,1,j);
        yn=coord_elem(1,2,j);
        yf=coord_elem(2,2,j);

        Index_col1=i_coord_elem(1,1,j);
        Index_col2=i_coord_elem(2,1,j);
        Index_row1=i_coord_elem(1,2,j);
        Index_row2=i_coord_elem(2,2,j);
        % Definiendo matriz de rigidez de cada miembro
        L=sqrt(((xf-xn).^2)+((yf-yn).^2));

        if L >= L_max
            L_max = L;
        end

        lambda_x=(xf-xn)./L;

        lambda_y=(yf-yn)./L;

        K=zeros(4,4);
        K(1,1)=(lambda_x.^2);
        K(1,2)=(lambda_x.*lambda_y);
    end

```

```

K(1,3)=-(lambda_x.^2);
K(1,4)=-(lambda_x.*lambda_y);

K(2,1)=(lambda_x.*lambda_y);
K(2,2)=(lambda_y.^2);
K(2,3)=-(lambda_x.*lambda_y);
K(2,4)=-(lambda_y.^2);

K(3,1)=-(lambda_x.^2);
K(3,2)=-(lambda_x.*lambda_y);
K(3,3)=(lambda_x.^2);
K(3,4)=(lambda_x.*lambda_y);

K(4,1)=-(lambda_x.*lambda_y);
K(4,2)=-(lambda_y.^2);
K(4,3)=(lambda_x.*lambda_y);
K(4,4)=(lambda_y.^2);

K=(K.*area(j).*E(j))./L;

Kn([Index_col1,Index_row1],[Index_col2,Index_row2],j)=K(1:2,3:4);
Kn([Index_col2,Index_row2],[Index_col1,Index_row1],j)=K(3:4,1:2);
Kn([Index_col2,Index_row2],[Index_col2,Index_row2],j)=K(3:4,3:4);
Kn([Index_col1,Index_row1],[Index_col1,Index_row1],j)=K(1:2,1:2);
end

```

Ensamble de las matrices de rigidez de todos los elementos para la creación de la matriz de rigidez global de la estructura;

```

%Matriz de Rigidez Global Para la Armadura
K_Global=sum(Kn,3);

```

- **VISTA PREVIA DEL GRAFICO DE LA ESTRUCTURA**

En lo que corresponde al grafico de la estructura se creó al botón “Graficar”, este botón tiene como función mostrar la vista previa de la armadura en el cuadro para la visualización previa del gráfico

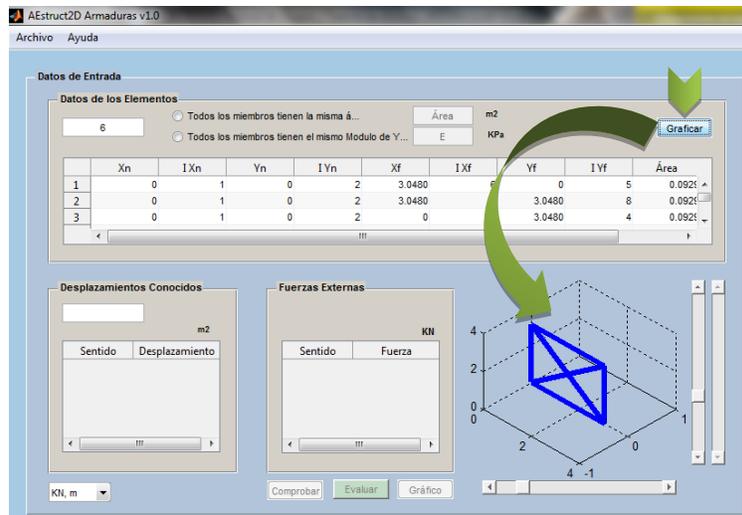


Figura 55 Función del botón Graficar

Este botón ejecutara el código ostentado;

```

axes(handles.axes1);
cla;
for j=1:handles.Data.n_elem
    line('xdata',[coord_elem(1,1,j),coord_elem(2,1,j)],...
        'zdata',[coord_elem(1,2,j),coord_elem(2,2,j)],...
        'ydata',[0,0], 'color','b', 'LineWidth',5)
end
    
```

• **DESPLAZAMIENTOS CONOCIDOS DE LA ESTRUCTURA**

Estos valores definirán las restricciones en los nodos de la armadura, la asignación de desplazamientos conocidos, se podrá realizar en el Sub-panel para la entrada de los desplazamientos conocidos de la estructura, ubicado dentro del panel para la inserción de datos de entada. Los elementos que componen este sub-panel son un cuadro para la inserción del número de desplazamientos conocidos y una tabla para introducción de estos mismos.

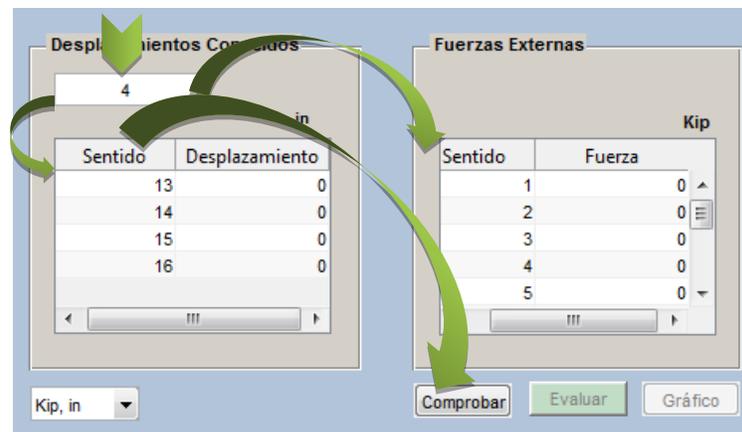


Figura 56 Número de desplazamientos conocidos

La función que se ejecutara al asignar la cantidad de desplazamientos conocidos es;

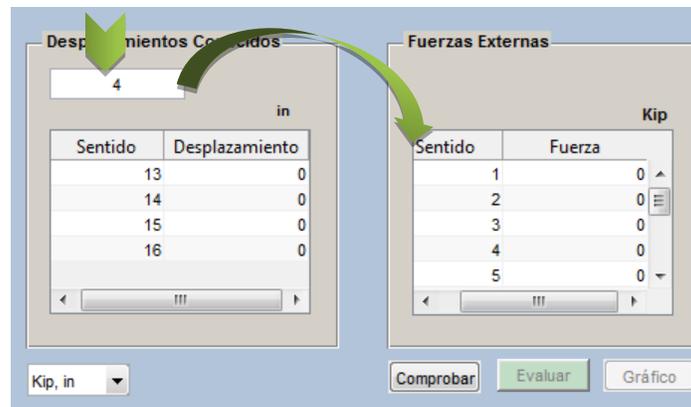
```
despl_con = str2double(get(hObject,'String'));
Despl_Con=zeros(despl_con,2);
n=handles.Data.n-despl_con;
N=zeros(n,2);
for i=1:handles.Data.n
    if i <= n
        if N(i,1) == 0
            N(i,1) = i;
        end
    elseif i > n
        Despl_Con((i-n),1) = i;
    end
end
end
```

Luego de introducir la cantidad de desplazamientos conocidos se muestra la tabla para asignar los valores de sentido (gdl) y magnitud de los desplazamientos, ejecutándose el código siguiente;

```
handles.Data.Matriz_2 = Despl_Con;
set(handles.Matriz_2, 'data',handles.Data.Matriz_2)
```

• **MATRIZ PARA INGRESAR CARGAS EXTERNAS**

Para ingresar las cargas externas a las cuales va estar sometida la estructura, se creó una tabla o matriz en la cual se asignaran el sentido (gdl) y magnitud de estas, el número de filas de la tabla desplegada dependerá del número de desplazamientos conocidos insertados.



**Figura 57 Inserción del número de fuerzas externas**

Luego de introducir la cantidad de desplazamientos conocidos se ejecutara el siguiente código;

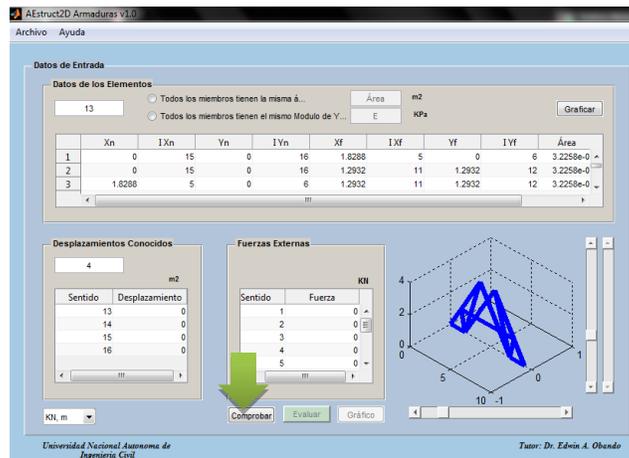
```
handles.Data.Matriz_3 = N;
set(handles.Matriz_3, 'data',handles.Data.Matriz_3)
handles.Data.Matriz_3=Matriz_3;
```

• REALIZACION DEL ANÁLISIS

Para la realización del análisis se usaran botones designados, en la unidad de interfaz gráfica, como “Comprobar” y “Evaluar”, abordando a continuación de ellos;

**Función Comprobar**

La comprobación de los datos ingresados hace referencia a la validación de los datos introducidos en las tablas de desplazamientos conocidos y fuerzas externas, esta función es ejecutada por el botón ubicado en la parte inferior media de la ventana. En la Figura 58 se ubica el botón para la comprobación de datos.



**Figura 58 Ubicación del botón Comprobar**

Al pulsar el botón se obtienen, el vector de desplazamientos conocidos de la estructura y el vector de cargas externas a las cuales está sometida la estructura, por medio del código ostentado;

```

Carg_ext=zeros(handles.Data.n,1);

for j=1:length(handles.Data.Matriz_3(:,1))
    Carg_ext(handles.Data.Matriz_3(j,1))=handles.Data.Matriz_3(j,2);
    Ka(handles.Data.Matriz_3(:,1),:) =
handles.Data.K_Global(handles.Data.Matriz_3(:,1),:);
    vector(handles.Data.Matriz_3(:,1)) = handles.Data.Matriz_3(:,1);
end

Desp_con=zeros(handles.Data.n,1);

for j=1:length(handles.Data.Matriz_2(:,1))
    Desp_con(handles.Data.Matriz_2(j,1))=handles.Data.Matriz_2(j,2);
end
    
```

**Función Evaluar**

La función referida a la evaluación de las condiciones planteadas, se ejecutara por medio del botón llamado “Evaluar”, siempre y cuando la comprobación de los datos ingresados se haya dado sin ninguna eventualidad adversa. Este botón se

encuentra ubicado al lado derecho del botón “Comprobar”, tal y como se visualiza en la Figura 59.

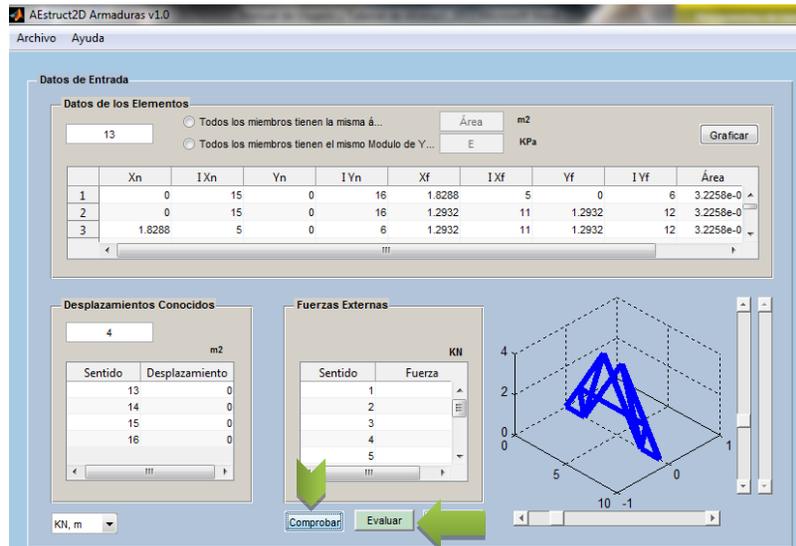


Figura 59 Ubicación del botón Evaluar

Básicamente la función principal del botón evaluar es extraer las matrices necesarias para la determinación de los desplazamientos desconocidos, reacciones en nodos restringidos y para la determinación de fuerzas internas en cada elemento, además de la deformación de la estructura, usando los principios del método de rigidez mencionados en la sección 3.3.3 de este documento. Lo anterior se lleva a cabo por medio del siguiente código;

- Obtención de desplazamientos desconocidos

```
n = 0;
for j = 1:length(handles.Data.vector)
    if handles.Data.vector(j) ~= 0
        n = n+1;
        Kaa(n,:) = handles.Data.Ka(handles.Data.vector(j),:);
        Carg_ext_1(n,1)=handles.Data.Carg_ext(j);
    end
end
Qi_xD=Carg_ext_1-(Kaa*handles.Data.Desp_con);
Desp_desc=Kaaa\Qi_xD;
Desp_desc_1=zeros(handles.Data.n,1);

for j=1:length(handles.Data.Matriz_3(:,1))
    Desp_desc_1(handles.Data.Matriz_3(j,1))=Desp_desc(j);
end
Desplazamientos=Desp_desc_1+handles.Data.Desp_con;
```

- Determinación de las reacciones

```
K_2_1=handles.Data.K_Global;
for j=1:length(handles.Data.Matriz_3(:,1))
    K_2_1(handles.Data.Matriz_3(j,1),:)=0;
end
```

```
Reacciones = K_2_1*Desplazamientos;
```

**- Determinación de fuerzas internas**

```
for j=1:handles.Data.n_elem
    xn=handles.Data.coord_elem(1,1,j);
    xf=handles.Data.coord_elem(2,1,j);
    yn=handles.Data.coord_elem(1,2,j);
    yf=handles.Data.coord_elem(2,2,j);

    L=sqrt(((xf-xn).^2)+((yf-yn).^2));
    lambda_x=(xf-xn)./L;
    lambda_y=(yf-yn)./L;

    K_prima(1,1,j)=-lambda_x;
    K_prima(1,2,j)=-lambda_y;
    K_prima(1,3,j)=lambda_x;
    K_prima(1,4,j)=lambda_y;

    Index_u=handles.Data.i_coord_elem(:, :, j);

    Disp_u(1,1)=Desplazamientos(Index_u(1,1));
    Disp_u(2,1)=Desplazamientos(Index_u(1,2));
    Disp_u(3,1)=Desplazamientos(Index_u(2,1));
    Disp_u(4,1)=Desplazamientos(Index_u(2,2));

    F_int(j,1)=sum((handles.Data.area(j).*handles.Data.E(j)./L).*K_prima(1, :,
j).*Disp_u');
end
```

**- Obtención de deformación de la armadura**

```
Disp_u=zeros(2,2);
for j=1:handles.Data.n_elem
    Index_u=handles.Data.i_coord_elem(:, :, j);

    Disp_u(1,1)=Desplazamientos(Index_u(1,1));
    Disp_u(1,2)=Desplazamientos(Index_u(1,2));
    Disp_u(2,1)=Desplazamientos(Index_u(2,1));
    Disp_u(2,2)=Desplazamientos(Index_u(2,2));

    coord_elem_2(:, :, j)=handles.Data.coord_elem(:, :, j)+handles.Data.F_Def*Disp_u;
end
```

**- Graficar deformación en el cuadro de vista previa**

```
axes(handles.axes1);
cla
for j=1:handles.Data.n_elem

    line('xdata',[handles.Data.coord_elem(1,1,j),handles.Data.coord_elem(2,1,
j)], 'zdata',[handles.Data.coord_elem(1,2,j),handles.Data.coord_elem(2,2,j
)], 'ydata',[0,0], 'color','b', 'LineWidth',5)

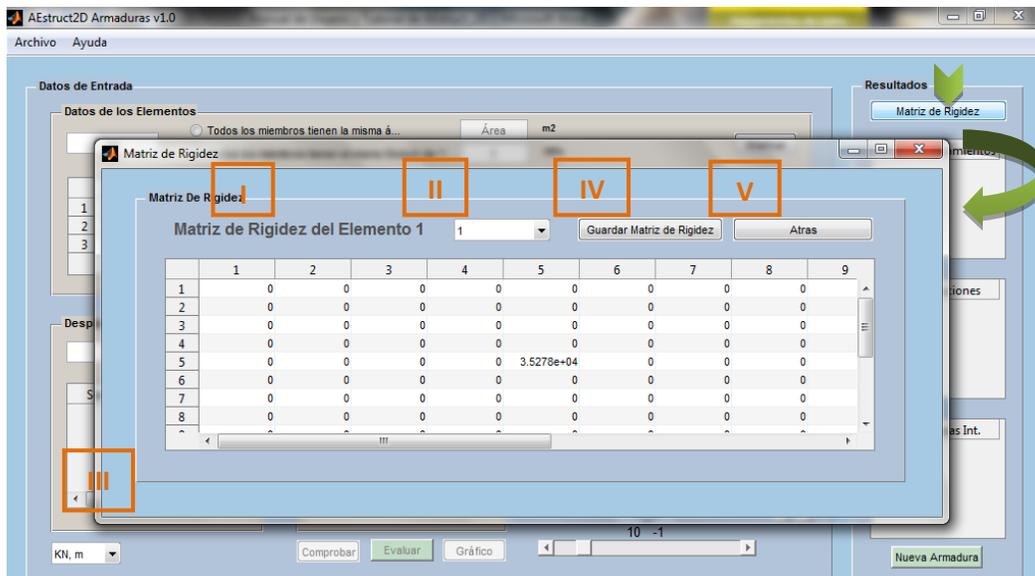
    line('xdata',[coord_elem_2(1,1,j),coord_elem_2(2,1,j)], ...
```

```
'zdata', [coord_elem_2(1,2,j), coord_elem_2(2,2,j)], ...
'ydata', [0,0], 'Color', 'r', 'LineWidth', 3)
end
```

• **VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS**

Para la visualización de los resultados del análisis en este módulo se colocó un panel donde se ubica el botón para la obtención de las matrices de rigidez de los miembros y la matriz de rigidez global de la estructura.

El botón llamado “Matriz de Rigidez”, ubicado en la parte superior del panel de visualización de los resultados del análisis, el cual al ser pulsado ostentara una ventana para la visualización de las matrices de rigidez de cada uno de los elementos y la matriz de rigidez global de la estructura, la ventana emergente a la que se hace referencia se aprecia en la Figura 60.



**Figura 60 Ventana para la visualización de las matrices de rigidez**

Esta ventana está constituida por los siguientes elementos;

- I. Texto indicativo del miembro al que pertenece la matriz de rigidez mostrada, por defecto se mostrara la matriz del miembro número uno al abrir la ventana.
- II. Menú para la selección de la matriz que se desea observar, este desplegará los números de todos los miembro, además de las letras *KG* al final del menú, símbolo que indica la matriz de rigidez global de la estructura.

Esta función esta comandada principalmente por el código mostrado a continuación;

```
a = handles.Data1.Data.Kn(:, :, 1);
format short g
set(handles.StiffnessMatrix1, 'data', a);
```

III. Tabla para mostrar la matriz de rigidez del miembro o matriz de rigidez global de la estructura seleccionada en el menú de selección, esta tendrá el mismo número de filas y columnas, igual al máximo grado de libertad.

Esta tabla tendrá barras deslizantes para ayudar a la visualización de matrices con longitudes de filas y columnas extensas.

IV. Botón “Guardar Matriz de Rigidez”, tal y como su nombre lo indica con este botón se podrá salvar la matriz de rigidez mostrada en un archivo de formato \*.txt.

Para la observación de los resultados del análisis estructural (Desplazamientos, Reacciones y fuerzas internas en los elementos) se ubicaron en el panel de resultados las tablas ostentadas en la Figura 61.



Figura 61 Panel para presentación de resultados

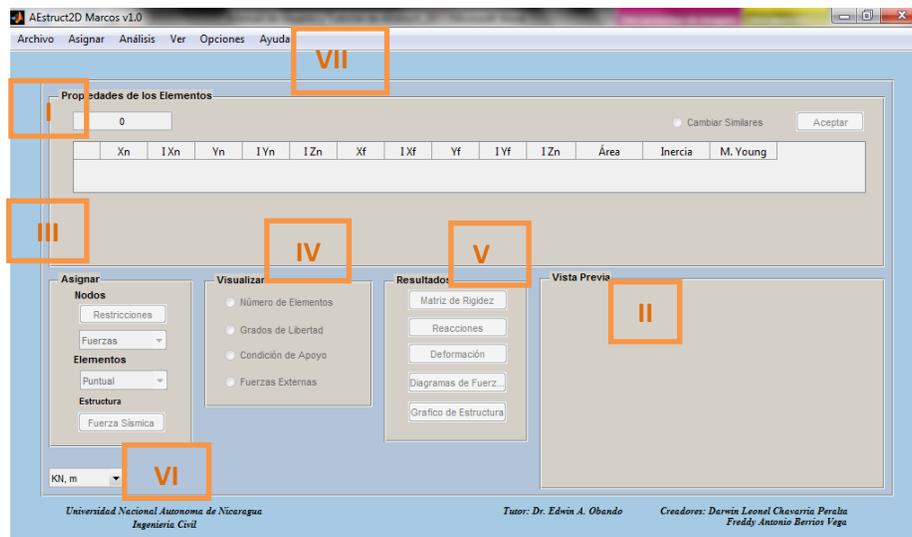
La visualización grafica de los resultados se abordara en la sección 4.2.6 de este documento.

### 4.2.3. MÓDULO PARA EL ANÁLISIS DE MARCOS PLANOS

A continuación se presentan algoritmos para el manejo automatizado de matrices de rigidez para elementos de marcos planos, y de asignación de distintas condiciones de apoyos y cargas sobre la estructura. Además de una explicación acerca del ensamble entre los algoritmos creados y la unidad de interfaz gráfica. Los posibles errores, metodología y ejemplos para usar el módulo de análisis de marcos se indican en el Manual y Tutorial enmarcado en el Apéndice 0 de este documento.

- **DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE INTERFAZ GRÁFICA**

Posteriormente a seleccionar marcos planos como tipo de estructura a analizar, al usuario le será mostrada la ventana ostentada en la Figura 62.



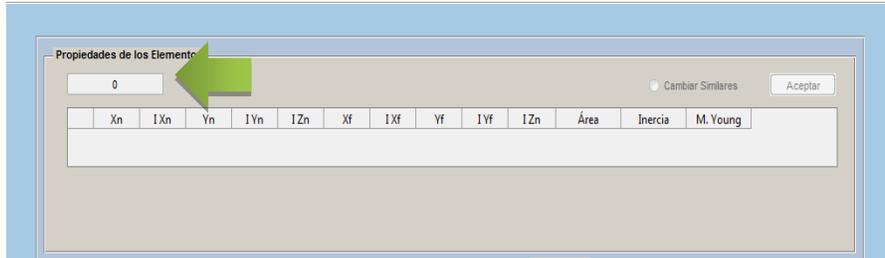
**Figura 62 Ventana para Análisis de Marcos planos**

En esta ventana se destacan las opciones presentadas por los elementos:

- I. Panel para la introducción de datos correspondientes a cada miembro que conforma la estructura.
- II. Cuadro para la visualización previa del gráfico, a escala, de la estructura.
- III. Panel para la asignación de restricciones y fuerzas externas en la estructura.
- IV. Panel de opciones de visualización previa
- V. Panel de visualización de los resultados del análisis.
- VI. Menú para la selección y cambio de unidades.
- VII. Barra de menús.

• **NÚMERO DE MIEMBROS**

Para asignar el número de elementos se creó un vector para enumerar los elementos que componen la estructura, este vector se crea cuando se introduce el numero en el “edit” de la unidad de interfaz gráfica.



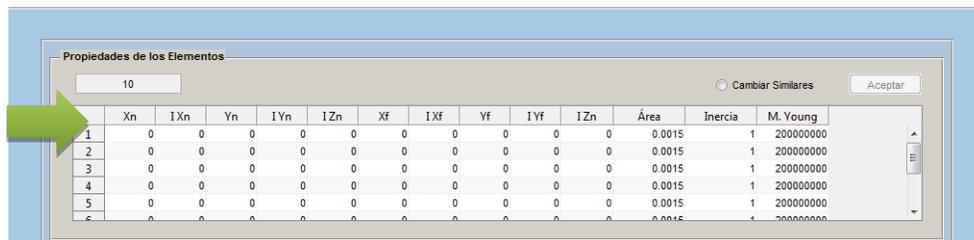
**Figura 63 Inserción del número de elementos del marco**

Este vector se crea con las siguientes líneas de código, la depuración de errores se ha obviado debido a la extensa longitud del código.

```
n_elem = str2double(get(hObject,'String'));
for j=1:n_elem
    Element(j)={j};
end
```

• **DATOS DE GEOMETRÍA Y RESISTENCIA DE CADA ELEMENTO**

En el panel para la inserción de datos de los elementos se colocó la matriz para el establecimiento de datos de la geometría de la estructura, tal y como se ostenta en la Figura 64.



**Figura 64 Matriz de geometría de los miembros**

Al introducir los datos de coordenadas, grados de libertad, área, inercia y Modulo de elasticidad en esta matriz se ejecutara la funciones ostentadas a continuación, con la cual se creara la matriz de rigidez de cada elemento y la matriz global de la estructura;

Para crear las coordenadas nodales de cada elemento (Nodo cercano y nodo alejado), grados de libertad para los nodos de cada elemento, área e inercia de la sección transversal de cada elemento y el módulo de elasticidad  $E$  , que presenta cada elemento, se usa el siguiente código;

```

coord_elem=zeros(2,2,handles.Data.n_elem);
i_coord_elem=zeros(2,3,handles.Data.n_elem);
A=zeros(handles.Data.n_elem);
E=zeros(handles.Data.n_elem);
I=zeros(handles.Data.n_elem);

for j=1:handles.Data.n_elem
    coord_elem(1,1,j)=handles.Data.Matriz_1(j,1);
    i_coord_elem(1,1,j)=handles.Data.Matriz_1(j,2);
    coord_elem(1,2,j)=handles.Data.Matriz_1(j,3);
    i_coord_elem(1,2,j)=handles.Data.Matriz_1(j,4);
    i_coord_elem(1,3,j)=handles.Data.Matriz_1(j,5);
    coord_elem(2,1,j)=handles.Data.Matriz_1(j,6);
    i_coord_elem(2,1,j)=handles.Data.Matriz_1(j,7);
    coord_elem(2,2,j)=handles.Data.Matriz_1(j,8);
    i_coord_elem(2,2,j)=handles.Data.Matriz_1(j,9);
    i_coord_elem(2,3,j)=handles.Data.Matriz_1(j,10);
    A(j)=handles.Data.Matriz_1(j,11);
    I(j)=handles.Data.Matriz_1(j,12);
    E(j)=handles.Data.Matriz_1(j,13);
end

```

Establecimiento de la matriz de rigidez para cada elemento;

```

coordenadas=zeros(handles.Data.n_elem,4);

for j=1:handles.Data.n_elem
    xn=coord_elem(1,1,j);
    xf=coord_elem(2,1,j);
    yn=coord_elem(1,2,j);
    yf=coord_elem(2,2,j);

    coordenadas(j,1)=xn;
    coordenadas(j,2)=yn;
    coordenadas(j,3)=xf;
    coordenadas(j,4)=yf;

    Index(1)=i_coord_elem(1,1,j);
    Index(2)=i_coord_elem(1,2,j);
    Index(3)=i_coord_elem(1,3,j);
    Index(4)=i_coord_elem(2,1,j);
    Index(5)=i_coord_elem(2,2,j);
    Index(6)=i_coord_elem(2,3,j);
% Definiendo matriz de rigidez de cada miembro
L=sqrt(((xf-xn).^2)+((yf-yn).^2));

    if L >= L_max
        L_max = L;
    end

    lambda_x=(xf-xn)./L;
    lambda_y=(yf-yn)./L;

    t=zeros(6,6);

```

```

t(1,1)=lambda_x;    t(1,2)=lambda_y;    t(1,3)=0;    t(1,4)=0;
t(1,5)=0;           t(1,6)=0;
t(2,1)=-lambda_y;  t(2,2)=lambda_x;    t(2,3)=0;    t(2,4)=0;
t(2,5)=0;           t(2,6)=0;
t(3,1)=0;           t(3,2)=0;           t(3,3)=1;    t(3,4)=0;
t(3,5)=0;           t(3,6)=0;
t(4,1)=0;           t(4,2)=0;           t(4,3)=0;    t(4,4)=lambda_x;
t(4,5)=lambda_y;   t(4,6)=0;
t(5,1)=0;           t(5,2)=0;           t(5,3)=0;    t(5,4)=-lambda_y;
t(5,5)=lambda_x;   t(5,6)=0;
t(6,1)=0;           t(6,2)=0;           t(6,3)=0;    t(6,4)=0;
t(6,5)=0;           t(6,6)=1;

AA=(A(j).*E(j)./L);
AB=(12.*E(j).*I(j)./(L.^3));
AC=(6.*E(j).*I(j)./(L.^2));
AD=(4.*E(j).*I(j)./L);

k_prim=zeros(6,6);

k_prim(1,1)=AA;    k_prim(1,2)=0;    k_prim(1,3)=0;    k_prim(1,4)=-AA;
k_prim(1,5)=0;    k_prim(1,6)=0;
k_prim(2,1)=0;    k_prim(2,2)=AB;  k_prim(2,3)=AC;  k_prim(2,4)=0;
k_prim(2,5)=-AB;  k_prim(2,6)=AC;
k_prim(3,1)=0;    k_prim(3,2)=AC;  k_prim(3,3)=AD;  k_prim(3,4)=0;
k_prim(3,5)=-AC;  k_prim(3,6)=AD/2;
k_prim(4,1)=-AA;  k_prim(4,2)=0;    k_prim(4,3)=0;    k_prim(4,4)=AA;
k_prim(4,5)=0;    k_prim(4,6)=0;
k_prim(5,1)=0;    k_prim(5,2)=-AB; k_prim(5,3)=-AC;  k_prim(5,4)=0;
k_prim(5,5)=AB;   k_prim(5,6)=-AC;
k_prim(6,1)=0;    k_prim(6,2)=AC;  k_prim(6,3)=AD/2; k_prim(6,4)=0;
k_prim(6,5)=-AC;  k_prim(6,6)=AD;

t1(:,:,j)=t;
k_prim1(:,:,j)=k_prim;

k=t'*k_prim*t;

for i=1:length(Index)
    for ii=1:6
        col=Index(i);
        row=Index(ii);
        Kn(row,col,j)=k(i,ii);
    end
end
end
end

```

Ensamble de las matrices de rigidez de todos los elementos para la creación de la matriz de rigidez global de la estructura;

```

%Matriz de Rigidez Global
K_Global=sum(Kn,3);

```

• VISTA PREVIA DEL GRAFICO DE LA ESTRUCTURA

El establecimiento adecuado de los grados de libertad y coordenadas de los nodos de la estructura permiten generar una vista previa del marco en el cuadro para la visualización previa del gráfico, a escala. Además se creó al botón “Aceptar”, este botón tiene como función mostrar la vista previa de la estructura en el cuadro para la visualización previa del gráfico.

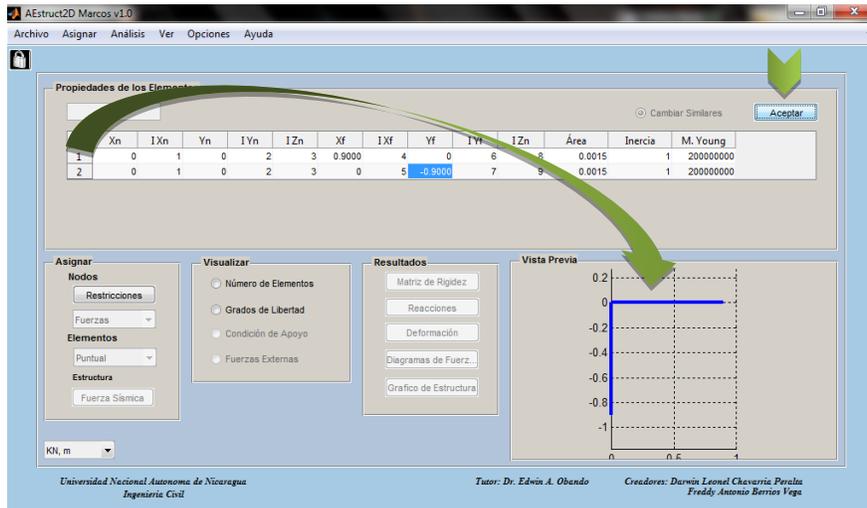


Figura 65 Función del botón Graficar

Este botón ejecutara el código ostentado;

```

for j=1:handles.Data.n_elem
    set(handles.axes1, 'visible', 'on')
    grid on
    line('xdata',[coord_elem(1,1,j),coord_elem(2,1,j)],...
        'zdata',[coord_elem(1,2,j),coord_elem(2,2,j)],...
        'ydata',[0,0], 'color','b', 'LineWidth',3)
    lines(j)=line('xdata',[coord_elem(1,1,j),coord_elem(2,1,j)],...
        'zdata',[coord_elem(1,2,j),coord_elem(2,2,j)],...
        'ydata',[0,0], 'color',[0 0 0.5], 'LineWidth',4, 'HandleVisibility',
'off',...
        'Visible', 'off');
end
    
```

• DESPLAZAMIENTOS CONOCIDOS DE LA ESTRUCTURA

Estos valores definirán las restricciones en los nodos de la estructura, la asignación de desplazamientos conocidos, se podrá realizar en el panel “Asignar”. Desde el botón llamado restricciones. Al ejecutar esta función se mostrara una ventana emergente (Figura 66). AEstruct2D cargara valores las coordenadas de los nodos libres por defecto.

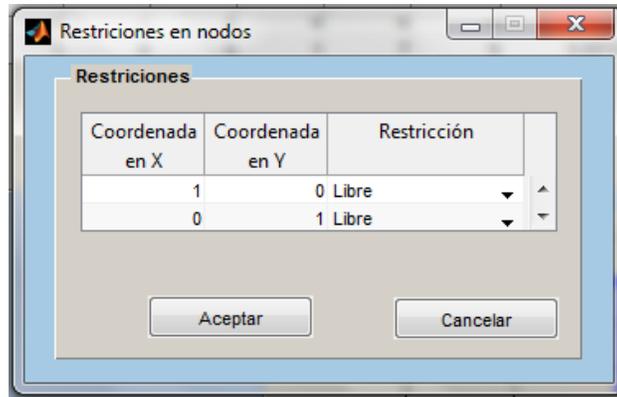


Figura 66 Definición de Restricciones

La función que se ejecutara al asignar las restricciones o cantidad de desplazamientos conocidos es;

```

ind_nod_res=[];
for i=1:length(Tabla(:,1))
    coo_v11(i,3)=Tabla(i,3);
end
vall=0;
for i=1:length(Tabla(:,1))
    for ii=1:3

        if strcmp(Tabla(i,3), 'Apoyo Simple en X')
            vall=vall+1;
            ind_nod_res(vall)=handles.Data1.Data.ind_v1(i,1);

        end
    end
end
ind_nod_lib=zeros(1,handles.Data1.Data.index_max);
for j=1:handles.Data1.Data.index_max
    ind_nod_lib(j)=j;
end
    
```

• **ASIGNACIÓN DE CARGAS EXTERNAS**

Para ingresar las cargas externas a las cuales va estar sometida la estructura, se crearon ventanas emergentes para asignar cargas puntuales sobre nodos (d) y elementos (a), cargas distribuidas (b) y cargas por momento flexionante puntual (c). Estas ventanas son mostradas en la Figura 67.

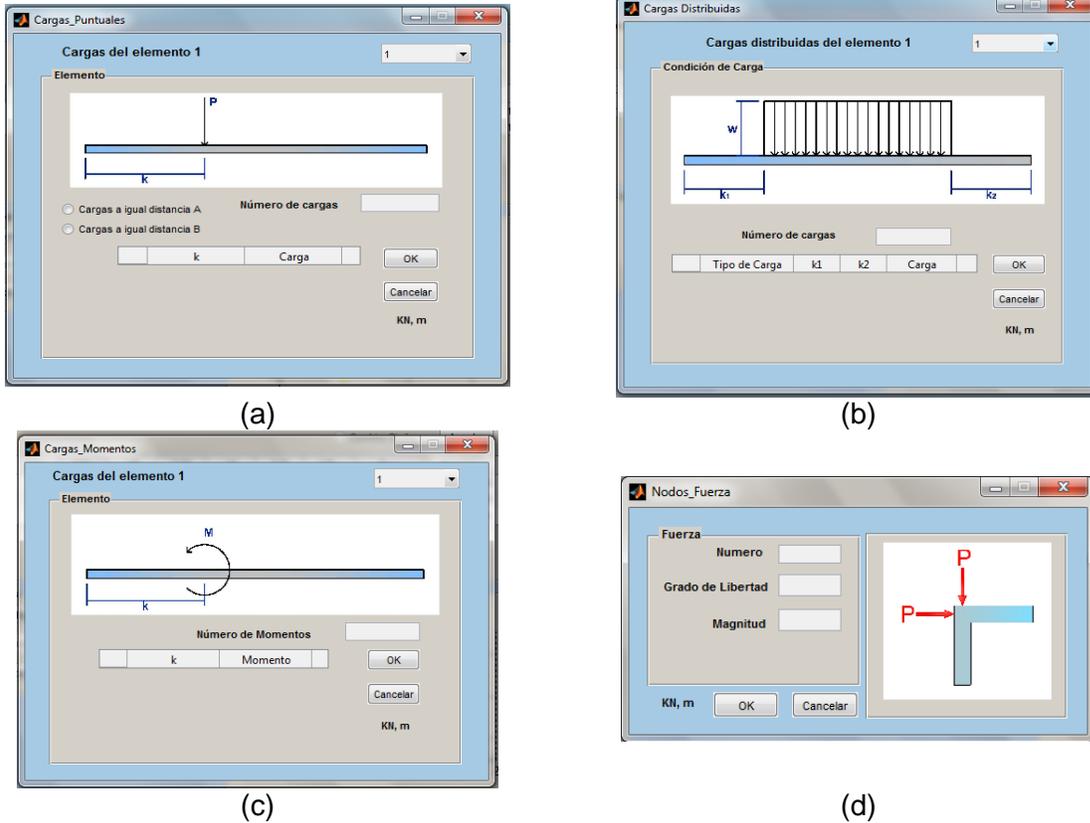


Figura 67 Inserción de fuerzas externas

Al asignar estas cargas se calcularan momentos de extremo de los miembros, mostrados a continuación, obtenidos con el método de trabajo virtual.

- Cargas Puntuales

$$Ma = P \cdot L \cdot k \cdot (1 - k)^2;$$

$$Mb = P \cdot L \cdot (k^2) \cdot (1 - k);$$

- Cargas Distribuidas rectangular

$$Ma(j, i) = 2 \cdot q \cdot c \cdot (a \cdot ((b/L)^2) - ((c/L)^2) \cdot ((3 \cdot b - L) / 3));$$

$$Mb(j, i) = 2 \cdot q \cdot c \cdot (b \cdot ((a/L)^2) - ((c/L)^2) \cdot ((3 \cdot a - L) / 3));$$

- Cargas Distribuidas Triangular Creciente de Izq-Der

$$Ma(j, i) = (2 \cdot q \cdot L^4 - 3 \cdot q \cdot L^3 \cdot a + 2 \cdot q \cdot L^3 \cdot b - 3 \cdot q \cdot L^2 \cdot a^2 - q \cdot L^2 \cdot a \cdot b + 2 \cdot q \cdot L^2 \cdot b^2 + 7 \cdot q \cdot L \cdot a^3 - 4 \cdot q \cdot L \cdot a^2 \cdot b + q \cdot L \cdot a \cdot b^2 - 18 \cdot q \cdot L \cdot b^3 - 3 \cdot q \cdot a^4 + 3 \cdot q \cdot a^3 \cdot b - 3 \cdot q \cdot a^2 \cdot b^2 + 3 \cdot q \cdot a \cdot b^3 + 12 \cdot q \cdot b^4) / (60 \cdot L^2);$$

$$Mb(j, i) = -(-3 \cdot q \cdot L^4 + 2 \cdot q \cdot L^3 \cdot a - 3 \cdot q \cdot L^3 \cdot b + 2 \cdot q \cdot L^2 \cdot a^2 - q \cdot L^2 \cdot a \cdot b + 27 \cdot q \cdot L^2 \cdot b^2 + 2 \cdot q \cdot L \cdot a^3 + q \cdot L \cdot a^2 \cdot b - 4 \cdot q \cdot L \cdot a \cdot b^2 - 33 \cdot q \cdot L \cdot b^3 - 3 \cdot q \cdot a^4 + 3 \cdot q \cdot a^3 \cdot b - 3 \cdot q \cdot a^2 \cdot b^2 + 3 \cdot q \cdot a \cdot b^3 + 12 \cdot q \cdot b^4) / (60 \cdot L^2);$$

- Cargas Distribuidas Triangular Decreciente de Izq-Der

$$Ma(j, i) = -(-3 \cdot q \cdot L^4 + 2 \cdot q \cdot L^3 \cdot a - 3 \cdot q \cdot L^3 \cdot b + 2 \cdot q \cdot L^2 \cdot a^2 - q \cdot L^2 \cdot a \cdot b + 27 \cdot q \cdot L^2 \cdot b^2 + 2 \cdot q \cdot L \cdot a^3 + q \cdot L \cdot a^2 \cdot b - 4 \cdot q \cdot L \cdot a \cdot b^2 - 33 \cdot q \cdot L \cdot b^3 - 3 \cdot q \cdot a^4 + 3 \cdot q \cdot a^3 \cdot b - 3 \cdot q \cdot a^2 \cdot b^2 + 3 \cdot q \cdot a \cdot b^3 + 12 \cdot q \cdot b^4) / (60 \cdot L^2);$$

$$M_b(j,i) = (2 * q * L^4 - 3 * q * L^3 * a + 2 * q * L^3 * b - 3 * q * L^2 * a^2 - q * L^2 * a * b + 2 * q * L^2 * b^2 + 7 * q * L * a^3 - 4 * q * L * a^2 * b + q * L * a * b^2 - 18 * q * L * b^3 - 3 * q * a^4 + 3 * q * a^3 * b - 3 * q * a^2 * b^2 + 3 * q * a * b^3 + 12 * q * b^4) / (60 * L^2);$$

- Momento Flexionante

$$M_a(j,i) = M * (1 - k) * ((3 * k) - 1);$$

$$M_b(j,i) = M * k * (2 - (3 * k));$$

• REALIZACION DEL ANÁLISIS

La función referida al análisis de las condiciones planteadas, será ejecutada desde el menú “Análisis” de la barra de menú de AEstruct2D o bien usando el comando “Ctrl+R”, posteriormente a la asignación de restricciones y cualquier tipo de carga se podrá efectuar el análisis, siempre y cuando la comprobación de los datos ingresados se haya dado sin ninguna eventualidad adversa.

Básicamente la función de “Realizar Análisis” es tomar la matriz de rigidez global de la estructura y los datos ingresados para restricciones y fuerzas externas, y efectuar el cálculo de desplazamientos desconocidos, reacciones en los nodos restringidos y fuerzas internas de cada uno de los miembros que conforman la estructura. Usando los principios del método de rigidez mencionados en la sección 3.3.5 de este documento. Una vez ejecutada esta función se activaran los botones del panel de resultados.

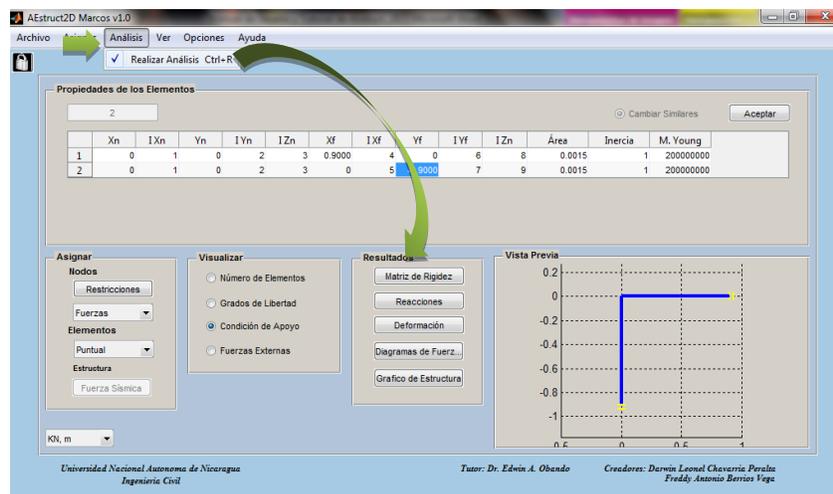


Figura 68 Función Analizar

Los cálculos se llevaran a cabo con el siguiente código;

```
%EXTRACCION DE MATRIZ K12 Y DESPLAZAMIENTOS CONOCIDOS
K12=zeros(length(ind_nod_lib),length(ind_nod_res));
D_know=zeros(length(ind_nod_res),1);

if isempty(M_despla)
    M_despla=zeros(size(Q_know_t));
end
```

```

for j = 1:length(ind_nod_lib)
    for jj = 1:length(ind_nod_res)
        K12(j,jj)=handles.Data.K_Global(ind_nod_lib(j),ind_nod_res(jj));
        D_know(jj,1)=M_despla(ind_nod_res(jj));
    end
end

D_unk=K11\ (Q_know-K12*D_know);
D_unknow=zeros(size(Q_know_t));

for j=1:1:length(ind_nod_lib)
    D_unknow(ind_nod_lib(j),1)=D_unk(j);
end

D_t=D_unknow+M_despla;

%EXTRACCION DE MATRIZ K21
K21=zeros(length(ind_nod_res),length(ind_nod_lib));

for j = 1:length(ind_nod_res)
    for jj = 1:length(ind_nod_lib)
        K21(j,jj)=handles.Data.K_Global(ind_nod_res(j),ind_nod_lib(jj));
    end
end

%EXTRACCION DE MATRIZ K22
K22=zeros(length(ind_nod_res),length(ind_nod_res));

for j = 1:length(ind_nod_res)
    for jj = 1:length(ind_nod_res)
        K22(j,jj)=handles.Data.K_Global(ind_nod_res(j),ind_nod_res(jj));
    end
end

Q_unk = K21*D_unk + K22*D_know;
Q_unknow=zeros(size(Q_know_t));

for j=1:1:length(ind_nod_res)
    Q_unknow(ind_nod_res(j),1)=Q_unk(j);
end

Q_t=zeros(size(Q_know_t));
for i=1:length(ind_nod_res)
    if Q_unknow(ind_nod_res(i))~=0
        Q_t(ind_nod_res(i))=Q_unknow(ind_nod_res(i))-
Q_know_t(ind_nod_res(i));
    end
end

despl=zeros(6,handles.Data.n_elem);

for j=1:handles.Data.n_elem
    Index(1)=handles.Data.i_coord_elem(1,1,j);
    Index(2)=handles.Data.i_coord_elem(1,2,j);
end

```

```

Index(3)=handles.Data.i_coord_elem(1,3,j);
Index(4)=handles.Data.i_coord_elem(2,1,j);
Index(5)=handles.Data.i_coord_elem(2,2,j);
Index(6)=handles.Data.i_coord_elem(2,3,j);
for i=1:length(Index)
    despl(i,j)=D_unknow(Index(i));
end
end

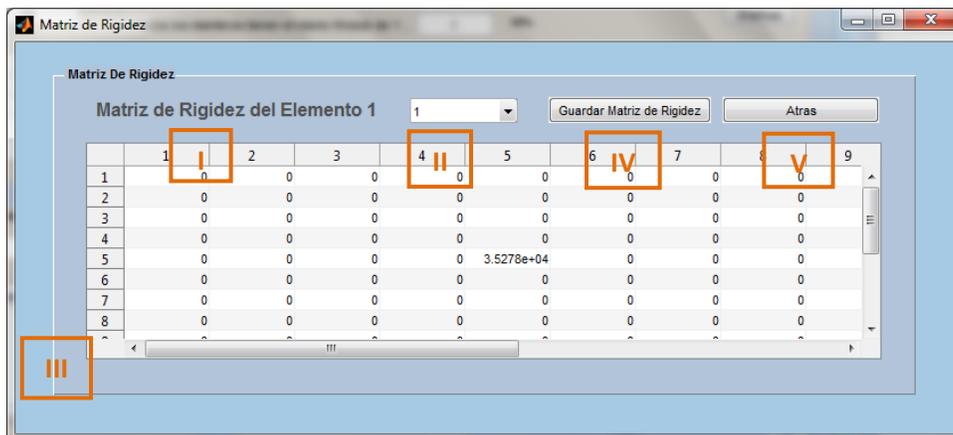
q=zeros(6,handles.Data.n_elem);

for i=1:handles.Data.n_elem
    q(:,i)=handles.Data.k_prim(:, :, i)*handles.Data.t(:, :, i)*despl(:, i);
end
qt=q-q0;
    
```

• **VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS**

Para la visualización de los resultados del análisis en este módulo se colocó un panel donde se ubica el botón para la obtención de las matrices de rigidez de los miembros y la matriz de rigidez global de la estructura.

El botón llamado “Matriz de Rigidez”, ubicado en la parte superior del panel de visualización de los resultados del análisis, el cual al ser pulsado ostentara una ventana para la visualización de las matrices de rigidez de cada uno de los elementos y la matriz de rigidez global de la estructura, la ventana emergente a la que se hace referencia se aprecia en la Figura 69.



**Figura 69 Ventana para la visualización de las matrices de rigidez**

Esta ventana está constituida de los siguientes elementos;

- I. Texto indicativo del miembro al que pertenece la matriz de rigidez mostrada, por defecto se mostrara la matriz del miembro número uno al abrir la ventana.
- II. Menú para la selección de la matriz que se desea observar, este desplegará los números de todos los miembro, además de las letras *KG* al

final del menú, símbolo que indica la matriz de rigidez global de la estructura.

Esta función esta comandada principalmente por el código mostrado a continuación;

```
a = handles.Data1.Data.Kn(:, :, 1);
format short g
set(handles.StiffnessMatrix1, 'data', a);
```

- III. Tabla para mostrar la matriz de rigidez del miembro o matriz de rigidez global de la estructura seleccionada en el menú de selección, esta tendrá el mismo número de filas y columnas, igual al máximo grado de libertad.

Esta tabla tendrá barras deslizantes para ayudar a la visualización de matrices con longitudes de filas y columnas extensas.

- IV. Botón “Guardar Matriz de Rigidez”, tal y como su nombre lo indica con este botón se podrá salvar la matriz de rigidez mostrada en un archivo de formato \*.txt.

La opción para obtener los resultados del análisis es la visualización de un archivo con extensión \*.xlsx ejecutado desde el menú “Archivo” de la barra de menús. El archivo tendrá contenidas las matrices de rigidez de cada elemento, la matriz de Rigidez Global de la estructura, los desplazamientos y reacciones de la estructura para cada grado de libertad y las fuerzas internas de cada elemento. Además de crear el archivo esta función abrirá el archivo al momento de ser ejecutada. Este archivo será nombrado por el usuario y además este podrá ubicarlo dentro de su ordenador en la dirección que desee solo tendrá que especificar estos datos en un cuadro de dialogo.

La visualización grafica de los resultados se abordara en la sección 4.2.6 de este documento.

#### 4.2.4. MÓDULO PARA LA ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS.

Este módulo es exclusivo para el análisis de marcos planos con el fin de facilitar la introducción de datos de área, inercia y Modulo de elasticidad en la matriz de inserción de datos, se ha diseñado una ventana para asignación de secciones transversales y materiales a los miembros de la estructura. Esta opción se ejecuta desde la barra de menús, en el menú “Asignar”, tal y como lo muestra la figura. Y se activara una vez sea indicado el número de miembros que componen la estructura.

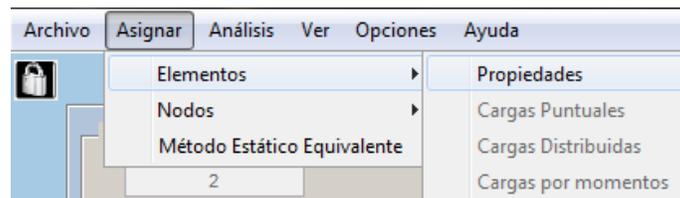


Figura 70 Ubicación de función de asignación de propiedades

- COMPONENTES DE LA VENTANA

La figura, muestra la ventana y los componentes que la constituyen; (a) Cuadro de Elementos, (b) Menú para selección del tipo de sección transversal, (c) Cuadro de Materiales, (d) Botón “Asignar”, (e) Botón Regresar, (f) Cuadro de valores asignados, (g) Botón para crear secciones, (h) Botón “Aceptar” y (i) Botón “Cancelar”.

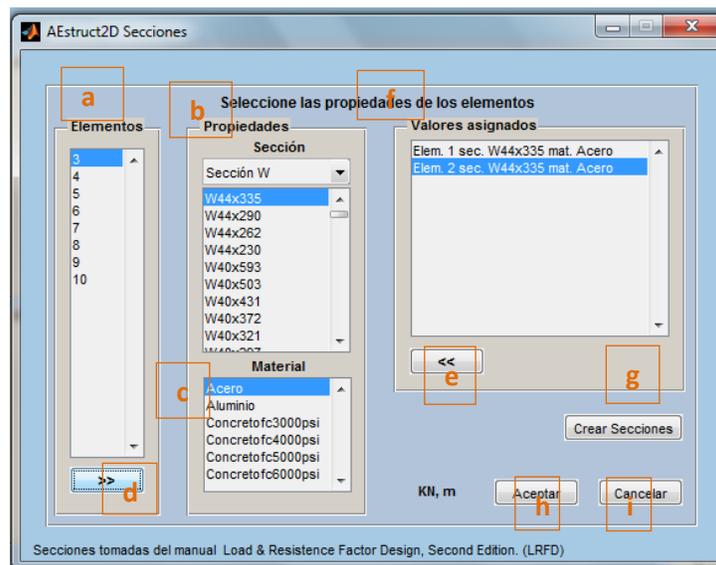


Figura 71 Componentes de Ventana AEstruct2D Secciones

- **SELECCIÓN DEL TIPO DE SECCIÓN**

En el menú de selección del tipo de sección se presentan la tipología de secciones mostrada en la figura, según el valor indicado en este menú se mostrara el grupo de secciones pertenecientes al tipo de sección. La última opción de este menú es el llamado “Mis Secciones”, en este se mostraran las secciones creadas por el usuario con la opción de creación de secciones.



**Figura 72 Menú para asignar el tipo de sección**

Los datos de las secciones W, canal, caja, angular, tubular circular fueron extraídas del Manual Load & Resistance Factor Design (LRFD) en su segunda edición.

- **CREACIÓN DE SECCIONES**

Para crear secciones el usuario tendrá que presionar el botón “Crear Secciones”, esta función agrandara la ventana mostrando las opción de creación según el tipo de sección seleccionado, es decir que si se selecciona una sección rectangular aparecerán las opciones de la Figura 73(a), en caso contrario, que sea seleccionada la sección circular, aparecerán las opciones de la Figura 73(b).

Para crear cualquier sección se debe definir el nombre con el cual se guardara, posteriormente si se crea una sección rectangular se deben indicar las dimensiones de base ( $B$ ), y altura o peralte ( $H$ ). Si se pretende crear una sección circular posteriormente a indicar el nombre de la sección se debe indicar el radio ( $R$ ) que describe la circunferencia de la sección.

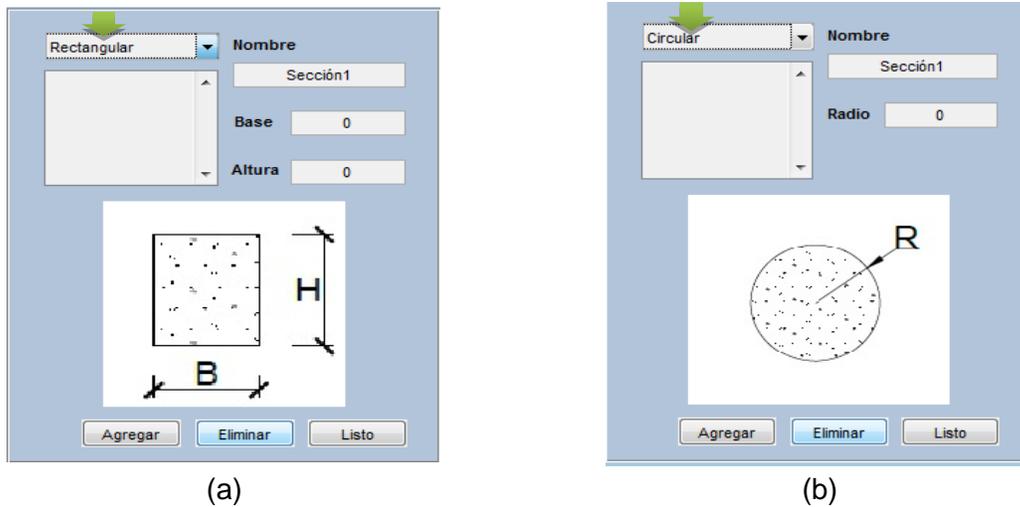


Figura 73 Opciones para crear secciones

Posteriormente a la indicación de las dimensiones de la sección se debe dar clic en el botón “Agregar”, si se desea “Eliminar” alguna sección entonces de clic sobre el botón eliminar, al finalizar la creación de sección presione en botón “Listo”.

- **ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES**

Al presionar el botón “Asignar” se llenara el cuadro de valores asignados con el elemento, sección y Material seleccionados, es decir que al elemento marcado le serán asignados la sección y material marcados. El proceso puede invertirse con el botón “Regresar”.

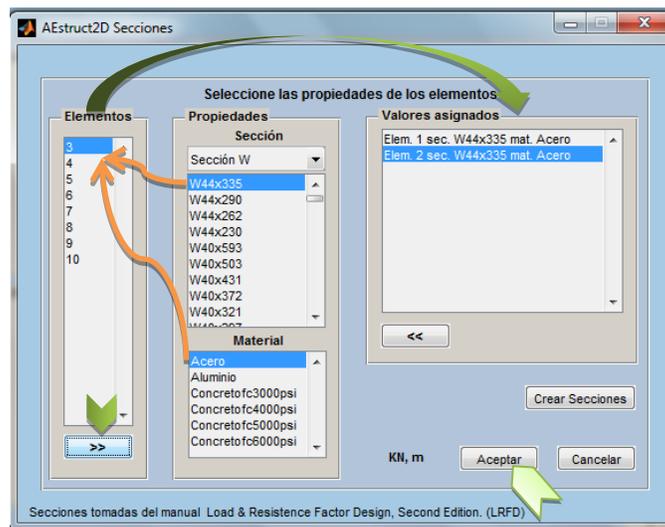


Figura 74 Asignación de propiedades

La asignación se llevara a cabo por medio del siguiente código:

```

val1=get(handles.listbox1, 'value');
str1=get(handles.listbox1, 'string');
val2=get(handles.listbox2, 'value');
str2=get(handles.listbox2, 'string');
    
```

```

val3=get(handles.listbox3, 'value');
str3=get(handles.listbox3, 'string');

Prop=handles.Data1.Prop;
index=str2double(str1{val1});
Prop(index,1)=cell2mat(handles.Data1.secciones(val2,2));
Prop(index,2)=cell2mat(handles.Data1.secciones(val2,3));
Prop(index,3)=cell2mat(handles.Data1.Material(val3,2));

handles.Data1.Elementos(val1)='';
long=length(handles.Data1.Elementos_Asig)+1;

elem_asig=[('Elem. '), (str1{val1}), ' sec. ', (str2{val2}), ' mat. ',
(str3{val3})];
handles.Data1.Elementos_Asig(long)={elem_asig};

```

Cabe resaltar que si el usuario no pretende asignarles secciones a algunos elementos, los valores de área, inercia y módulo de elasticidad serán conservados según la tabla de inserción de datos del módulo para el análisis de marcos.

Al finalizar la asignación el usuario deberá dar clic sobre el botón “Aceptar”, para guardar cambios y regresar a la ventana del módulo para el análisis de marcos.

#### 4.2.5. AUTOMATIZACIÓN DEL CÁLCULO DE FUERZAS SÍMICAS

La función de análisis sísmico de la herramienta AEstruct2D, está basada en el Reglamento Nacional de Nicaragua, 2007 (RNC-07), específicamente en el Método Estático Equivalente para la obtención de fuerzas laterales debidas a sismos. Esta función es ejecutada por el botón llamado “Fuerza Sísmica” ubicado dentro del panel “Asignar”. El botón “Fuerza Sísmica” solo se activara si se han ingresado cargas a la estructura y si en la barra de menús se activa el Método Estático Equivalente en el menú “Asignar”.

Al ser ejecutado el botón “Fuerza Sísmica” aparecerá la ventana mostrada en la figura, ventana en la que el usuario podrá ingresar datos ligados con el RNC-07, los cuales serán los que definan el coeficiente sísmico y por consiguiente las fuerzas laterales sobre la estructura.

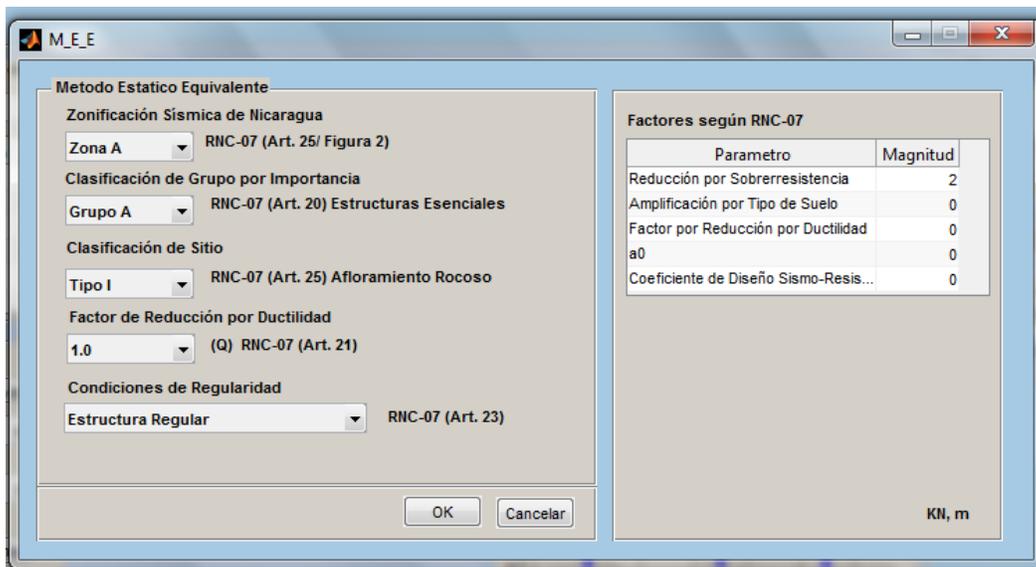


Figura 75 Ventana para el análisis de Fuerza Sísmica

La ventana permitirá que el usuario introduzca los datos de:

- Zona sísmica en la que se desplantara la estructura.
- Clasificación del grupo de estructura.
- Tipificación del suelo.
- Factor de reducción por ductilidad.
- Condiciones de regularidad de la estructura.
- Pesos sobre cada nivel.

Los requisitos para definir los parámetros mencionados fueron especificados uno a uno en la sección Cargas Debidas a Sismos de este documento.

Introducida cualquiera de las condiciones, se asignaran estos valores para realizar el cálculo de los factores a considerar en el análisis, los cuales serán mostrados en la tabla que se aprecia en la Figura 76(a). Conjuntamente se calcularan los pesos para cada nivel, los cuales se obtendrán de las cargas gravitatorias asignadas sobre los elementos de la estructura, en el caso que no sean introducidos manualmente por el usuario, y por ende las fuerzas laterales, tal y como se muestra en la Figura 76(b).

Parametro	Magnitud
Reducción por Sobrerresistencia	2
Amplificación por Tipo de Suelo	1
Factor de Reducción por Ductilidad...	1
a0	0.1000
Coefficiente de Diseño Sismo-Resis...	0.1350

Elevación	Pesos	Fuerza Sísmica
15	226	66.1942
12	250	58.5789
9	400	70.2947
6	450	52.7211
3	900	52.7211

(a) (b)  
**Figura 76 Tablas de resultados del análisis de fuerzas sísmicas**

Los datos de la tabla de fuerzas laterales debidas a sismo, está compuesta por tres columnas las cuales indicaran la elevación, pesos y elevación de cada nivel. AEstruct2D asignara las elevaciones automáticamente al igual que los pesos, y siguiendo lo estipulado por el RNC-07, calculara las Fuerzas laterales (Figura 76 b) empleando el coeficiente de diseño sismo-resistente mostrado en la tabla de Factores según el RNC-07.

Cabe recalcar que los pesos introducidos a AEstruct2D deben ser calculados usando las cargas vivas reducidas o cargas incidentales presentes en el Reglamento Nacional De Construcción, si este no fuere el caso entonces los resultados del análisis sísmico no serán confiables. Cada una de las fuerzas laterales en cada nivel se tomará igual al peso de la masa que corresponde, multiplicado por un coeficiente proporcional a h, siendo h la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables). *La sumatoria de las fuerzas sobre cada nivel debe igualar la fuerza cortante actuando a nivel basal ( $F_s = c W_0$ ), donde c; es el coeficiente de diseño sísmico y  $W_0$  es el peso total del edificio.*

La automatización del cálculo de coeficiente sísmico y fuerzas laterales se basó en el código mostrado;

```

if Tabla_Casos(1,2)==1
    S=1.0;
elseif Tabla_Casos(1,2)==2 && Tabla_Casos(1,4)==1
    S=1.8;
elseif Tabla_Casos(1,2)==2 && Tabla_Casos(1,4)==2
    S=1.7;
elseif Tabla_Casos(1,2)==2 && Tabla_Casos(1,4)==3

```

```

    S=1.5;
elseif Tabla_Casos(1,2)==3 && Tabla_Casos(1,4)==1
    S=2.4;
elseif Tabla_Casos(1,2)==3 && Tabla_Casos(1,4)==2
    S=2.2;
elseif Tabla_Casos(1,2)==3 && Tabla_Casos(1,4)==3
    S=2.0;
end

if Tabla_Casos(1,4)==1
    A0=0.10;
elseif Tabla_Casos(1,4)==2
    A0=0.20;
elseif Tabla_Casos(1,4)==3
    A0=0.30;
end

if Tabla_Casos(1,5)==1
    Casos_pri=Tabla_Casos(1,1);
elseif Tabla_Casos(1,5)==2

    Casos_pri=Tabla_Casos(1,1)*0.9;
    if Tabla_Casos(1,6)==1
        Casos_pri=Tabla_Casos(1,1)*0.9;
    elseif Tabla_Casos(1,6)==2
        Casos_pri=Tabla_Casos(1,1)*0.8;
    end

elseif Tabla_Casos(1,5)==3
    Casos_pri=Tabla_Casos(1,1)*0.7;
end

if Casos_pri <1;
    Casos_pri=1;
end

Coef_Sismico=(2.7*S*A0)/(2*Casos_pri);

if Coef_Sismico < (A0*S)
    Coef_Sismico=A0*S;
end

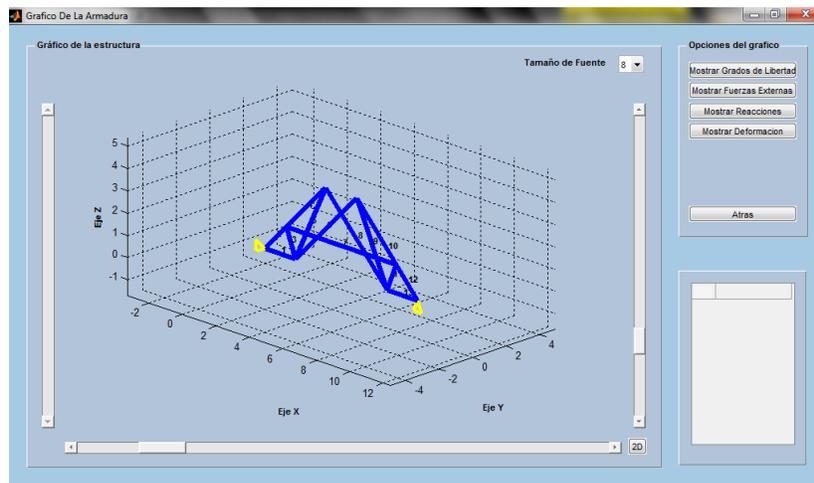
```

#### 4.2.6. VISUALIZACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS.

En esta sección se detallaran aspectos concernientes a la visualización grafica de resultados tanto para el módulo de armaduras como para el de marcos, además se abordara el modulo para visualizar diagramas de fuerzas internas (cortantes y momentos), destinado exclusivamente para el análisis de marcos.

- **MÓDULO PARA EL ANÁLISIS DE ARMADURAS**

Para la visualización del gráfico de la armadura, es el botón “Gráfico”, el cual al pulsarlo mostrara una ventana emergente, esta opción se activara solamente si el análisis ya fue efectuado, es decir se ha ejecutado la opción evaluar.



**Figura 77 Ventana emergente para visualizar gráfico de la armadura**

A continuación se muestran las opciones que esta ventana permite, además de los códigos que ejecutan cada opción:

- Visualizar del gráfico a escala de la estructura.

Esta acción se ejecutara al abrir la ventana;

```
cla
for j=1:handles.Armadura1.Data.n_elem

line('xdata',[handles.Armadura1.Data.coord_elem(1,1,j),handles.Armadura1.Data.coord_elem(2,1,j)],...
'zdata',[handles.Armadura1.Data.coord_elem(1,2,j),handles.Armadura1.Data.coord_elem(2,2,j)],...
'ydata',[0,0],'color','b','LineWidth',5)

end
```

- Observar la condición de apoyo de la estructura.

Al igual que la acción anterior, esta se ejecutara al abrir la ventana;

```
Graficar_Armadura(hObject, eventdata, handles)
apoyos(hObject, eventdata, handles)
```

- **Apreciar la numeración asignada a cada elemento.**

Acción ejecutada en el inicio de la ventana;

```
for j=1:handles.Armadura1.Data.n_elem
    px =
        (handles.Armadura1.Data.Matriz_1(j,1)+handles.Armadura1.Data.Matriz_1(j,5)
        )/2;
    py =
        (handles.Armadura1.Data.Matriz_1(j,3)+handles.Armadura1.Data.Matriz_1(j,7)
        )/2;
    text(px+handles.Armadura1.Data.L_max*0.015,0,...
         py+handles.Armadura1.Data.L_max*0.025,num2str(j),...
         'FontSize',handles.Armadura1.FontSize,'FontWeight','bold','color',
         [0,0,0])
end
```

- **Ver índices de grados de libertad para cada nodo de la armadura.**

Acción ejecutada desde el botón “Mostrar Grados de Libertad” ubicado en el panel “Opciones de Grafico”.

```
state = find(strcmp(str,handles.Strings1));
% Toggle the button label to other string
set(hObject,'String',handles.Strings1{3-state});

if (state == 1)
    Graficar_Grados_de_Libertad(hObject, eventdata, handles)
end
```

- **Ver las fuerzas externas aplicadas sobre la armadura.**

Acción ejecutada desde el botón “Mostrar Fuerzas Externas” ubicado en el panel “Opciones de Grafico”.

```
str = get(hObject,'String'); % get the current pushbutton string
state = find(strcmp(str,handles.Strings2));
% Toggle the button label to other string
set(hObject,'String',handles.Strings2{3-state});
aa = find(handles.Armadura1.Data.Matriz_3(:,2) ~= 0,1);
if isempty(aa)
    set(hObject,'String','Mostrar Fuerzas Externas');
else
    if (state == 1)
        Graficar_Fuerzas_Externas(hObject, eventdata, handles)
    else
        Graficar_Armadura(hObject, eventdata, handles)
        apoyos(hObject, eventdata, handles)
    end
end
```

- **La visualización de las reacciones producidas por las cargas asignadas.**

Acción ejecutada desde el botón “Mostrar Reacciones” ubicado en el panel “Opciones de Grafico”.

```
str = get(hObject,'String'); % get the current pushbutton string
% Determine which string the label matches
state = find(strcmp(str,handles.Strings4));
% Toggle the button label to other string
set(hObject,'String',handles.Strings4{3-state});
aa = find (handles.Armadura1.Data.Fuerzas(:,1) ~= 0,1);

if isempty(aa)
    set(hObject,'String','Mostrar Fuerzas Externas');
else
    if (state == 1)
        Graficar_Reacciones(hObject, eventdata, handles)
    else
        Graficar_Armadura(hObject, eventdata, handles)
        apoyos(hObject, eventdata, handles)
    end
end
```

- Ver la deformación de la estructura.

El código mostrado a continuación se ejecuta desde el botón “Mostrar Deformación”;

```
cla
for j=1:handles.Armadura1.Data.n_elem

line('xdata',[handles.Armadura1.Data.coord_elem(1,1,j),handles.Armadura1.
Data.coord_elem(2,1,j)],...

'zdata',[handles.Armadura1.Data.coord_elem(1,2,j),handles.Armadura1.Data.
coord_elem(2,2,j)],...
    'ydata',[0,0],'color','b','LineWidth',5)
line('xdata',[coord_elem_2(1,1,j),coord_elem_2(2,1,j)],...
    'zdata',[coord_elem_2(1,2,j),coord_elem_2(2,2,j)],...
    'ydata',[0,0],'Color','r','LineWidth',3)

    px =
(handles.Armadura1.Data.Matriz_1(j,1)+handles.Armadura1.Data.Matriz_1(j,5
))/2;
    py =
(handles.Armadura1.Data.Matriz_1(j,3)+handles.Armadura1.Data.Matriz_1(j,7
))/2;
    text(px+handles.Armadura1.Data.L_max*0.015,0,...
        py+handles.Armadura1.Data.L_max*0.025,num2str(j),...

'FontSize',handles.Armadura1.FontSize,'FontWeight','bold','color',
[0,0,0])
end
```

- Apreciar los desplazamientos para cada grado de libertad.

Este código puede ser ejecutado si el botón “Mostrar Deformación” ha sido activado;

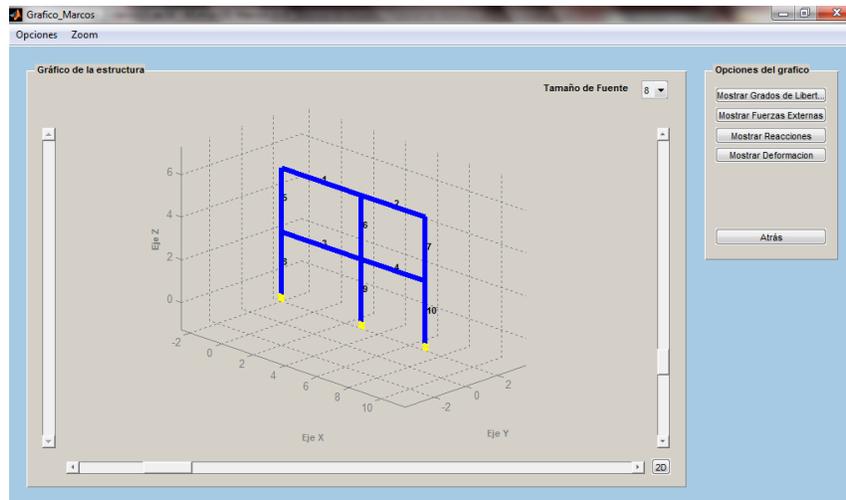
```

aa = find (handles.Armadura1.Data.Desplazamientos(:,1) ~= 0,1);
if isempty(aa)
    set(hObject,'String','Mostrar Fuerzas Externas');
    errordlg('No hay deformacion en la estructura','Error','modal');
else
    if (state == 1)
        set(handles.Desplazamientos, 'data',
handles.Armadura1.Data.Desplazamientos);
        set(handles.Desplazamientos, 'ColumnName', 'Desplazamientos ');
    end
end
end

```

• **MÓDULO PARA EL ANÁLISIS DE MARCOS**

La opción para la visualización del gráfico del marco, esta comandada por el botón “Grafico de Estructura”, al activarlo aparecerá una ventana emergente, mostrada en la Figura 78.



**Figura 78 Ventana emergente para visualizar gráfico del marco**

A continuación se muestran las opciones que esta ventana permite, además de los códigos que ejecutan cada opción:

- Visualizar del gráfico a escala de la estructura.

Esta acción se ejecutara al abrir la ventana;

```

cla
for j=1:handles.Marco.Data.n_elem
line('xdata',[handles.Marco.Data.coord_elem(1,1,j),handles.Marco.Data.coord_elem(2,1,j)],...
'zdata',[handles.Marco.Data.coord_elem(1,2,j),handles.Marco.Data.coord_elem(2,2,j)],...
'ydata',[0,0], 'color','b', 'LineWidth',LineWidth)
end

```

- Observar la condición de apoyo de la estructura.

Al igual que la acción anterior, esta se ejecutara al abrir la ventana;

```
val=0;
apoyos(hObject, eventdata, handles, val, color)
```

- Apreciar la numeración asignada a cada elemento.

Acción ejecutada en el inicio de la ventana;

```
for j=1:handles.Marco.Data.n_elem

px =
(handles.Marco.Data.Matriz_1(j,1)+handles.Marco.Data.Matriz_1(j,6))/2;
py =
(handles.Marco.Data.Matriz_1(j,3)+handles.Marco.Data.Matriz_1(j,8))/2;
text(px+handles.Marco.Data.L_max*0.015,0,...
py+handles.Marco.Data.L_max*0.025,num2str(j),...
'FontSize',handles.Marco.FontSize,'FontWeight','bold','color',
Color_Elem)
end
```

- Ver índices de grados de libertad para cada nodo de la armadura.

Acción ejecutada desde el botón “Mostrar Grados de Libertad” ubicado en el panel “Opciones de Grafico”.

```
state = find(strcmp(str,handles.Strings1));
% Toggle the button label to other string
set(hObject,'String',handles.Strings1{3-state});

if (state == 1)
Graficar_Grados_de_Libertad(hObject, eventdata, handles)
end
```

- Ver las fuerzas externas aplicadas sobre la armadura.

Acción ejecutada desde el botón “Mostrar Fuerzas Externas” ubicado en el panel “Opciones de Grafico”.

```
str = get(hObject,'String'); % get the current pushbutton string
state = find(strcmp(str,handles.Strings2));
% Toggle the button label to other string
set(hObject,'String',handles.Strings2{3-state});
aa = find(handles.Marco.Data.Matriz_3(:,2) ~= 0,1);
if isempty(aa)
set(hObject,'String','Mostrar Fuerzas Externas');
else
if (state == 1)
Graficar_Fuerzas_Externas(hObject, eventdata, handles)
else
Graficar_Marco(hObject, eventdata, handles)
apoyos(hObject, eventdata, handles)
end
end
```

- La visualización de las reacciones producidas por las cargas asignadas.

Acción ejecutada desde el botón “Mostrar Reacciones” ubicado en el panel “Opciones de Grafico”.

```
str = get(hObject, 'String'); % get the current pushbutton string
% Determine which string the label matches
state = find(strcmp(str,handles.Strings4));
% Toggle the button label to other string
set(hObject, 'String',handles.Strings4{3-state});
aa = find (handles.Marco.Data.Fuerzas(:,1) ~= 0,1);

if isempty(aa)
    set(hObject, 'String', 'Mostrar Fuerzas Externas');
else
    if (state == 1)
        Graficar_Reacciones(hObject, eventdata, handles)
    else
        Graficar_Marco(hObject, eventdata, handles)
        apoyos(hObject, eventdata, handles)
    end
end
end
```

- Ver la deformación de la estructura.

El código mostrado a continuación se ejecuta desde el botón “Mostrar Deformación”;

```
cla
for j=1:handles.Marco.Data.n_elem

line('xdata', [handles.Marco.Data.coord_elem(1,1,j),handles.Marco.Data.coord_elem(2,1,j)],...

'zdata', [handles.Marco.Data.coord_elem(1,2,j),handles.Marco.Data.coord_elem(2,2,j)],...
    'ydata', [0,0], 'color', 'b', 'LineWidth', 5)
line('xdata', [coord_elem_2(1,1,j),coord_elem_2(2,1,j)],...
    'zdata', [coord_elem_2(1,2,j),coord_elem_2(2,2,j)],...
    'ydata', [0,0], 'Color', 'r', 'LineWidth', 3)

    px = (handles.Marco.Data.Matriz_1(j,1)+handles.Marco.Data.Matriz_1(j,5))/2;
    py = (handles.Marco.Data.Matriz_1(j,3)+handles.Marco.Data.Matriz_1(j,7))/2;
    text(px+handles.Marco.Data.L_max*0.015,0,...
        py+handles.Marco.Data.L_max*0.025,num2str(j),...
        'FontSize',handles.Marco.FontSize, 'FontWeight', 'bold', 'color',
[0,0,0])
end
```

- Apreciar los desplazamientos para cada grado de libertad.

Este código puede ser ejecutado si el botón “Mostrar Deformación” ha sido activado;

```

for k=1:handles.Marco.Data.n_elem
for i=1:2
xi=handles.Marco.Data.coord_elem(i,1,k);
yi=handles.Marco.Data.coord_elem(i,2,k);
ind=0;
for j=1:length(rev(:,1))
if (rev(j,1)~=xi) || (rev(j,2)~=yi)
ind=ind+1;
end
end

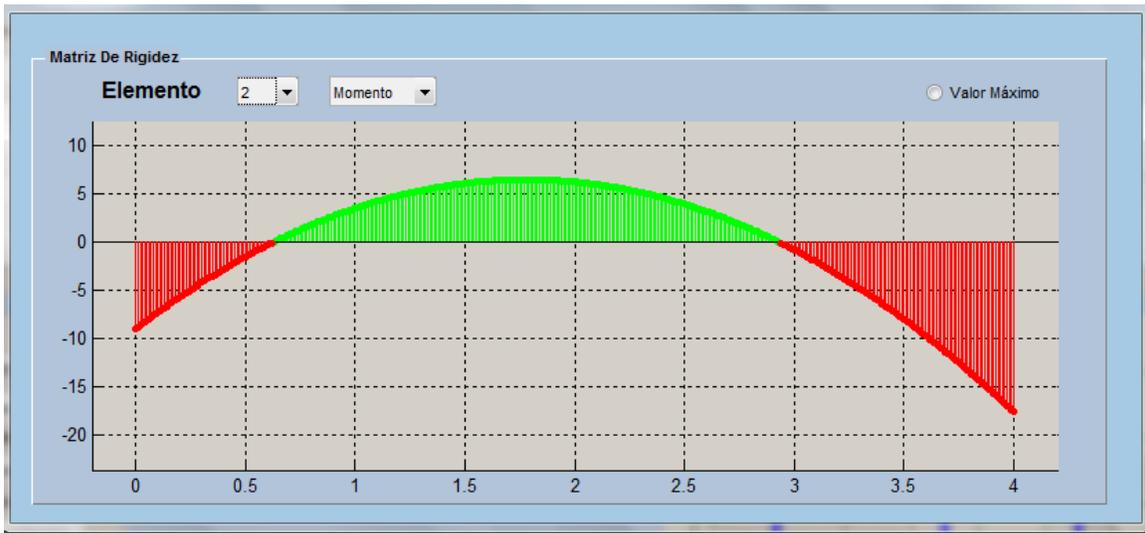
if ind==j
index=index+1;
rev(index,1:2)=[xi,yi];
nod(i,k)=plot3(xi,0,yi, 'LineStyle', '-',...
'Color', [1 0 0],...
'Marker', 'o',...
'MarkerFaceColor', [1 0 0],...
'HandleVisibility', 'off',...
'Visible', 'off');
texto1(i,k)=text((xi+m/4),...
0,yi+m/4+3*handles.Marco.FontSize*m/40,['U1 = ',...
num2str(handles.Marco.Data.D_t(handles.Marco.Data.i_coord_elem(i,1,k))),...
...
' ',handles.Marco.Data.unit_1],...
'FontSize',handles.Marco.FontSize, 'color', [1,1,1],...
'HandleVisibility', 'off',...
'Visible', 'off');
texto2(i,k)=text((xi+m/4),...
0,yi+m/4+2*handles.Marco.FontSize*m/40,['U2 = ',...
num2str(handles.Marco.Data.D_t(handles.Marco.Data.i_coord_elem(i,2,k))),...
...
' ',handles.Marco.Data.unit_1],...
'FontSize',handles.Marco.FontSize, 'color', [1,1,1],...
'HandleVisibility', 'off',...
'Visible', 'off');
texto3(i,k)=text((xi+m/4),...
0,yi+m/4+handles.Marco.FontSize*m/40,['U3 = ',...
num2str(handles.Marco.Data.D_t(handles.Marco.Data.i_coord_elem(i,3,k))),...
...
' ','rad'],...
'FontSize',handles.Marco.FontSize, 'color', [1,1,1],...
'HandleVisibility', 'off',...
'Visible', 'off');
end
end
end

```

• **MÓDULO PARA VISUALIZAR DIAGRAMA DE FUERZAS INTERNAS**

Concerniente a la visualización de las fuerzas internas para cada elemento de las estructuras analizadas con el módulo de marcos, AEstruct2D presenta la opción de observar estos resultados en una ventana emergente. Luego de ingresar las reacciones sobre la estructura y de su inmediato análisis, se activara el botón “Diagrama de Fuerzas”, el cual al ser presionado mostrara la ventana que se

aprecia en la Figura 79. En él se podrán ver los gráficos de fuerzas cortantes y momentos flexionantes para toda la longitud de cada elemento de la estructura.



**Figura 79 Visualizar fuerzas internas producidas en los elementos**

Los valores rojos que se aprecian en el diagrama indican valores negativos y los de color verde indican valores positivos tanto para momentos flexionantes como para fuerzas cortantes.

Esta ventana está constituida por las opciones:

- Selección del elemento
- Elección del tipo de diagrama
- Observar valores en cualquier punto sobre el elemento
- Visualización del máximo valor

Estas opciones son ejecutadas principalmente por la función ostentada;

```

set(handles.text3,'string','')
set(handles.Data1.linecross,'visible','off')
set(handles radiobutton1,'value',0)
val = get(handles.Elem_selector,'Value');
cla
cont_plus=0;
cont_minus=0;
for i = 1:handles.Data1.Data.n_elem
    switch val;
        case i
            try
                [x,yt_dist]=Graph_Dist(hObject, eventdata, handles,i);
            catch
            end
            try
                [x,yt_punt]=Graph_Punt(hObject, eventdata, handles,i);
            catch
            end
    end
end
    
```

```

        [x,yt_moment]=Graph_Moment(hObject, eventdata, handles,i);
        if ~isempty(Q_Dist) && ~isempty(Q_Puntuales) &&
~isempty(Q_Momentos)
            yt=yt_dist+yt_punt+yt_moment;
        elseif ~isempty(Q_Dist) && ~isempty(Q_Puntuales) &&
isempty(Q_Momentos)
            yt=yt_dist+yt_punt;
        elseif ~isempty(Q_Dist) && isempty(Q_Puntuales) &&
~isempty(Q_Momentos)
            yt=yt_dist+yt_moment;
        elseif isempty(Q_Dist) && ~isempty(Q_Puntuales) &&
~isempty(Q_Momentos)
            yt=yt_punt+yt_moment;
        elseif ~isempty(Q_Dist) && isempty(Q_Puntuales) &&
isempty(Q_Momentos)
            yt=yt_dist;
        elseif isempty(Q_Dist) && isempty(Q_Puntuales) &&
~isempty(Q_Momentos)
            yt=yt_moment;
        elseif isempty(Q_Dist) && ~isempty(Q_Puntuales) &&
isempty(Q_Momentos)
            yt=yt_punt;
        elseif isempty(Q_Dist) && isempty(Q_Puntuales) &&
isempty(Q_Momentos)
            yt=yt_dist;
        elseif isempty(Q_Dist) && ~isempty(Q_Puntuales) &&
isempty(Q_Momentos)
            yt=yt_punt;
        elseif isempty(Q_Dist) && isempty(Q_Puntuales) &&
isempty(Q_Momentos)
            yt=yt_moment;
        else
            yt=yt_dist;
        end
    end
    if
    (handles.Data1.Data.coord_elem(1,1,i)==handles.Data1.Data.coord_elem(2,1,
i)&&... %VERTICAL
handles.Data1.Data.coord_elem(1,2,i)<handles.Data1.Data.coord_elem(2,2,i)
) %N ABJ >> F ARRB
        Ra=handles.Data1.Data.qt(2,i);
        Ma=handles.Data1.Data.qt(3,i);
    elseif
    (handles.Data1.Data.coord_elem(1,1,i)==handles.Data1.Data.coord_elem(2,1,
i)&&... % VERTICAL
handles.Data1.Data.coord_elem(1,2,i)>handles.Data1.Data.coord_elem(2,2,i)
) %N ARRB >> F ABJ
        Ra=-handles.Data1.Data.qt(5,i);
        Ma=handles.Data1.Data.qt(6,i);
    elseif
    (handles.Data1.Data.coord_elem(1,2,i)==handles.Data1.Data.coord_elem(2,2,
i) &&... %HORIZONTAL
handles.Data1.Data.coord_elem(1,1,i)>handles.Data1.Data.coord_elem(2,1,i)
)
        Ra=-handles.Data1.Data.qt(5,i);
        Ma=handles.Data1.Data.qt(6,i);
    else
        Ra=handles.Data1.Data.qt(2,i);
        Ma=handles.Data1.Data.qt(3,i);
    end
    val1 = get(handles.Diagrama, 'Value');

```

```

    for j=1:length(yt)
        if vall==1
            Y_t(j)=yt(j)+Ra;
        else
            Y_t(j)=yt(j)+(Ra.*x(j))-Ma;
        end
    end
    for index=1:length(x)
        if Y_t(index)<=0
            cont_minus=cont_minus+1;
            ytminus(cont_minus)=Y_t(index);
            xminus(cont_minus)=x(index);
        else
            cont_plus=cont_plus+1;
            ytplus(cont_plus)=Y_t(index);
            xplus(cont_plus)=x(index);
        end
    end
    try
        h1=stem(xplus,ytplus);
        set(h1, 'color', 'green', 'MarkerSize',
2, 'MarkerFaceColor', 'green', 'MarkerEdgeColor', 'green')
    catch
    end
    try
        h2=stem(xminus,ytminus);
        set(h2, 'color', 'red', 'MarkerSize',
2, 'MarkerFaceColor', 'red', 'MarkerEdgeColor', 'red')
    catch
    end
    handles.Data1.x=x;
    handles.Data1.y=Y_t;
    guidata(hObject,handles)
    encuadrar_grafico(hObject, eventdata, handles,x,Y_t)
    break
end
end

main = handles.FI_E;

try
    if(ishandle(main))
        mainHandles = guidata(main);
        lines= mainHandles.Data.lines;
        set(lines, 'visible', 'off');
        set(lines(:,val), 'visible', 'on');
    end
catch
end

```

## V VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE AESTRUCT2D V1.0

Para validar el desempeño de AEstruct2D para ambos módulos, es decir, para el análisis de armaduras planas y para análisis de marcos planos se procedió con la comparación de resultados entre estos y los proporcionados por el programa Sap2000v.14 de la empresa Computers and Structures, Inc.

### 5.1. VALIDACION DEL MÓDULO DE ARMADURAS

Para la validación de resultados referentes al módulo de Armaduras planas, supondremos la realización de dos armaduras las cuales resolveremos en AEstruct2D y en Sap2000 luego compararemos los resultados arrojados.

#### 5.1.1. MODELAJE DE ARMADURA A

Determine la fuerza en cada miembro de la armadura en la figura, si el soporte en el nudo 1 se desplaza hacia abajo 25mm considere  $AE = 8(10^3) KN$ . (Ejemplo resuelto 14-5 del Libro Russell Hibberler 3ª edición)

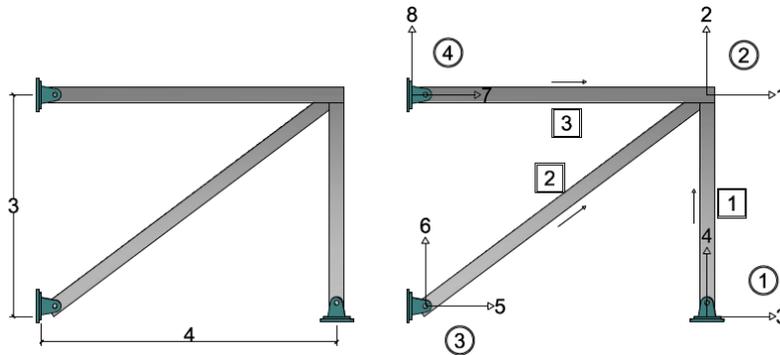


Figura 80 Armadura A – Grafico

- **MODELAJE DE ARMADURA A EN AEstruct2D**

#### Propiedades Físicas Y Geométricas De Los Elementos

Para definir la configuración geométrica y las propiedades de la armadura a analizar en AEstruct2D se ingresó en la matriz de entrada principal la siguiente tabla en unidades  $KN, m$ :

Tabla 3 Armadura A - Propiedades y geometría											
Elemento	Xn	Yn	Xf	Yf	I <sub>Xn</sub>	I <sub>Yn</sub>	I <sub>Xf</sub>	I <sub>Yf</sub>	Area	M. Young	
1	4	3	4	1	4	4	1	3	4.00E-05	199947953	
2	4	1	2	0	4	0	5	0	4.00E-05	199947953	
3	0	7	3	8	4	1	3	2	4.00E-05	199947953	

En este momento ya ha sido creada la matriz de rigidez de cada elemento y la matriz de rigidez global de la armadura como tal, de igual forma es posible visualizar la estructura en el panel de vista previa, la cual generó el siguiente gráfico.

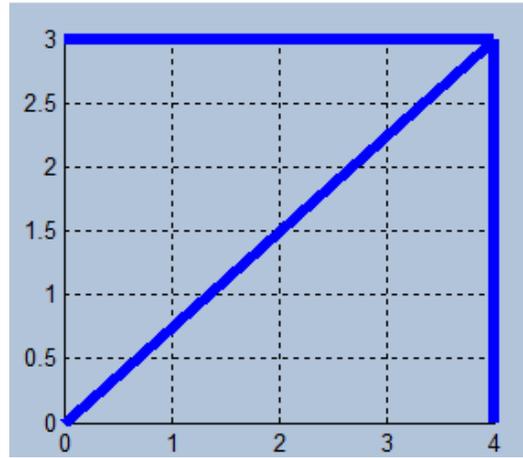


Figura 81 Armadura A – Grafico AEstruct2D

### Restricciones Y Fuerzas Asignadas

Luego se procedió a ingresar en AEstruct2D las restricciones a los nodos pertinentes quedando de la siguiente manera:

Tabla 4 Armadura A – Desplazamientos conocidos	
G. de Lib.	Despl. (m)
3	0
4	-0.025
5	0
6	0
7	0
8	0

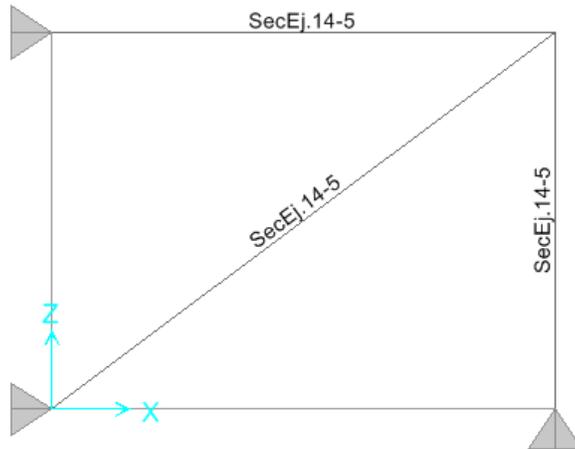
Esto indica que estos grados de libertad están restringidos, dado que se conoce que no se desplazaran o bien, se conoce cuanto es el desplazamiento máximo que se puede generar debido a una restricción parcial en el nodo correspondiente.

Dado que no existen cargas externas en la estructura los grados de libertad correspondientes al nodo 2 no se deben editar.

Tabla 5 Armadura A – Fuerzas Externas	
G. de Lib.	Fuerza
1	0
2	0

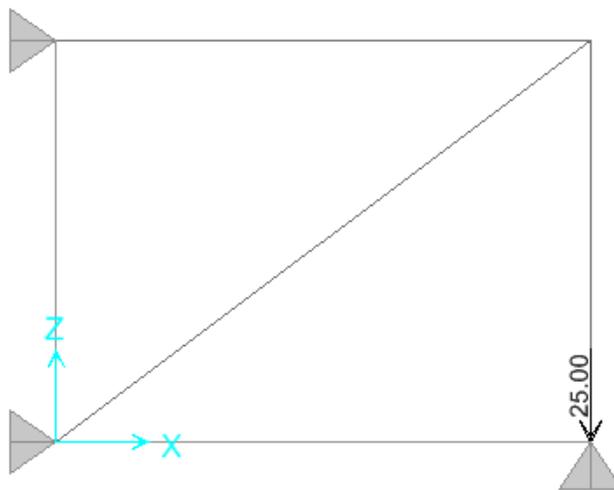
- **MODELAJE DE LA ARMADURA A EN Sap2000**

De igual forma se realizó el análisis en el programa Sap2000 en donde se asignaron todas las propiedades para cada elemento, para esto se creó una sección de acero que fuera equivalente a  $AE = 8(10^3) KN$  la cual llamamos "SecEj.14-5".



**Figura 82 Armadura A – Grafico Sap200**

Posteriormente se restringieron los momentos en los extremos de los elementos para que la estructura mostrada trabaje como una armadura, se asignó el desplazamiento de  $25mm$  en el nodo correspondiente según lo indica el ejercicio planteado y se ejecutó el análisis.



**Figura 83 Armadura A – Desplazamientos**

• **COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

Una vez realizado el análisis de la armadura en ambos programas Sap2000 y AEstruct2D se procedió a realizar la comparación de los resultados arrojados con los que presenta el libro de referencia, obteniendo la siguiente tabla comparativa correspondiente a los desplazamientos en los nudos:

**Tabla 6 Armadura A - Comparación de resultados de Desplazamientos**

Grado de Lib.	AEstruc2D	Sap2000	Hibbeler
1	0.00555556 m	0.005556 m	0.00556 m
2	-0.021875 m	-0.021875 m	-0.021875 m

Como se puede observar Sap2000 arroja valores similares a los que arroja AEstruct2D y a los que presenta el libro en sus respuestas, se podría decir que los resultados son idénticos y que las razones por las cuales difieren es por precisión de decimales o efectos de redondeo. Por otro lado también se compararon las fuerzas internas y las reacciones en los apoyos, los valores obtenidos fueron:

**Tabla 7 Armadura A - Comparación de resultados de Reacciones en los nudos**

Grado de Lib.	AEstruc2D	Sap2000	Hibbeler
3	0 KN	0 KN	0 KN
4	-8.33333319 KN	-8.332 KN	-8.34 KN
5	11.1111109 KN	11.11 KN	11.1 KN
6	8.33333319 KN	-8.332 KN	8.34 KN
7	-11.1111109 KN	-11.11 KN	-11.1 KN
8	0 KN	-6.80E-16 KN	0 KN

**Tabla 8 Armadura A - Comparación de resultados de Fuerzas internas**

Elemento	AEstruc2D	Sap2000	Hibbeler
1	8.333333185	8.332	8.34
2	-13.88888864	-13.887	-13.9
3	11.11111091	11.11	11.1

De forma similar a los desplazamientos, las variaciones entre los resultados de las reacciones en los apoyos y fuerzas internas en los elementos son muy pequeñas y podríamos atribuirlo al número de cifras significativas con las que se presentan las magnitudes.

### 5.1.2. MODELAJE DE ARMADURA B

Determine la fuerza en cada miembro de la armadura de la Figura 84, considere que todas las son de sección transversal cuadrada de 8 cm de lado y el material es acero de  $E = 21(10^4 \text{ kg/cm}^2)$ .

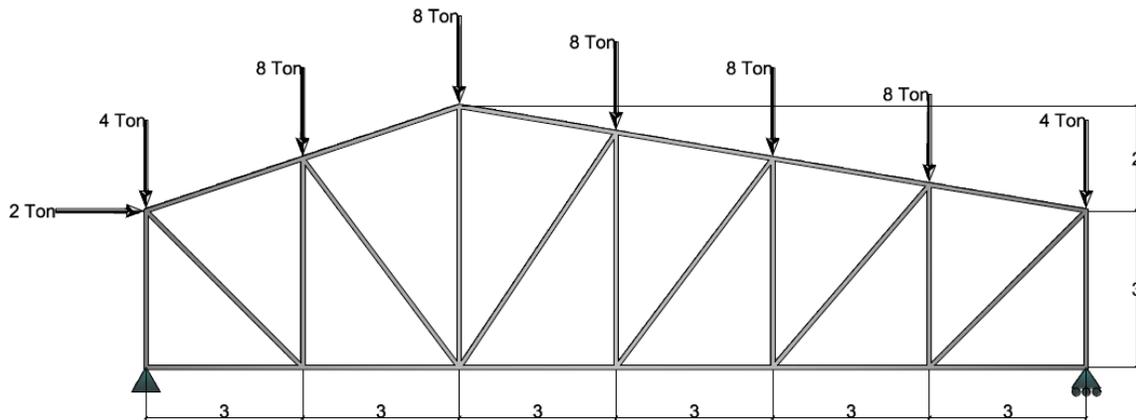


Figura 84 Armadura B – Grafico

- MODELAJE DE ARMADURA B EN AEstruct2D

#### Propiedades Físicas Y Geométricas De Los Elementos

Para definir la configuración geométrica y las propiedades de la armadura a analizar en AEstruct2D se ingresó en la matriz de entrada principal la siguiente tabla en unidades  $Ton, m$ :

Tabla 9 Armadura B – Propiedades y geometría

Elemento	Xn	I Xn	Yn	I Yn	Xf	I Xf	Yf	I Yf	Área	M. Young
1	0	27	0	28	0	1	3	2	0.0064	210000000
2	3	15	0	16	3	3	4	4	0.0064	210000000
3	6	17	0	18	6	5	5	6	0.0064	210000000
4	9	19	0	20	9	7	4.5	8	0.0064	210000000
5	12	21	0	22	12	9	4	10	0.0064	210000000
6	15	23	0	24	15	11	3.5	12	0.0064	210000000
7	18	25	0	26	18	13	3	14	0.0064	210000000
8	0	27	0	28	3	15	0	16	0.0064	210000000
9	3	15	0	16	6	17	0	18	0.0064	210000000
10	6	17	0	18	9	19	0	20	0.0064	210000000
11	9	19	0	20	12	21	0	22	0.0064	210000000
12	12	21	0	22	15	23	0	24	0.0064	210000000
13	15	23	0	24	18	25	0	26	0.0064	210000000
14	0	1	3	2	3	3	4	4	0.0064	210000000
15	3	3	4	4	6	5	5	6	0.0064	210000000
16	6	5	5	6	9	7	4.5	8	0.0064	210000000
17	9	7	4.5	8	12	9	4	10	0.0064	210000000
18	12	9	4	10	15	11	3.5	12	0.0064	210000000
19	15	11	3.5	12	18	13	3	14	0.0064	210000000
20	0	1	3	2	3	15	0	16	0.0064	210000000
21	3	3	4	4	6	17	0	18	0.0064	210000000
22	6	17	0	18	9	7	4.5	8	0.0064	210000000
23	9	19	0	20	12	9	4	10	0.0064	210000000
24	12	21	0	22	15	11	3.5	12	0.0064	210000000
25	15	23	0	24	18	13	3	14	0.0064	210000000

Con estos valores de entrada es se ha generado el siguiente gráfico:

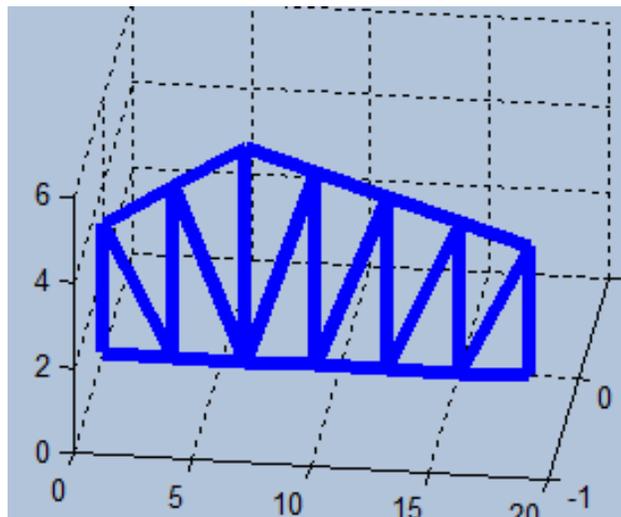


Figura 85 Armadura B – Grafico AEstruct2D

### Restricciones Y Fuerzas Asignadas

Luego se procedió a ingresar en AEstruct2D las restricciones a los nodos pertinentes quedando de la siguiente manera:

**Tabla 10 Armadura B – Desplazamientos Conocidos**

Grado de Lib.	Desplazamiento
26	0.00 m
27	0.00 m
28	0.00 m

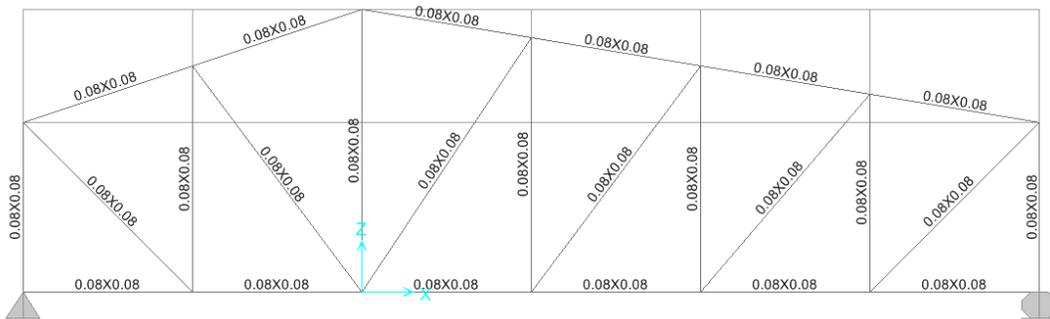
Esto indica que estos grados de libertad están restringidos, dado que se conoce que no se desplazaran. De igual forma se ingresaron las magnitudes de las cargas en los grados de libertad correspondientes según la siguiente tabla.

**Tabla 11 Armadura B – Fuerzas Externas**

Grado de Lib.	Fuerza
1	2.00 Ton
2	-4.00 Ton
3	0.00 Ton
4	-8.00 Ton
5	0.00 Ton
6	-8.00 Ton
7	0.00 Ton
8	-8.00 Ton
9	0.00 Ton
10	-8.00 Ton
11	0.00 Ton
12	-8.00 Ton
13	0.00 Ton
14	-8.00 Ton
15	0.00 Ton
16	0.00 Ton
17	0.00 Ton
18	0.00 Ton
19	0.00 Ton
20	0.00 Ton
21	0.00 Ton
22	0.00 Ton
23	0.00 Ton
24	0.00 Ton
25	0.00 Ton

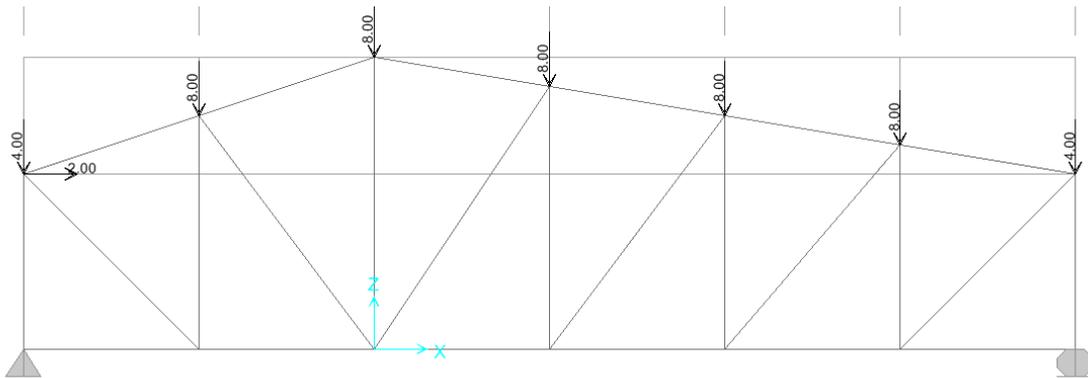
### MODELAJE DE LA ARMADURA B EN Sap2000

De igual forma se realizó el análisis en el programa Sap2000 en donde se asignaron todas las propiedades para cada elemento, para esto se creó una sección llamada "0.08X0.08" y se le asignó por material acero con Módulo de Young de  $E = 21(10^4 \text{ kg/cm}^2)$ .



**Figura 86 Armadura B – Grafico Sap2000**

Posteriormente se restringieron los momentos en los extremos de los elementos para que la estructura mostrada trabaje como una armadura igualmente se asignó las cargas en cada uno de los nodos según lo indicado y se ejecutó el análisis.



**Figura 87 Armadura B – Fuerzas externas Sap2000**

• **COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

Una vez realizado el análisis de la armadura en ambos programas, se procedió a realizar la comparación de los resultados arrojados, obteniendo la siguiente tabla comparativa correspondiente a los desplazamientos en los nudos:

**Tabla 12 Armadura B – Comparación de resultados de Desplazamientos**

Grado de Lib.	AEstruc2D	Sap2000	Diferencia %
1	0.0001409 m	0.0001410 m	0.08%
2	-0.0000528 m	-0.0000530 m	0.33%
3	0.0001880 m	0.0001880 m	0.00%
4	-0.0003216 m	-0.0003220 m	0.11%
5	0.0001797 m	0.0001800 m	0.14%
6	-0.0004537 m	-0.0004540 m	0.06%
7	0.0001168 m	0.0001170 m	0.20%
8	-0.0005525 m	-0.0005530 m	0.09%
9	0.0000637 m	0.0000640 m	0.41%
10	-0.0005264 m	-0.0005260 m	0.08%
11	0.0000355 m	0.0000350 m	1.32%
12	-0.0003542 m	-0.0003540 m	0.06%
13	0.0000449 m	0.0000450 m	0.20%
14	-0.0000543 m	-0.0000540 m	0.58%
15	0.0000045 m	0.0000045 m	0.01%
16	-0.0002792 m	-0.0002790 m	0.08%
17	0.0000407 m	0.0000410 m	0.64%
18	-0.0004611 m	-0.0004610 m	0.03%
19	0.0000958 m	0.0000960 m	0.21%
20	-0.0005518 m	-0.0005520 m	0.04%
21	0.0001505 m	0.0001500 m	0.32%
22	-0.0005019 m	-0.0005020 m	0.02%
23	0.0001894 m	0.0001890 m	0.20%
24	-0.0003088 m	-0.0003090 m	0.06%
25	0.0001894 m	0.0001890 m	0.20%
		Promedio	<b>0.20%</b>

Como se puede observar AEstruct2D arroja valores muy similares a los que arroja Sap2000, en este caso la diferencia relativa porcentual es del 0.20%. Por otro lado, también se compararon las reacciones en los apoyos y las fuerzas internas en cada elemento, los valores obtenidos fueron:

**Tabla 13 Armadura B – Comparación de resultados de Reacciones**

Grado de Lib.	AEstruc2D	Sap2000	Diferencia %
26	24.33 Ton	24.33 Ton	0.00%
27	-2.00 Ton	-2.00 Ton	0.00%
28	23.67 Ton	23.67 Ton	0.00%
	Promedio		<b>0.00%</b>

**Tabla 14 Armadura B – Comparación de resultados de Fuerzas Internas**

Grado de Lib.	AEstruc2D	Sap2000	Diferencia %
1	-23.66667 Ton	-23.66670 Ton	0.00%
2	-14.25000 Ton	-14.25000 Ton	0.00%
3	2.00000 Ton	2.00000 Ton	0.00%
4	-0.22222 Ton	-0.22220 Ton	0.01%
5	-8.25000 Ton	-8.25000 Ton	0.00%
6	-17.42857 Ton	-17.42860 Ton	0.00%
7	-24.33333 Ton	-24.33330 Ton	0.00%
8	2.00000 Ton	2.00000 Ton	0.00%
9	16.25000 Ton	16.25000 Ton	0.00%
10	24.66667 Ton	24.66670 Ton	0.00%
11	24.50000 Ton	24.50000 Ton	0.00%
12	17.42857 Ton	17.42860 Ton	0.00%
13	0.00000 Ton	0.00000 Ton	0.00%
14	-17.12900 Ton	-17.12900 Ton	0.00%
15	-21.08185 Ton	-21.08190 Ton	0.00%
16	-20.27588 Ton	-20.27590 Ton	0.00%
17	-25.00691 Ton	-25.00690 Ton	0.00%
18	-24.83795 Ton	-24.83790 Ton	0.00%
19	-17.66898 Ton	-17.66900 Ton	0.00%
20	20.15254 Ton	20.15250 Ton	0.00%
21	6.25000 Ton	6.25000 Ton	0.00%
22	-8.41295 Ton	-8.41300 Ton	0.00%
23	0.27778 Ton	0.27780 Ton	0.01%
24	10.86589 Ton	10.86590 Ton	0.00%
25	24.64772 Ton	24.64770 Ton	0.00%
	Promedio		<b>0.00%</b>

En el caso de las reacciones en los nodos al igual que en las fuerzas internas en los elementos, se logra observar que las diferencias entre ambos resultados es cero ya que la diferencia que se determinar se debe al número de cifras significativas de los datos obtenidos.

## 5.2. VALIDACION DEL MÓDULO DE MARCOS

Para realizar la validación del módulo de marcos al igual que con armaduras se realizarán dos comparaciones, entre ellas está el marco de ejemplo 15-3 resuelto de la sección 15 del Libro Russell Hibbeler 3ª edición y una estructura destinada para un casa de habitación a la cual se le aplicará el método estático equivalente descrito en el Reglamento Nacional de la Construcción.

### 5.2.1. MODELAJE DEL MARCO A

Determine las cargas en los extremos de cada miembro del marco que se muestra en la figura, considere  $I = 600 \text{ in}^4$ ,  $A = 12 \text{ in}^2$  y  $E = 29(10^3) \text{ ksi}$  para cada miembro.

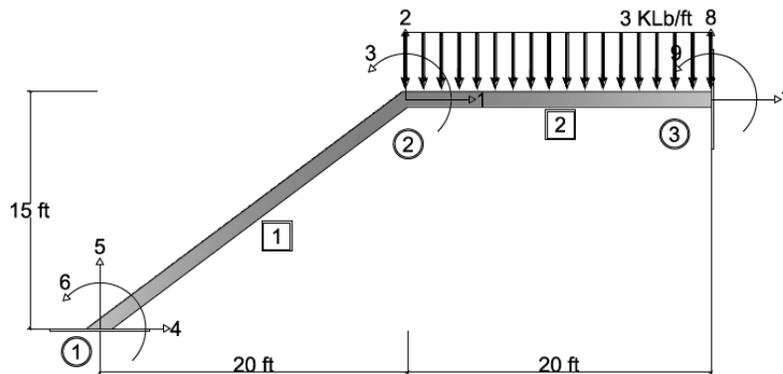


Figura 88 Marco A – Grafico

- **MODELAJE DEL MARCO A EN AEstruct2D**

### Propiedades Físicas Y Geométricas De Los Elementos

Para definir la configuración geométrica y las propiedades de la estructura a analizar en AEstruct2D se ingresó en la matriz de entrada principal la siguiente en unidades de kilo-libras, pulgadas:

Tabla 15 Marco A – Propiedades y geometría

Elemento	Xn	I Xn	Yn	I Yn	I Zn	Xf	I Xf	Yf	I Yf	I Zf	Área	Inercia	M. Young
1	0	4	0	5	6	240	1	180	2	3	12	600	29000
2	240	1	180	2	3	480	7	180	8	9	12	600	29000

Esta matriz generó el siguiente gráfico:

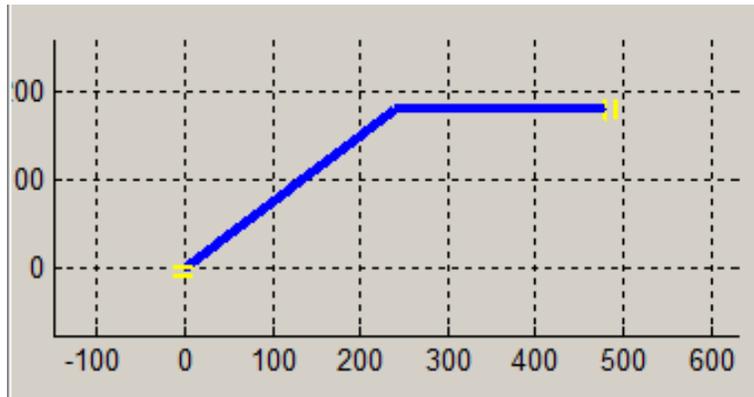


Figura 89 Marco A – Grafico AEstruct2D

### Restricciones Y Fuerzas Asignadas

Luego se procedió a ingresar en AEstruct2D las restricciones a los nodos pertinentes quedando de la siguiente manera (valores dados en pulgadas):

Tabla 16 Marco A – Restricciones		
Coord. X	Coord. Y	Restricción
0	0	Empotramiento
480	180	Empotramiento

Posteriormente se cargó la estructura según lo indicado en el encabezado del ejercicio, existiendo por lo tanto una carga distribuida de 0.25 *KLb/in* a lo largo del elemento 2.

- **MODELAJE DEL MARCO A EN Sap2000**

De igual forma se realizó el análisis en el programa Sap2000 en donde se asignaron todas las propiedades para cada elemento para este caso se creó una sección llamada “AIMY” la cual cumpliera con las características de los elementos de la estructura.

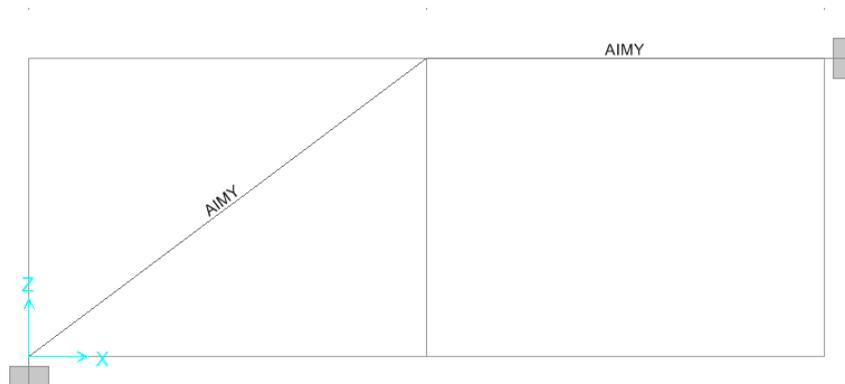


Figura 90 Marco A – Grafico Sap2000

Posteriormente se asignó la carga distribuida correspondiente al elemento número 2 y se realizó el análisis.

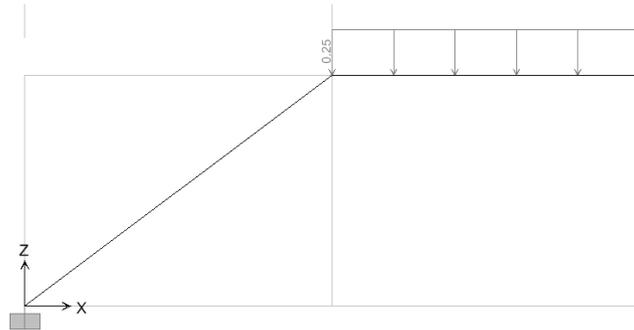


Figura 91 Marco A – Grafico de cargas Sap2000

• **COMPARACION DE RESULTADOS**

Una vez realizado el análisis de la estructura en ambos programas Sap2000 y AEstruct2D se procedió a realizar la comparación de los resultados de ambos con los resultados que presenta el libro Russell Hibbeler en tanto a desplazamientos en los nudos, obteniendo la siguiente tabla comparativa:

**Tabla 17 Marco A – Comparación de resultados de Desplazamientos**

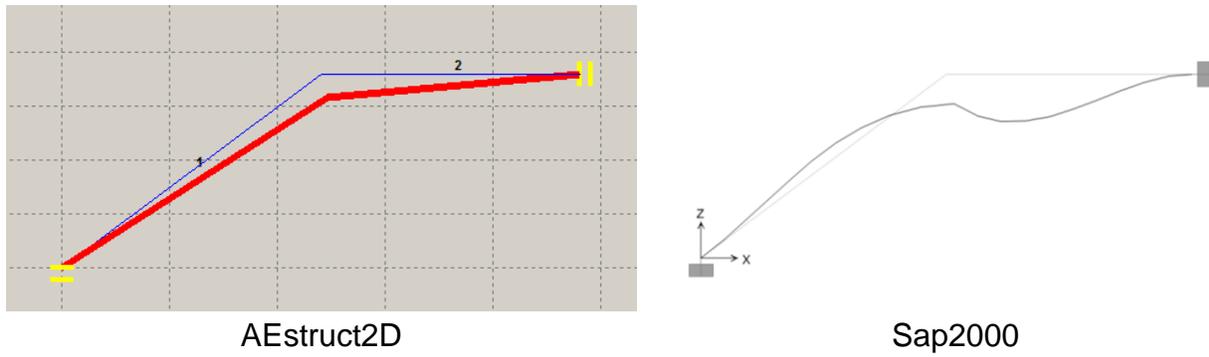
Grad. De Lib.	AEstruct2D	Sap2000	Hibberler	Dif. % Sap2000	Dif.% Hibbeler
1	0.02473 plg	0.02482 plg	0.02470 plg	0.37%	0.11%
2	-0.09541 plg	-0.09575 plg	-0.09540 plg	0.35%	0.01%
3	-0.00217 plg	-0.00222 plg	-0.00217 plg	2.25%	0.01%
Promedio				<b>0.99%</b>	<b>0.04%</b>

Como se puede observar AEstruct2D arroja valores similares a los que arroja Sap2000 estos tienen una diferencia porcentual total de 0.99% mientras que la diferencia con las respuestas del libro son 0.04%. Por otro lado también se compararon las reacciones en los apoyos de la estructura y los valores obtenidos fueron:

**Tabla 18 Marco A – Comparación de resultados de Reacciones en los apoyos**

Grad. De Lib.	AEstruct2D	Sap2000	Hibbeler	Dif. % Sap2000	Dif. % Hibbeler
4	35.85 KLb	35.99 KLb	35.87 KLb	0.37%	0.04%
5	24.63 KLb	24.70 KLb	24.64 KLb	0.31%	0.06%
6	-145.99 KLb.plg	-145.71 KLb.plg	-146.00 KLb.plg	0.19%	0.01%
7	-35.85 KLb	-35.99 KLb	-35.80 KLb	0.37%	0.15%
8	35.37 KLb	35.30 KLb	35.40 KLb	0.22%	0.07%
9	-1687.60 KLb.plg	-1674.81 KLb.plg	-1688.00 KLb.plg	0.76%	0.02%
Promedio				<b>0.37%</b>	<b>0.06%</b>

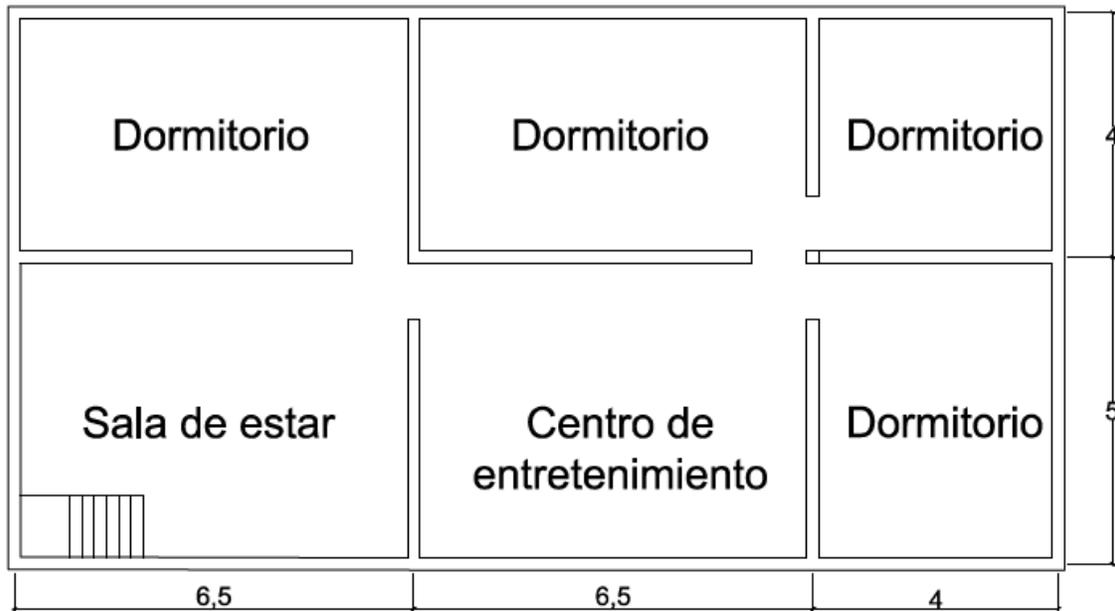
De igual forma ambos produjeron valores muy próximos en magnitudes y estos nos proporcionan una diferencia porcentual de 0.37% comparado con Sap2000 y de 0.06% comparado con los valores del libro.



**Figura 92 Marco A – Deformación**

**5.2.2. MODELAJE DEL MARCO B**

Determine las reacciones y desplazamientos del marco crítico de una estructura, aplicando el método estático equivalente para determinar las fuerzas laterales debido a sismo, considere todas las secciones preliminares de los miembros de 25cm x 25cm y  $E = 238752 \text{ kg/cm}^2$ , localidad Managua, destinado para una casa de habitación, que se pretende desplantar sobre un tipo de suelo III según las consideraciones del RNC-07, además considere una estructura regular, del cual se analizará el marco crítico según los diseños arquitectónicos previamente elaborados.



**Figura 93 Marco B - Planta de segundo nivel**

- **DETERMINACIÓN DEL MARCO CRÍTICO DE LA ESTRUCTURA**

Se plantea como marco crítico, el que presenta el menor apoyo lateral y cargas impuestas de mayor magnitud.

Tomando en cuenta estas consideraciones se ha establecido como marco crítico la estructura el siguiente:

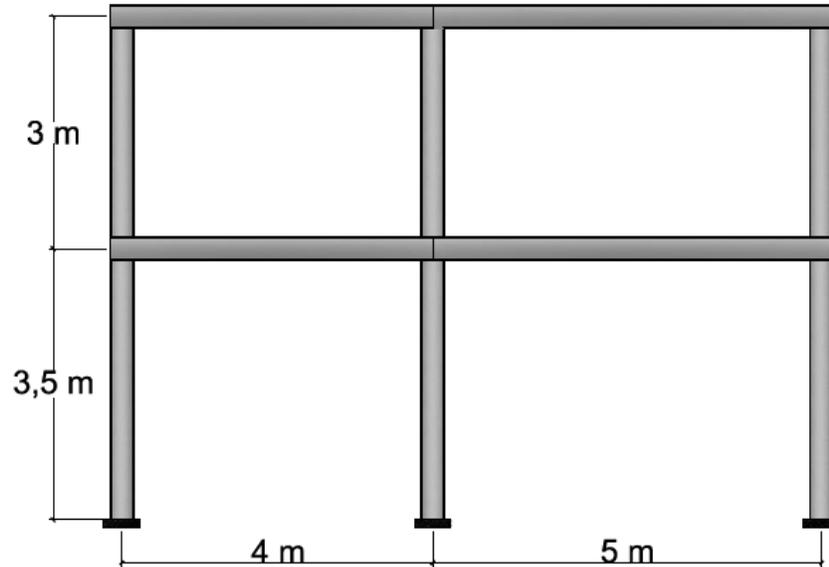


Figura 94 Marco B – Marco Critico

- **ASIGNACION DE CARGAS SEGÚN REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN**

Según el Reglamento Nacional De Construcción RCN-07 las cargas muertas y vivas que se deben tomar en cuenta para realizar el análisis y posteriormente el diseño de una estructura son las siguientes.

<b>Tabla 19 Marco B – Asignación de cargas según RNC-07</b>		
<b>CARGAS MUERTAS</b>		
Azotea	<b>Cargas</b>	
Impermeabilizante e=2.5mm	<b>1340 kg/m<sup>3</sup></b>	
Concreto	2400 kg/m <sup>3</sup>	
Cielo falso de GYPSUM	<b>14 kg/m<sup>2</sup></b>	
Viga de Azotea	24000 kg/m <sup>3</sup>	
Entrepisos	<b>Cargas</b>	
Muro divisorio DUROCK	23 kg/m <sup>2</sup>	
Concreto	<b>2400 kg/m<sup>3</sup></b>	
Enladrillado de cerámica	30 kg/m <sup>2</sup>	
Cielo falso de GYPSUM	<b>14 kg/m<sup>2</sup></b>	
Cerramiento de mampostería confinada	260 kg/m <sup>2</sup>	
Viga de entepiso	<b>2400 kg/m<sup>3</sup></b>	
<b>CARGAS VIVAS</b>		
Azotea	<b>CV</b>	<b>CVR</b>
Pendiente < 5%	100 kg/m <sup>2</sup>	40 kg/m <sup>2</sup>
Entrepisos	<b>CV</b>	<b>CVR</b>
Dormitorios	200 kg/m <sup>2</sup>	80 kg/m <sup>2</sup>
Andamios y cimbras	150 kg/m <sup>2</sup>	100 kg/m <sup>2</sup>

También se pueden observar en los apéndices IX y 9.2 de este documento con mayor detalle los diferentes tipos de cargas reglamentarias que deben de considerarse para diferentes tipos de estructuras y diversas condiciones.

• **CÁLCULO DE AREAS TRIBUTARIAS**

Según los planos de la edificación, las áreas tributarias de la estructura son las siguientes:

$$At_1 = 3.25m * 4m = 13m^2$$

$$At_2 = 3.25m * 5m = 16.25 m^2$$

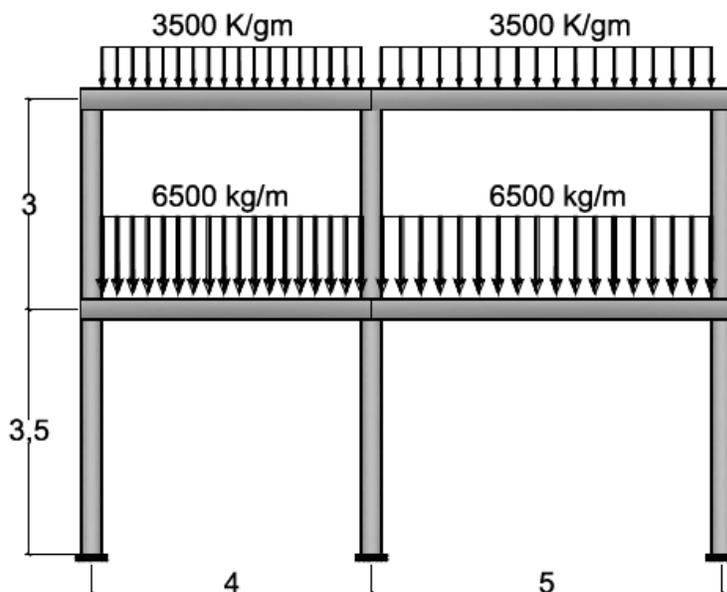
• **CALCULO DE CARGAS VERTICALES**

Habiendo tomado en cuenta los diferentes ambientes, y asignado las cargas correspondientes a la estructura ha analiza, siguiendo las combinaciones de cargas del RNC-07, se logró determinar las siguientes cargas para los diferentes niveles:

$$W_u = 1.2W_m + 1.6W_v$$

**Tabla 20 Marco B – Cargas ultimas actuantes sobre la estructura**

	<b>Azotea</b>	<b>Entrepiso</b>
<b>Wm</b>	<b>2,024 kg/m</b>	<b>2,379 kg/m</b>
<b>Wv</b>	650 kg/m	2,275 kg/m
<b>Wu</b>	<b>3,468 kg/m</b>	<b>6,494 kg/m</b>



**Figura 95 Marco B – Grafico**

• **CÁLCULO DE CARGAS REDUCIDAS**

Según el artículo 22 del RNC-07, para el análisis sísmico se usaran las cargas incidentales y para el análisis por carga vertical se usará la intensidad máxima.

Tabla 21 Marco B – Cargas reducidas de la estructura		
	Azotea	Entrepiso
<b>Wm</b>	18,216 kg	21,411 kg
<b>Wvr</b>	2,340 kg	10,530 kg
<b>Wt</b>	20,556 kg	31,941 kg

• **MODELAJE DEL MARCO B EN AEstruct2D**

**Propiedades Físicas Y Geométricas De Los Elementos**

Para definir la configuración geométrica y las propiedades de la estructura a analizar en AEstruct2D se ingresó en la matriz de entrada principal los siguientes datos en unidades de kilogramos, metros:

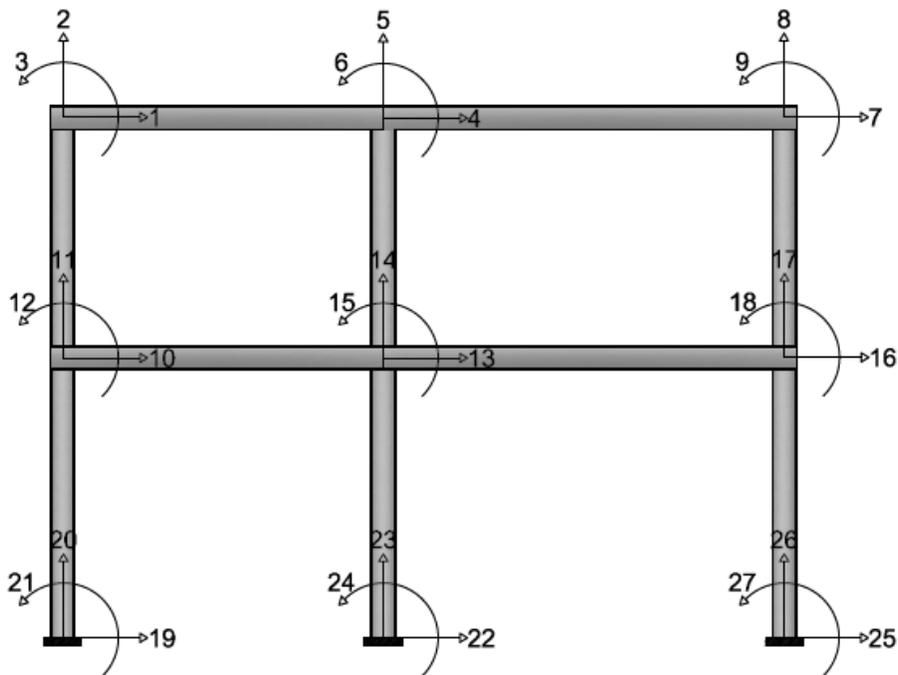


Figura 96 Marco B – Grados de libertad

Tabla 22 Marco B – Propiedades y geometría

Elem.	Xn	IXn	Yn	IYn	IZn	Xf	IXf	Yf	IYf	IZf	Área	Inercia	M. Young
1	0	19	0	20	21	0	10	3.5	11	12	0.0625	3.26E-04	2.39E+09
2	0	10	3.5	11	12	0	1	6.5	2	3	0.0625	3.26E-04	2.39E+09
3	4	22	0	23	24	4	13	3.5	14	15	0.0625	3.26E-04	2.39E+09
4	4	13	3.5	14	15	4	4	6.5	5	6	0.0625	3.26E-04	2.39E+09
5	9	25	0	26	27	9	16	3.5	17	18	0.0625	3.26E-04	2.39E+09
6	9	16	3.5	17	18	9	7	6.5	8	9	0.0625	3.26E-04	2.39E+09
7	0	10	3.5	11	12	4	13	3.5	14	15	0.0625	3.26E-04	2.39E+09
8	0	1	6.5	2	3	4	4	6.5	5	6	0.0625	3.26E-04	2.39E+09
9	4	13	3.5	14	15	9	16	3.5	17	18	0.0625	3.26E-04	2.39E+09
10	4	4	6.5	5	6	9	7	6.5	8	9	0.0625	3.26E-04	2.39E+09

Esta matriz generó el siguiente gráfico:

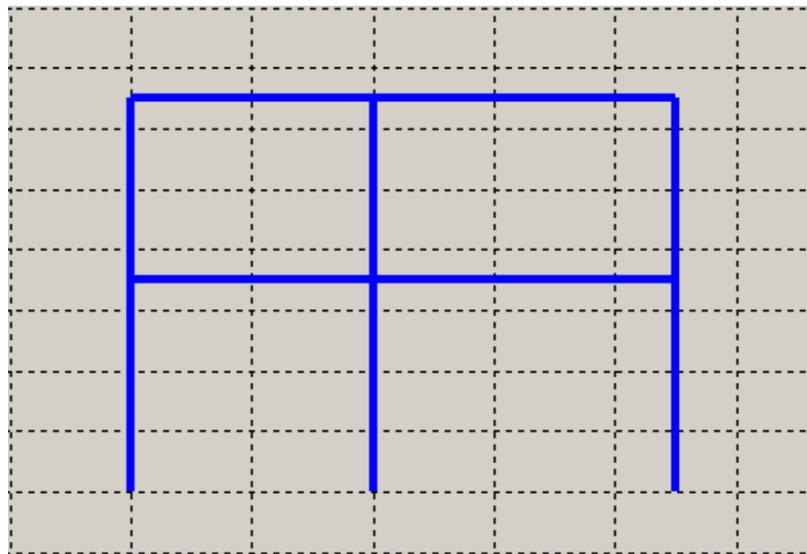


Figura 97 Marco B – Grafico AEstruct2D

### Restricciones Y Fuerzas Asignadas

Luego se procedió a ingresar en las restricciones a los nodos correspondientes quedando de la siguiente manera (valores dados en metros):

Tabla 23 Marco B – Restricciones

Coord. X	Coord. Y	Restricción
0	0	Empotramiento
4	0	Empotramiento
9	0	Empotramiento

Posteriormente se cargó la estructura según lo indicado en el grafico del marco, quedando de la siguiente manera



Figura 98 Marco B – Grafico en AEstruct2D de estructura cargada

### Fuerza Sísmica (Método Estático Equivalente)

Luego de cargar cada elemento se procedió con la configuración de los parámetros para realizar el análisis por método estático equivalente, como ya se había descrito anteriormente la estructura se ubica en la ciudad de Managua lo que la clasifica dentro de la zona C, por estar destinada para ser empleada como casa de habitación pertenece según clasificación por importancia al grupo B, la clasificación del tipo del suelo es del tipo III, el cual, corresponde a un suelo moderadamente blando con  $180\text{ m/s} < V_s < 360\text{ m/s}$ . Se empleó un factor de reducción por ductilidad de  $Q = 4$  según lo especificado en el artículo 21 y según los planos adquiridos se considera como una estructura regular.

Dicho esto AEstruct2D calcula de forma automática las cargas laterales correspondientes a cada nivel, una vez sean asignados los pesos sobre cada piso calculados previamente empleando las cargas vivas reducidas además de las cargas muertas planteadas por el RNC-07, quedando de la siguiente manera.

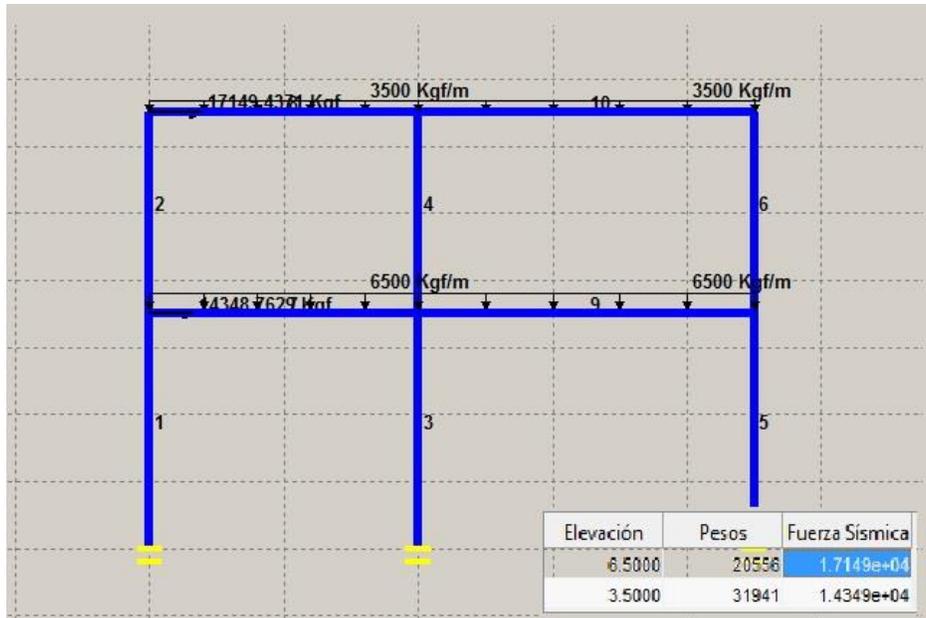


Figura 99 Marco B – Grafico en AEstruct2D de estructura cargada por el método estático equivalente

Habiendo ingresado los parámetros pertinentes, se procedió a hacer el análisis de la estructura generando, desplazamientos, reacciones en los apoyos y fuerzas internas en los elementos de la estructura.

- **MODELAJE DEL MARCO B EN Sap2000**

De igual forma se realizó el análisis en el programa Sap2000 en donde se asignaron todas las elemento propiedades para cada para este caso se creó una sección llamada 0.25X0.25 la cual cumpliera con las características de los elementos de la estructura.

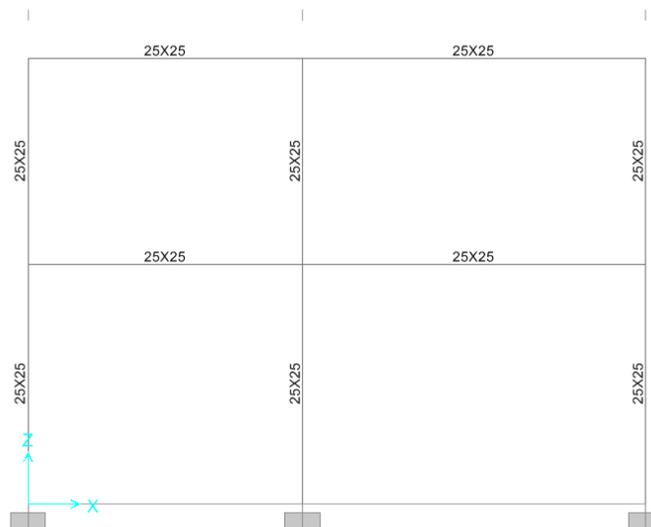


Figura 100 Marco B – Grafico Sap2000

Posteriormente se agregaron las cargas distribuidas a los elementos correspondientes e igualmente las cargas laterales debidas al análisis sísmico.

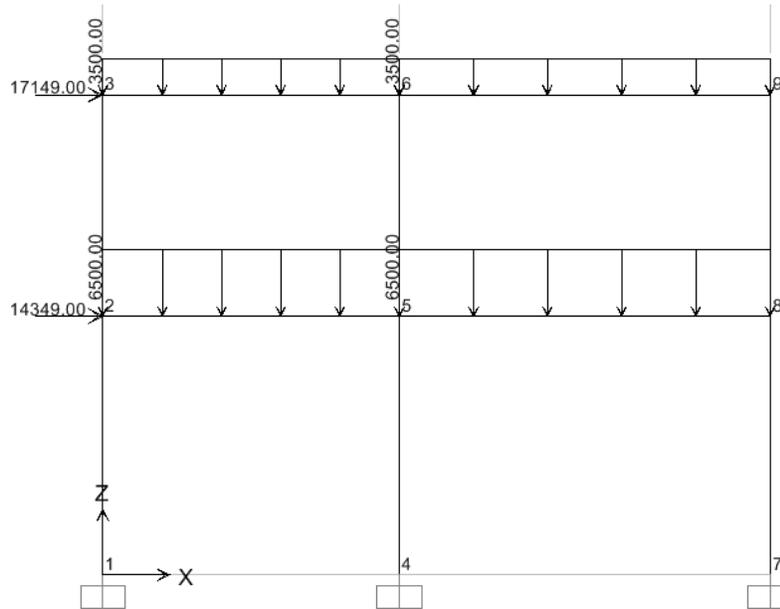


Figura 101 Marco B – Grafico de cargas Sap2000

• **COMPARACION DE RESULTADOS**

Una vez realizado el análisis de la estructura en ambos programas Sap2000 y AEstruct2D se procedió a realizar la comparación de los resultados arrojados en tanto a desplazamientos en los nudos, obteniendo la siguiente tabla comparativa (Valores en metros):

Tabla 24 Marco B – Comparación de resultados de Desplazamientos			
Grado de Lib.	AEstruct2D	SAP 2000	Diferencia %
1	0.12818532	0.129748	1.20%
2	-0.00017147	-0.000172	0.31%
3	-0.01049145	-0.010634	1.34%
4	0.1277841	0.129347	1.21%
5	-0.00158239	-0.001582	0.02%
6	-0.0068919	-0.006949	0.82%
7	0.12752768	0.129091	1.21%
8	-0.00099041	-0.00099	0.04%
9	-0.00619262	-0.006247	0.87%
10	0.07602888	0.076952	1.20%
11	-0.00012846	-0.000129	0.42%
12	-0.02006791	-0.020249	0.89%
13	0.07582429	0.076747	1.20%
14	-0.00121798	-0.001218	0.00%

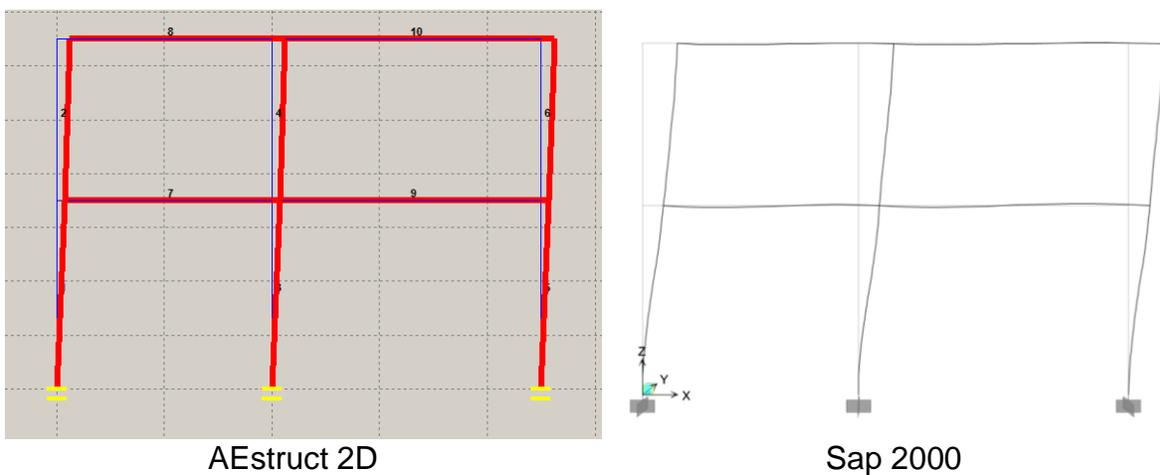
Grado de Lib.	AEstruct2D	SAP 2000	Diferencia %
15	-0.01363061	-0.013739	0.79%
16	0.07570226	0.076625	1.20%
17	-0.00076454	-0.000765	0.06%
18	-0.01358758	-0.013663	0.55%
<b>Promedio</b>			<b>0.74%</b>

Como se puede observar Sap2000 arroja valores similares a los que arroja AEstruct2D estos tienen una diferencia porcentual total de 0.74%. Por otro lado también se compararon las y las reacciones en los apoyos de la estructura y los valores obtenidos fueron los ostentados en la **Tabla 25**.

**Tabla 25 Marco B – Comparación de resultados de Reacciones en los apoyos**

Grado de Lib.	AEstruct2D	SAP 2000	Diferencia %
19	-8898.82718	-8899.78	0.01%
20	5476.80053	5497.32	0.37%
21	20029.0986	20070.92	0.21%
22	-11304.7695	-11298.22	0.06%
23	51927.7363	51906.98	0.04%
24	22810.0719	22822.55	0.05%
25	-11294.6033	-11300.21	0.05%
26	32595.4632	32595.7	0.00%
27	22782.7272	22809.35	0.12%
<b>Promedio</b>			<b>0.10%</b>

De igual forma ambos produjeron valores muy próximos en magnitudes y estos nos proporcionan una diferencia porcentual de 0.10% . A continuación se muestra la deformación de la estructura;



**Figura 102 Marco B – Deformación**

## VI CONCLUSIONES

Posteriormente a realizar el diseño de algoritmos para el manejo automatizado de matrices de rigidez para elementos de marcos y armaduras planas, que permitan la asignación de distintas condiciones de apoyos y cargas para diversas configuraciones geométricas, se ha evidenciado que es relativamente sencillo crear algoritmos bien definidos y códigos ordenados con métodos sistemáticos como lo es el método de las rigideces para la solución de análisis estructurales.

Al diseñar un módulo para la asignación de propiedades geométricas y mecánicas de los elementos, vigas y columnas, de marcos planos, se ha logrado incorporar satisfactoriamente los datos de secciones transversales proporcionadas por el Manual Load & Resistance Factor Design (LRFD) en su segunda edición, además de las propiedades de resistencia de los materiales comúnmente empleados para la edificación de estructuras seguras, los que brindan un gran aporte al ingeniero estructural para el buen cumplimiento de sus funciones.

Automatizando el cálculo de fuerzas sísmicas por el Método Estático Equivalente presente en el Reglamento Nacional de Construcción de Nicaragua (RNC-07), se ha evidenciado que es posible la programación de los códigos de análisis y diseño de estructuras, cuando se habla de códigos de análisis y diseño se hace referencia a reglamentos o normas de análisis y diseño estructural.

Con el desarrollo de las diversas ventanas presentadas por AEstruct2D se ha logrado elaborar una interfaz gráfica interactiva que integra el análisis de marcos y armaduras planas, además de una visualización gráfica de los resultados del análisis para una mejor interacción de parte de los posibles usuarios.

En vista de la importante relación entre los posibles usuarios y el programa, se ha elaborado un manual de ayuda el cual, ha sido planteado para mejorar la eficiencia en la resolución de análisis usando AEstruct2D, cabe destacar que sin el conocimiento previo del método de las rigideces al usuario le será dificultosa la manipulación del software, esto quiere decir que el manual está destinado para complementar el programa y no para introducir los principios del método de rigidez en la mente del usuario.

Al comparar los resultados, de los análisis de diversas estructuras, del programa AEstruct2D, aquí mostrado, con los proporcionados por SAP2000 (Structural Analysis Program 2000) que emplea la teoría de los elementos finitos en la resolución de análisis, se nota que se tiene relativamente la misma precisión por lo que se puede expresar que los resultados del programa desarrollado son confiables y satisfacen los objetivos planteados.

También se hace la salvedad que AEstruct2D, es una herramienta destinada para el análisis estructural de armaduras y marcos, y no propone en ninguna manera la realización de diseño y/o revisión de las secciones de los elementos que constituyan tales estructuras. Es de suma importancia mencionar que con el uso y manejo de softwares no se pretende desplazar o eliminar el buen juicio y criterio del ingeniero estructural o civil en el manejo, operación e interpretación de los resultados obtenidos.

## VII RECOMENDACIONES

Es importante mencionar que el uso adecuado del programa AEstruct2D es responsabilidad de la persona o usuario que le maneja, ya que si no se tienen las bases necesarias en la materia del análisis estructural, se corre el riesgo de obtener información errónea y usar estos en diseños que por consiguiente no serán acertados.

Se recomienda a las autoridades superiores del Departamento de construcción de la Facultad de Ciencias e Ingenierías de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua promover y apoyar el desarrollo de proyecto como el aquí presentado, con la finalidad de aumentar el prestigio de la investigación presentado por la UNAN- Managua.

En lo concerniente al desarrollo del programa AEstruct2D se pueden incorporar los siguientes aspectos en futuras versiones;

- Realización de análisis de estructuras en un plano tridimensional.
- No limitar el análisis a elementos con secciones transversales homogéneas.
- Incorporar el análisis de elementos en forma de arcos.
- Añadir al análisis el efecto por temperatura sobre la estructura.
- El efecto sísmico para marcos sea considerado por análisis dinámicos.
- Anexar otros códigos internacionales de análisis y diseño estructural similares al RNC-07.
- Incorporar la opción de asignar apoyos inclinados o base inclinada a los elementos de las estructuras.
- Mostrar la opción de modificar las dimensiones de las secciones transversales W, canal, caja, angular y tubular circular, y de este modo no limitar el análisis a secciones pertenecientes al Manual LRFD, en lo que corresponde a elementos de Acero.

Todos los aspectos mencionados anteriormente mejoraran considerablemente los alcances de AEstruct2D en el análisis estructural, pero esto no implican que en este momento la herramienta sea incapaz de realizar análisis a estructuras típicas con eficacia.

## **VIII BIBLIOGRAFÍA**

- García de Jalón, J., Rodríguez, J. I., & Vidal, J. (2005). *Aprenda Matlab 7.0*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad Politécnica de Madrid.
- Gere, J. M., & Weaver, W. J. (1984). *Análisis de Estructuras Reticulares* (Novena Edición ed.). Mexico: Continental S.A, de C.V.
- Hernández Monzón, V. C. (1996). *Guía de Estudio del Curso de Análisis Estructural 2(Tesis para optar al título de Ingeniero Civil)*. Guatemala, Guatemala.
- Hernandez S., R. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGrawHill.
- Hernández, E. (2011). *Análisis y Diseño Estructural Utilizando el Programa ETABS v9*.
- Hibbeler, R. C. (1997). *Análisis Estructural* (Tercera Edición ed.). (W. Strenquist, Ed., & J. d. Alonso, Trad.) Mexico: PEARSON Educación.
- Martí Montrull, P. (2007). *Análisis de estructuras*.
- Mérida Robles, C. H. (2009). *MANUAL DE LABORATORIO PARA EL CURSO DE ANÁLISIS MEDIANTE EL SOFTWARE SAP 2000(Tesis para optar al título de Ingeniero Civil)*. Quetzaltenango, Guatemala.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2007). *Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07)*. Managua, Nicaragua.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2007). *Reglamento Nacional de Construcción* . Managua.
- Moore, H. (2007). *MATLAB para ingenieros* (Primera Edición ed.). (L. M. Castillo, Ed., & V. C. Olguín, Trad.) Mexico: PEARSON Educación.
- Nelson, J. K., & McCormac, J. C. (2006). *Análisis de Estructuras*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A, de C.V.
- Oyarzo, C. (1898). *Análisis de Estructuras*. Chile: Facultad de Ingenieria - UCSC.
- Tena Colunga, A. (2007). *Análisis de estructuras con métodos matriciales*. México: LIMUSA.

## IX APENDICE

### 9.1. APENDICE 1 - CARGAS MUERTAS MINIMAS SEGÚN RNC-07

Tabla 26 Cubiertas De Techo

CUBIERTAS DE TECHO (INCLUYE MATERIAL DE FIJACIÓN)	
CONCEPTO	PESO (kg/m <sup>2</sup> )
Zinc corrugado calibre 28	3.60
Zinc corrugado calibre 26	5.40
Zinc corrugado calibre 24	6.10
Asbesto cemento 5 mm tipo Tejalita	9.00
Asbesto Cemento o Fibrocemento, lámina ondulada 6 mm	18.00
Asbesto cemento autoportante tipo Canaleta	19.00
Autoportante tipo maxiplac	15.00
Teja de barro tipo española nacional, saturada. Nota: en techo de teja deberá añadirse 35 kg/m en líneas de cumbreira y de limatesas	50.00
Cartón asfáltico de 3 capas	35.00

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2007). *Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07)*. Managua, Nicaragua, Capitulo II, Art.9.

Tabla 27 Cielos Rasos

CIELOS RASOS	
CONCEPTO	PESO (kg/m <sup>2</sup> )
Cielo raso de Plywood de 3/16" con estructura de madera	14.00
Cielo raso de Plywood de 1/4" con estructura de madera	16.00
Fibrocemento liso 4 mm con estructura de madera	18.00
Fibrocemento liso 6 mm con estructura de madera	22.00
Fibrocemento liso 4 mm con perfiles de aluminio	5.00
Fibrocemento liso 6 mm con perfiles de aluminio	7.00
Machihembre de 1/2"	7.00
Yeso con perfiles de aluminio	8.00
Placa de 1/2" de fibrocemento reforzada con malla de fibra de vidrio	18.00
Mortero: cemento cal y arena en malla metálica (15 mm)	30.00

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2007). *Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07)*. Managua, Nicaragua, Capitulo II, Art.9.

**Tabla 28 Cubierta De Pisos**

CUBIERTA DE PISOS	
CONCEPTO	PESO (kg/m <sup>2</sup> )
Ladrillo de cemento	83.00
Ladrillo de barro	58.00
Ladrillo de Cerámica	30.00
Fibrocemento de 20 mm	22.00

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2007). *Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07)*. Managua, Nicaragua, Capítulo II, Art.9.

**Tabla 29 Paredes**

PAREDES	
CONCEPTO	PESO (kg/m <sup>2</sup> )
Planchetas para paredes prefabricadas, área visible, sin viga corona	110.00
Bloque decorativo de concreto	117.00
Lámina Troquelada con estructura de perlines	6.00
Estructura metálica con Durock en una cara y yeso en interiores	23.00
Esqueleto madera 2" x 3" con Plywood ¼" ambas caras	10.00
Esqueleto madera 2" x 3" con Plycem 6 mm ambas caras	16.00
Bloque de cemento de 10 x 20 x 40	140.00
Bloque de cemento de 15 x 20 x 40	200.00
Bloque de cemento de 20 x 20 x 40	228.00
Mampostería Reforzada Bloque de cemento de 15 x 20 x 40	260.00
Mampostería Reforzada Bloque de cemento de 20 x 20 x 40	300.00
Paneles de doble electromalla de acero con núcleo de poroplast (2.5 de repello ambas caras)	150.00
Bloque sólido de barro de 5.6 cmx20.3 cmx10.5 cm	172.00
Bloque sólido de barro de 5.2 cmx25.3 cmx13.3 cm	210.00
Bloque sólido de barro de 5.8 cmx29.8 cmx15.2 cm	255.00
Piedra Cantera 15x40x60	255.00
Ventanas de Paletas de vidrio con Estructura de aluminio	20.00
Ventanas de Vidrio Fijo con Estructura de Aluminio	35.00

NOTA: Para paredes con repello de 1 cm. de espesor, agregar 20 kg/m<sup>2</sup> por cada cara repellada.

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2007). *Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07)*. Managua, Nicaragua, Capítulo II, Art.9.

**Tabla 30 Materiales Almacenables**

<b>MATERIALES ALMACENABLES</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>PESO (Kg/m3)</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>PESO (Kg/m3)</b>
<b>ROCAS</b>		<b>MATERIALES DIVERSOS</b>	
Arenisca	2600	Alquitrán	1200.00
Arenisca porosa y caliza porosa	2400	Asfalto	1300.00
Basalto, diorita	3000	Caucho en plancha	1700.00
Calizas compactas y mármoles	2800	Papel	1100.00
Granito, sienita, diabasa, pórfido	2800	Plástico en plancha	2100.00
Gneis	3000	Vidrio plano	2600.00
Mármol	2700		
Pizarra	2800		
<b>MADERAS</b>		<b>METALES</b>	
Pochote	530	Acero	7850.00
Pino Costeño	801	Hierro dulce	7800.00
Pino Ocote	660	Fundición	7250.00
Genízaro	513	Aluminio	2750.00
Cedro Macho	615	Plomo	11400.0
Cedro Real	481	Cobre	8900.00
Laurel hembra	561	Bronce	8500.00
Almendro	770	Zinc	6900.00
Bálsamo	960	Estaño	7400.00
Roble	745	Latón	8500.00
Caoba	500	Mercurio	13600.0
Cortez	960	Níquel	9000.00
Guayabo	738	<b>OTROS</b>	
Guayacán	1240	Vidrios	2500
Laurel	565	Concreto asfáltico	2400
Comenegro	950	Concreto estructural	2400
Guapinol	930	Mortero	2200
Níspero	1010	Losetas	2400
Madero Negro	960	Cartón bituminado	600
Mora	920	Asbesto – cemento	2500
Melón	930	Leña	600
Ñambar	1100	Tierra	1600

**Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2007). Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07). Managua, Nicaragua, Capítulo II, Art.9.**

**Tabla 31 Materiales De Construcción**  
**MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO (Kg/m3)</b>
Arena	1500.00
Arena de Pómez	700.00
Cal en polvo	1000.00
Cal en terrón	1000.00
Cemento en sacos	1600.00
Cemento en polvo	1200.00
Grava	1700.00
Piedra cantera	1440.00
Acero Estructural	7850.00

**Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2007). *Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07)*. Managua, Nicaragua, Capitulo II, Art.9.**

9.2. APENDICE 2 - CARGAS VIVAS MINIMAS SEGÚN RNC-07

Tabla 32 Cargas vivas unitarias mínimas

CARGAS VIVAS UNITARIAS MÍNIMAS (KG/M <sup>2</sup> )		
DESTINO	MÁXIMA ( CV)	INCIDENTAL (CVR)
Residencial (casas, apartamentos, cuartos de hoteles, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales)	200.00	80.00
Salones de clase: Escuelas primarias	250.00	150.00
Salones de clase: Secundaria y universidad	250.00	200.00
Hospitales (salas y cuartos), Asilos, Centros de Salud y Clínicas	200.00	100.00
Hospitales : Salas de Operación	400.00	150.00
Oficinas: Despachos	250.00	100.00
Oficinas: Salas de Archivo	500.00	250.00
Bibliotecas: Salones de Lectura	300.00	150.00
Bibliotecas: Salón de Libros	600.00	400.00
Lugares de Reunión: Salones de Baile, gimnasios, restaurantes, museos y Salas de juegos	400.00	250.00
Auditorios, Cines, Templos: Sillas Fijas	350.00	250.00
Auditorios, Cines, Templos: Sillas móviles	500.00	250.00
Teatros: Vestíbulos	200.00	80.00
Teatros: Piso del escenario	700.00	350.00
Graderías y tribunas	500.00	250.00
Lugares de Comunicación para peatones (Pasillos, escaleras, rampas y pasajes de acceso libre al público)	500.00	250.00
Estadios y lugares para espectáculo provisto de gradas (desprovisto de bancas o butacas)	500.00	350.00
Laboratorios	250.00	125.00
Comercio: Ligero	350.00	300.00
Semi-pesado	450.00	400.00
Pesado	550.00	500.00
Fábrica y Talleres: Ligero	400.00	350.00
Semi-pesado	500.00	450.00
Pesado	700.00	600.00
Bodegas: Ligero	450.00	400.00
Semi-pesado	550.00	475.00

DESTINO	MÁXIMA ( CV)	INCIDENTAL (CVR)
<b>Pesado</b>	650.00	550.00
Techos de losas con pendiente no mayor de 5%	100.00	40.00
Techos de losas con pendiente mayor de 5%	50.00	20.00
Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente, altura controlada a 2.40 m)	250.00	150.00
Andamios y cimbra para concreto	150.00	100.00
Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	400.00	200.00
<b>Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2007). <i>Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07)</i>. Managua, Nicaragua, Capítulo II, Art.9.</b>		

### 9.3. APÉNDICE 3 - ISOACELERACIONES PARA NICARAGUA

Coeficientes  $a_0$  para definir los espectros de diseño en la república de Nicaragua, para estructuras del grupo B.

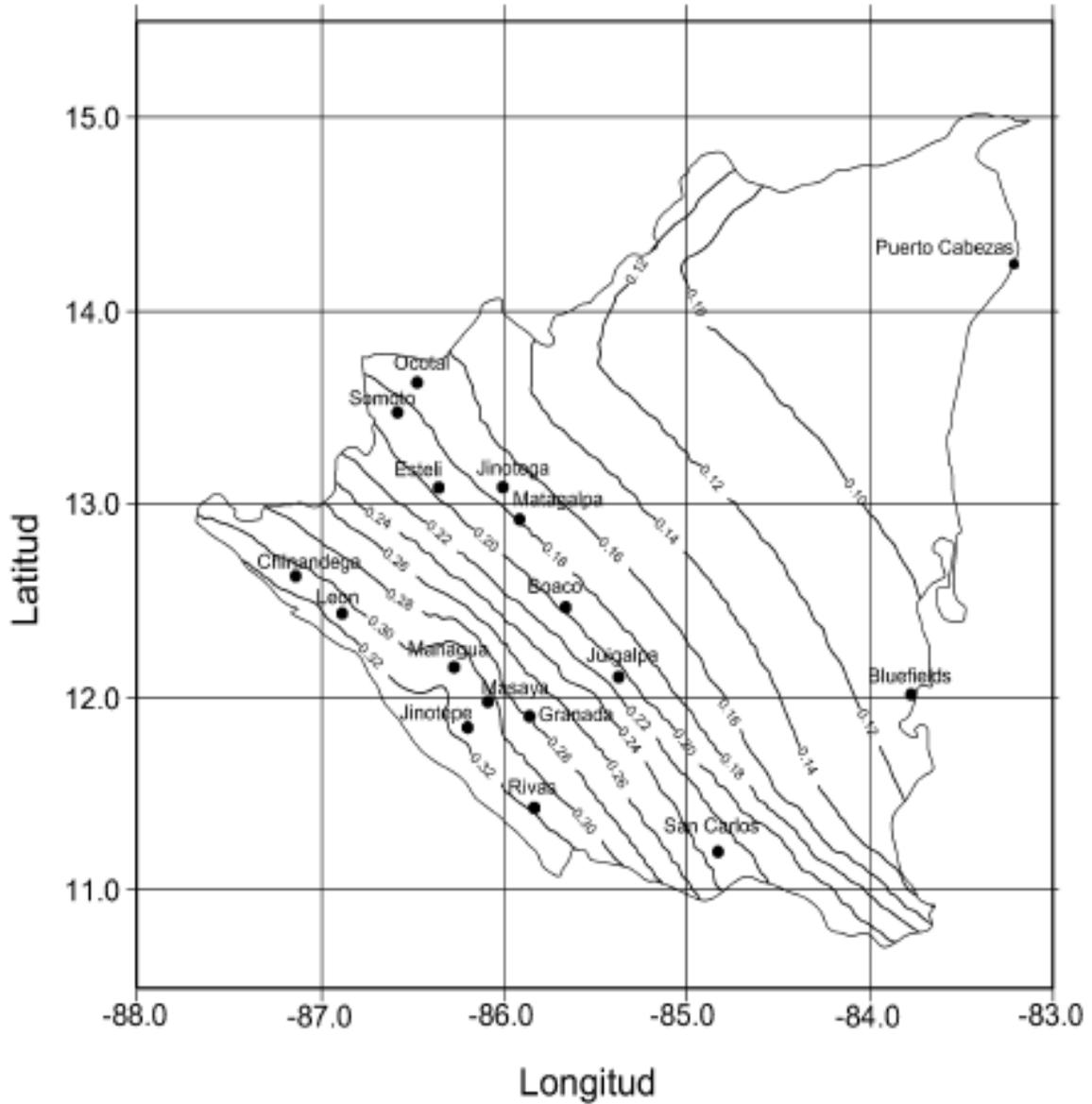


Figura 103 Mapa De Isoaceleraciones

#### **9.4. APÉNDICE 4 - MANUAL Y TUTORIAL DE AESTRUCT2D V1.0**

A continuación se presenta el manual y tutorial de AEstruct2D, el cual está integrado al programa. Este manual facilitara el uso y manejo de AEstruct2D, además que ilustrara los posibles errores al ejecutar cualquier acción dentro del programa.

AEstruct2D

VERSIÓN 1.0

# **Manual de Usuario y Tutorial**

Berrios Vega Freddy Antonio  
Chavarría Peralta Darwin Leonel

Ingeniería Civil  
Departamento de Construcción  
Facultad de Ciencias e Ingenierías  
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

Marzo, 2014

**TABLA DE CONTENIDO**

UNIDAD 1: INTRODUCCIÓN.....	187
1.1    Acerca De AEstruct2D .....	187
1.2    Términos Y Condiciones para el uso de AEstruct2D .....	187
1.3    Programa De Instalación.....	188
1.4    Propiedades De AEstruct2D v1.0.....	191
1.4.1    Análisis Con El Módulo De Armaduras Planas .....	191
1.4.2    Análisis Con El Módulo De Marcos Planos .....	192
1.4.3    Interfaz Gráfica De Usuario.....	192
1.5    Limitaciones de AEstruct2D.....	193
UNIDAD 2: MANUAL DE USUARIO .....	194
2.1    Estructura De AEstruct2D .....	194
2.2    Opciones De La Ventana Principal De AEstruct2D.....	195
2.3    Selección Del Tipo De Estructura A Analizar .....	196
2.4    Análisis De Armaduras Planas.....	197
2.4.1    Establecimiento Del Número de Elementos De la Estructura .....	198
2.4.2    Inserción De Datos De Geometría De La Estructura .....	199
2.4.3    Botón Y Función Graficar.....	202
2.4.4    Asignación De Desplazamientos Conocidos .....	203
2.4.5    Introducción De Fuerzas Externas.....	206
2.4.6    Comprobación De Los Datos Ingresados .....	208
2.4.7    Evaluación De Las Condiciones Planteadas .....	210
2.4.8    Visualización De Los Resultados Del Análisis .....	212
2.4.9    Obtención De Matrices De Rigidez .....	213
2.4.10    Visualización Del Grafico De La Estructura .....	214
2.4.11    Opciones De Barra De Menús .....	223
2.5    Análisis De Marcos Planos.....	230
2.5.1    Establecimiento Del Número de Miembros De la Estructura .....	230
2.5.2    Inserción De Datos De Geometría De La Estructura .....	232
2.5.3    Asignar Propiedades a elementos del marco .....	235
2.5.4    Botón Y Función Aceptar .....	240

2.5.5	Asignación De Restricciones En Los Nodos .....	243
2.5.6	Asignación De Fuerzas Puntuales Sobre Nodos .....	247
2.5.7	Introducción De Desplazamientos en Nodos .....	251
2.5.8	Inserción De Cargas Puntuales Sobre Los Elementos .....	255
2.5.9	Asignación De Cargas Distribuidas Sobre Los Elementos .....	262
2.5.10	Asignación De Momentos Puntuales Sobre Los Elementos .....	269
2.5.11	Análisis de Fuerza Sísmica.....	275
2.5.12	Análisis De Las Condiciones Planteadas.....	282
2.5.13	Obtención De Matrices De Rigidez .....	283
2.5.14	Visualización Del Grafico De La Estructura .....	285
2.5.15	Fuerzas Internas En Cada Elemento .....	295
2.5.16	Opciones De Barra De Menús .....	299
UNIDAD 3: TUTORIAL.....		309
3.1	Ejemplo De Análisis De Armaduras Planas. ....	309
3.1.1	Armadura I .....	309
3.1.2	Armadura II .....	319
3.2	Ejemplo De Análisis De Marcos Planos .....	328
3.2.1	Marco I.....	328
3.2.2	Marco II.....	337

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Instalador del MATLAB Compiler Runtime (MCR) .....	189
Figura 2. Selección de carpeta en instalación del MCR .....	189
Figura 3. Confirmación de carpeta en instalación del MCR .....	190
Figura 4. Confirmación de carpeta en instalación del MCR .....	190
Figura 5. Finalizar instalación del MCR .....	191
Figura 6. Diagrama de flujo de AEstruct2D .....	194
Figura 7. Ventana principal de AEstruct2D .....	195
Figura 8. Visualización de datos sobre AEstruct2D.....	196
Figura 9. Ventana para Análisis de Armaduras planas. ....	197
Figura 10. Inserción del número de elementos de la armadura .....	198
Figura 11. Valor erróneo en inserción de número de elementos.....	198
Figura 12. Valor erróneo en inserción del número de elementos.....	199
Figura 13. Matriz de geometría de los miembros .....	199
Figura 14. Inserción de datos de Área y Modulo de Elasticidad.....	200
Figura 15. Mensaje de valor erróneo, inserte el área de los miembros.....	201
Figura 16. Valor erróneo, inserte un valor de área mayor que cero .....	201
Figura 17. Unidades en la inserción de datos de Área y Modulo de Elasticidad .	202
Figura 18. Función del botón Graficar .....	202
Figura 19. Sub-panel para la entrada de los desplazamientos conocidos .....	203
Figura 20. Acciones al insertar del número de desplazamientos conocidos .....	204
Figura 21. Unidades en la inserción del número de desplazamientos conocidos	204
Figura 22. Convención de signos desplazamientos conocidos .....	204
Figura 23. Valor erróneo en número de desplazamientos conocidos.....	205
Figura 24. Valor erróneo en el número de desplazamientos conocidos.....	205
Figura 25. Valor erróneo en el número de desplazamientos conocidos.....	205

Figura 26. Sub-panel para la entrada de fuerzas externas .....	206
Figura 27. Inserción del número de fuerzas externas .....	207
Figura 28. Unidades en la inserción del número de fuerzas externas.....	207
Figura 29. Convención de signos de Fuerza Externas.....	207
Figura 30. Ubicación del botón Comprobar.....	208
Figura 31. Mensaje de valor erróneo en tabla de desplazamientos conocidos ...	208
Figura 32. Mensaje de valor erróneo en tabla de fuerzas externas.....	209
Figura 33. Incoherencia en los datos de tabla de desplazamientos conocidos. ...	209
Figura 34. Error en datos de tabla de fuerzas externas. ....	209
Figura 35. Incoherencia entre de desplazamientos conocidos y fuerzas. ....	210
Figura 36. Ubicación del botón Evaluar.....	210
Figura 37. Evaluación de las condiciones planteadas.....	211
Figura 38. Mensaje de error al evaluar las condiciones planteadas.....	211
Figura 39. Panel para presentación de resultados .....	212
Figura 40. Ventana para la visualización de las matrices de rigidez .....	213
Figura 41. Opción de guardado de matriz de rigidez.....	214
Figura 42. Espacio para la visualización previa del gráfico de la estructura .....	215
Figura 43. Elementos para la visualización del gráfico.....	216
Figura 44. Ventana emergente para visualizar gráfico de la armadura. ....	216
Figura 45. Elementos para la visualización de la estructura.....	217
Figura 46. Tipos de apoyos de una armadura.....	218
Figura 47. Numeración de elementos de la estructura.....	218
Figura 48. Botón para mostrar los grados de libertad de cada nodo.....	219
Figura 49. Grados de libertad de la estructura .....	219
Figura 50. Fuerzas externas asignadas a la estructura.....	220

Figura 51. Mensaje de error al graficar fuerzas externas .....	220
Figura 52. Reacciones por las fuerzas externas asignadas a la estructura .....	221
Figura 53. Mensaje de error al graficar reacciones .....	221
Figura 54. Deformación de la estructura provocada por las fuerzas externas ....	222
Figura 55. Mensaje de error al graficar deformación de la estructura .....	222
Figura 56. Desplazamientos nodales de la estructura.....	223
Figura 57. Ubicación de barra de menús .....	223
Figura 58. Opciones para el manejo de archivo .....	224
Figura 59. Cuadro de dialogo mostrado al ejecutar la función Nuevo .....	224
Figura 60. Cuadro Abrir Nueva Armadura.....	225
Figura 61. Abrir un nuevo archivo con otro archivo en ejecución .....	225
Figura 62. Error al cargar archivo.....	225
Figura 63. Error al cargar archivo con valores no numéricos .....	226
Figura 64. Error al cargar archivo con valores de grados de libertad negativos..	226
Figura 65. Error al cargar valores de Áreas o Módulos de Elasticidad.....	226
Figura 66. Cuadro para guardar armadura en análisis.....	227
Figura 67. Cuadro de dialogo para regresar a la ventana principal.....	227
Figura 68. Cuadro de dialogo al ejecutar la función salir.....	228
Figura 69. Menú para el cambio de apariencia de AEstruct2D .....	228
Figura 70. Selección de colores de ventana.....	229
Figura 71. Opciones para sección de ayuda .....	229
Figura 72. Ventana para Análisis de marcos planas. ....	230
Figura 73. Inserción del número de miembros del marco .....	231
Figura 74. Mensaje de valor erróneo en inserción de número de elementos.....	231
Figura 75. Mensaje de valor erróneo inserción del número de elementos. ....	232

Figura 76. Matriz de geometría de los miembros del marco .....	232
Figura 77. Ayudante para la inserción de datos de geometría .....	233
Figura 78. Vista previa de la estructura .....	234
Figura 79. Ubicación del botón “Desbloquear” .....	234
Figura 80. Cuadro de dialogo de Botón “Desbloquear” .....	235
Figura 81. Ubicación de función de asignación de propiedades .....	235
Figura 82. Componentes de Ventana AEstruct2D Secciones .....	236
Figura 83. Menú para asignar el tipo de sección .....	236
Figura 84. Secciones LRFD .....	237
Figura 85. Opciones para crear secciones .....	238
Figura 86. Posibles errores en la creación de una sección .....	239
Figura 87. Asignación de propiedades .....	240
Figura 88. Ubicación del botón Aceptar .....	240
Figura 89. Posibles errores al presionar el botón “Aceptar” .....	242
Figura 90. Botón para asignar restricciones en panel “Asignar” .....	243
Figura 91. Ventana para la asignación de restricciones .....	243
Figura 92. Tipos de restricciones .....	244
Figura 93. Ubicación del nodo a restringir o restringido. ....	245
Figura 94. Error al asignar restricción en uno de los nodos de la estructura.....	245
Figura 95. Cuadro de dialogo para apoyos simples en $X$ .....	246
Figura 96. Gráficos de apoyos simples en $X$ .....	246
Figura 97. Cuadro de dialogo para apoyos simples en $Y$ .....	246
Figura 98. Gráficos de apoyos simples en $Y$ .....	247
Figura 99. Menú desplegable para asignación de fuerzas en los nodos .....	247
Figura 100. Ventana para introducir fuerzas en los nodos. ....	248

Figura 101. Error en la introducción del número de fuerzas en nodos .....	248
Figura 102. Cuadro para introducción del sentido de fuerza en un nodo .....	249
Figura 103. Introducción de la magnitud de la fuerza en un nodo .....	249
Figura 104. Magnitud y sentido de la fuerza en un nodo .....	250
Figura 105. Posibles errores al ejecutar la función “OK” .....	251
Figura 106. Menú para asignación de desplazamientos en los nodos .....	251
Figura 107. Ventana para introducir desplazamientos en los nodos. ....	251
Figura 108. Error en la introducción del número de fuerzas en nodos .....	252
Figura 109. Introducción del sentido del desplazamiento en nodo .....	253
Figura 110. Introducción de la magnitud del desplazamiento en el nodo .....	253
Figura 111. Introducción de la magnitud y sentido del desplazamiento del nodo	254
Figura 112. Errores en “OK” de desplazamientos en nodos .....	255
Figura 113. Menú para asignación de fuerzas puntuales en elementos .....	255
Figura 114. Ventana para introducir fuerzas puntuales sobre los elementos. ....	256
Figura 115. Menú para la selección del elemento. ....	256
Figura 116. Apreciación del elemento al cual se le asignan fuerzas puntuales ..	257
Figura 117. Rotulo del número del elemento.....	257
Figura 118. Errores al ingresar número de fuerzas puntuales.....	258
Figura 119. Ubicación de Tabla para inserción de datos cargas puntuales .....	259
Figura 120. Mensaje de error al insertar valores de $k$ de cargas puntuales.....	259
Figura 121. Convención de signos para Fuerza puntual .....	260
Figura 122. Ubicación de los botones para inserción de fuerzas puntuales.....	260
Figura 123. Cargas puntuales a igual distancia, Caso A.....	260
Figura 124. Cargas puntuales a igual distancia, Caso B.....	261
Figura 125. Cuadro para introducción de fuerza puntual sobre elemento.....	261

Figura 126. Error al asignar la magnitud de carga puntual sobre elemento. ....	262
Figura 127. Menú para asignación de fuerzas distribuidas a los elementos .....	262
Figura 128. Ventana para introducir fuerzas distribuidas sobre los elementos. ...	263
Figura 129. Menú para la selección del elemento. ....	263
Figura 130. Apreciación del elemento al cual se le asignan fuerzas distribuidas	264
Figura 131. Rotulo del número del elemento.....	264
Figura 132. Errores al ingresar número de cargas distribuidas .....	265
Figura 133. Ubicación de Tabla para inserción de datos cargas distribuidas.....	266
Figura 134. Tipos de cargas analizadas por AEstruct2D .....	266
Figura 135. Selección del tipo de carga distribuida .....	267
Figura 136. Error al insertar valores de $k_1$ y $k_2$ de cargas distribuidas.....	268
Figura 137. Convención de signos para Fuerzas Distribuidas .....	268
Figura 138. Menú para asignación de momento puntual sobre elementos .....	269
Figura 139. Introducir momento flexionante puntual sobre los elementos. ....	270
Figura 140. Menú para la selección del elemento. ....	270
Figura 141. Apreciación del elemento al cual se le asigna momento.....	271
Figura 142. Rotulo del número del elemento.....	271
Figura 143. Error al introducir el número de momentos menor a cero. ....	272
Figura 144. Advertencia de error inserción del número de momentos .....	272
Figura 145. Ubicación de Tabla para inserción de datos de momentos.....	273
Figura 146. Mensaje de error al insertar valores de $k$ del momento.....	274
Figura 147. Convención signos para indicar momento puntual.....	274
Figura 148. Ubicación del botón “Fuerza Sísmica”.....	275
Figura 149. Ventana para el análisis de Fuerza Sísmica. ....	276
Figura 150. Menú de selección de zona sísmica.....	276

Figura 151. Menú de Grupo de Estructura.....	277
Figura 152. Menú para la selección del tipo de suelo .....	278
Figura 153. Menú para la selección del Factor de Reducción por ductilidad .....	279
Figura 154. Menú de selección de condición de regularidad de la estructura.....	280
Figura 155. Tablas de resultados del análisis de fuerzas sísmicas.....	280
Figura 156. Menú de contexto para visualizar el RNC.07 .....	281
Figura 157. Mensaje de error al asignar cargas para análisis sísmico.....	281
Figura 158. Cuadro de dialogo sobre pesos sobre los niveles de la estructura ..	282
Figura 159. Cuadro de dialogo sobre pesos sobre los niveles de la estructura ..	283
Figura 160. Ventana para la visualización de las matrices de rigidez .....	283
Figura 161. Opción de guardado de matriz de rigidez.....	284
Figura 162. Visualización previa del gráfico de la estructura .....	286
Figura 163. Ventana emergente para visualizar gráfico del marco .....	286
Figura 164. Elementos para la visualización de la estructura.....	287
Figura 165. Barra de menús de ventana emergente de gráfico .....	288
Figura 166. Tipos de apoyos de marcos. ....	288
Figura 167. Numeración de elementos de la estructura .....	289
Figura 168. Botón para mostrar los grados de libertad de nodos.....	289
Figura 169. Grados de libertad de la estructura .....	290
Figura 170. Fuerzas externas asignadas a la estructura.....	291
Figura 171. Mensaje de error al graficar fuerzas externas .....	291
Figura 172. Reacciones inducidas por las fuerzas externas .....	292
Figura 173. Mensaje de error al graficar reacciones .....	292
Figura 174. Deformación de la estructura provocada por las fuerzas externas...	293
Figura 175. Mensaje de error al graficar deformación de la estructura .....	293

Figura 176. Desplazamientos nodales de la estructura.....	294
Figura 177. Visualizar fuerzas internas producidas en los elementos.....	295
Figura 178. Menú para selección de elemento.....	296
Figura 179. Menú para selección de tipo de diagrama.....	296
Figura 180. Apreciación de valores de fuerzas internas.....	297
Figura 181. Visualización del máximo valor de cortante o momento.....	298
Figura 182. Ubicación de barra de menús .....	299
Figura 183. Opciones para el manejo de archivo .....	299
Figura 184. Cuadro de dialogo mostrado al ejecutar la función Nuevo Archivo ..	300
Figura 185. Cuadro para Abrir Nuevo Marco.....	300
Figura 186. Cuadro de dialogo para abrir un nuevo archivo .....	301
Figura 187. Error al cargar archivo .....	301
Figura 188. Error al cargar archivo con valores no numéricos .....	301
Figura 189. Error al cargar valores de grados de libertad .....	302
Figura 190. Error al cargar valores de Áreas o Módulos de Elasticidad.....	302
Figura 191. Cuadro guardar marco en análisis .....	303
Figura 192. Cuadro de dialogo al ejecutar la función salir.....	304
Figura 193. Menú Asignar .....	304
Figura 194. Asignación de datos a los elementos de la estructura .....	304
Figura 195. Asignación de datos a los nodos de la estructura .....	305
Figura 196. Activación del Método Estático Equivalente .....	305
Figura 197. Opciones del menú Ver.....	306
Figura 198. Menú para el cambio de apariencia de AEstruct2D .....	306
Figura 199. Selección de colores de ventana.....	307
Figura 200. Opciones para sección de ayuda .....	307

Figura 201. Armadura I – Grafico .....	309
Figura 202. Armadura I - Grados de libertad y sentidos de análisis .....	310
Figura 203. Armadura I - Definición de unidades .....	311
Figura 204. Armadura I – Número de miembros .....	312
Figura 205. Armadura I – Modulo de Elasticidad.....	312
Figura 206. Armadura I – Datos de geometría de los miembros.....	313
Figura 207. Armadura I – Graficar la armadura.....	313
Figura 208. Armadura I – Número de desplazamientos conocidos .....	314
Figura 209. Armadura I – Fuerzas externas .....	315
Figura 210. Armadura I – Comprobación de Datos introducidos.....	315
Figura 211. Armadura I – Evaluación .....	316
Figura 212. Armadura I – Matriz de rigidez .....	316
Figura 213. Armadura I - Resultados obtenidos.....	317
Figura 214. Armadura I – Grafico de la armadura .....	318
Figura 215. Armadura I – Grafico .....	319
Figura 216. Armadura I - Definición de unidades .....	320
Figura 217. Armadura I – Número de miembros .....	321
Figura 218. Armadura I – Área y Modulo de Elasticidad .....	321
Figura 219. Armadura II – Datos de geometría de los miembros .....	322
Figura 220. Armadura II – Graficar la armadura.....	322
Figura 221. Armadura II – Número de desplazamientos conocidos .....	323
Figura 222. Armadura II – Fuerzas externas .....	324
Figura 223. Armadura II – Comprobación de Datos introducidos.....	324
Figura 224. Armadura II – Evaluación .....	325
Figura 225. Armadura II – Matriz de rigidez .....	325

Figura 226. Armadura II - Resultados obtenidos .....	326
Figura 227. Armadura II – Grafico de la armadura .....	327
Figura 228. Marco I – Grafico.....	328
Figura 229. Marco I - Definición de unidades .....	329
Figura 230. Marco I – Número de miembros .....	330
Figura 231. Marco I – Área, Inercia y Modulo de Elasticidad .....	330
Figura 232. Marco I – Datos de geometría de los miembros.....	331
Figura 233. Marco I – Graficar el marco .....	331
Figura 234. Marco I – Restricciones en los nodos.....	332
Figura 235. Marco I – Fuerzas en Nodo .....	333
Figura 236. Marco I – Matriz de rigidez .....	334
Figura 237. Marco I – Visualización grafica de los resultados.....	334
Figura 238. Marco I – Visualización grafica de fuerzas internas .....	335
Figura 239. Marco II – Grafico.....	337
Figura 240. Marco II - Grados de libertad y secciones de los elementos .....	338
Figura 241. Marco II - Definición de unidades.....	340
Figura 242. Marco II – Número de miembros .....	340
Figura 243. Marco II – Creación de secciones .....	341
Figura 244. Marco II - Asignación de y material .....	342
Figura 245. Marco II – Datos de geometría de los miembros.....	342
Figura 246. Marco II – Graficar el marco .....	343
Figura 247. Marco II – Restricciones en los nodos.....	344
Figura 248. Marco II – Cargas puntuales .....	345
Figura 249. Marco II – Cargas distribuidas.....	345
Figura 250. Marco II – Fuerzas sísmicas .....	346

Figura 251. Marco II – Visualización grafica de los resultados.....	347
Figura 252. Marco II – Visualización grafica de fuerzas internas .....	348

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 Armadura I - Datos de geometría de los elementos .....	310
Tabla 2 Armadura I - Datos de nodos .....	310
Tabla 3 Armadura I – Desplazamientos y fuerzas .....	311
Tabla 4 Armadura I - Desplazamientos y Reacciones obtenidas .....	317
Tabla 5 Armadura I – Fuerzas Internas obtenidas .....	317
Tabla 6 Armadura I - Comparación de resultados.....	318
Tabla 7 Armadura II - Datos de geometría de los elementos .....	319
Tabla 8 Armadura II - Datos de nodos .....	319
Tabla 9 Armadura II – Desplazamientos y fuerzas.....	320
Tabla 10 Armadura II Desplazamientos y reacciones en los nodos .....	326
Tabla 11 Armadura II – Fuerzas Internas obtenidas .....	326
Tabla 12 Armadura II – Comparación de fuerzas internas .....	327
Tabla 13 Marco I - Datos de geometría de los elementos.....	328
Tabla 14 Marco I - Datos de nodos .....	329
Tabla 15 Marco I – Restricciones y fuerzas.....	329
Tabla 16 Marco I - Desplazamientos y Reacciones obtenidas .....	335
Tabla 17 Marco I – Fuerzas Internas obtenidas .....	336
Tabla 18 Marco I - Comparación de resultados.....	336
Tabla 19 Marco II - Datos de geometría de los elementos.....	338
Tabla 20 Marco II - Datos de nodos .....	339
Tabla 21 Marco II – Restricciones y fuerzas.....	339
Tabla 22 Marco II - Parámetros para análisis sísmico por el Método Estático Equivalente.....	339
Tabla 23 Marco II - Datos de elementos .....	342
Tabla 24 Marco II – Factores y Fuerzas Sísmicas calculadas.....	346
Tabla 25 Marco II - Desplazamientos y Reacciones obtenidas .....	348
Tabla 26 Marco II – Fuerzas Internas obtenidas .....	349

## UNIDAD 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Acerca De AEstruct2D

AEstruct2D es un programa para el análisis de estructuras planas, intrínsecamente analiza armaduras o cerchas y marcos empleando el Método de Rigidez en dos direcciones. El nombre AEstruct2D significa Analizador de Estructuras en dos Dimensiones.

AEstruct2D ha sido creado por los estudiantes de la carrera de ingeniería civil, de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Darwin L. Chavarría Peralta y Freddy A. Berrios Vega, bajo la dirección del Doctor e Ingeniero Edwin A. Obando Hernández.

Esta herramienta ha sido programada con el software Matlab en su versión R2013a del año 2013. El uso del programa AEstruct2D requiere conocimiento de los fundamentos teóricos y el procedimiento de análisis de estructuras, bajo el Método de Rigidez. Se sugiere que el usuario revise literatura relevante a este tópico.

### 1.2 Términos Y Condiciones para el uso de AEstruct2D

El Software AEstruct2D, incluyendo todos los algoritmos y documentación disponible, sólo estará autorizado para su uso en la medida que el usuario acepte todas las condiciones contenidas en este acápite. Se sugiere que sean leídos todos los términos y condiciones, cuidadosamente.

El usuario se someterá a las siguientes condiciones para el uso de AEstruct2D:

- 1) El Software es poseído por sus creadores Darwin Leonel Chavarría Peralta y Freddy Antonio Berrios Vega.
- 2) Cualquier trabajo derivado, incluyendo cualquier modificación o la mejora para el Software deberá ser notificado a los creadores, se prohíbe cualquier acción que modifique los códigos fuente o cualquier documentación ligada al software sin el consentimiento de los creadores de AEstruct2D.
- 3) En el caso que sea concedido cualquier trabajo derivado, se deberá especificar este aviso " Este producto es derivado del software AEstruct2D desarrollado por Darwin L. Chavarría Peralta y Freddy A. Berrios Vega en la Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua".
- 4) El usuario admitirá que el Software AEstruct2D es de propiedad de los autores anteriormente mencionados. Y se comprometerá a proteger al Software de divulgación no autorizada y acciones perjudiciales para el programa. Si el usuario es consciente de cualquier uso no autorizado

prontamente notificará tales acciones por escrito a la direcciones de correos [dchavarria91@outlook.com](mailto:dchavarria91@outlook.com) y [fberrios93@hotmail.com](mailto:fberrios93@hotmail.com).

- 5) Para mejorar el software se le anima al usuario que provea información de retroalimentación en el diseño del Software y posibles experiencias usando AEstruct2D que puedan contribuir a mejorarlo, a la dirección [www.facebook.com/AEstruct2D](http://www.facebook.com/AEstruct2D).
- 6) Cualquier material del que se hizo una descarga queda a discreción del usuario y su riesgo, y el usuario es solamente responsable de cualquier daño para el sistema de la computadora o la pérdida de datos que resulta de la descarga de tal material, incluyendo cualquier daños y perjuicios resultando la corrupción del sistema de la computadora por virus malwares, spywares u otros.
- 7) Cabe recalcar que este programa es proveído libremente, por lo cual el usuario asume toda responsabilidad sobre los resultados obtenidos con AEstruct2D y el uso de estos. El usuario asume el riesgo entero en lo que se refiere a la calidad, resultados, desempeño, y/o incumplimiento del Software.

### 1.3 Programa De Instalación

- a. Si el MATLAB Compiler Runtime (MCR) no ha sido instalado, entonces haga lo siguiente:
  - Revise si la arquitectura de su ordenador es de versión 32-bit o 64-bit.
  - Eche a andar el Instalador del MCR, según la arquitectura de su ordenador, dando doble clic sobre el archivo nombrado AEstruct2D v1.0.
  - Cuando el instalador del MCR se haya echado a andar, se ostenta la siguiente ventana de diálogo. Lea la información y entonces de clic en "Siguiente" para seguir con la instalación.

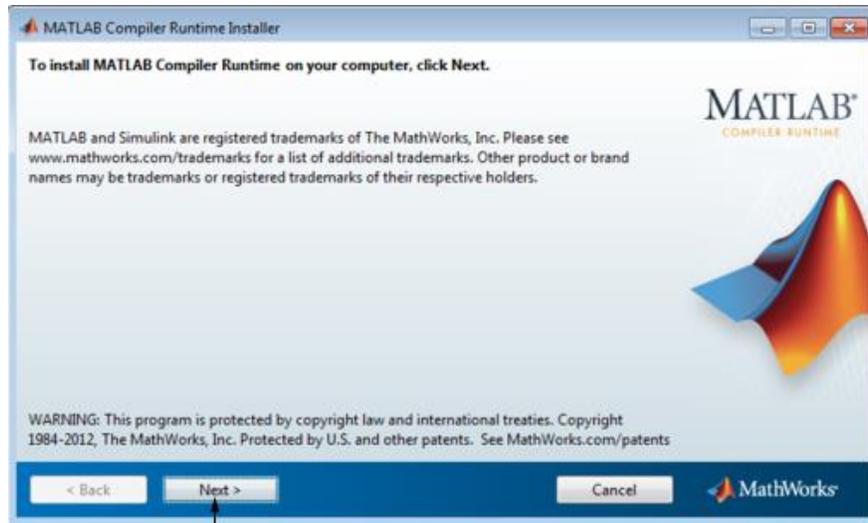


Figura 1. Instalador del MATLAB Compiler Runtime (MCR)

- Especifique la carpeta en la cual usted quiere instalar al MCR en la ventana de diálogo "Folder Selection", se recomienda no editar la carpeta predeterminada.

Nota: En los sistemas Windows, usted puede tener instalaciones físicas múltiples de versiones diferentes del MCR en su computadora pero la instalación es única para cualquier versión particular. Si usted ya tiene una instalación existente, entonces el instalador MCR no exhibe la ventana de diálogo "Folder Selection" porque usted sólo puede sobrescribir la instalación existente en la misma carpeta. En Linux y los sistemas de la Macintosh, usted puede tener instalaciones físicas múltiples de la misma versión del MCR. Cuando el instalador del MCR se echa a andar, ostenta la siguiente ventana de diálogo.

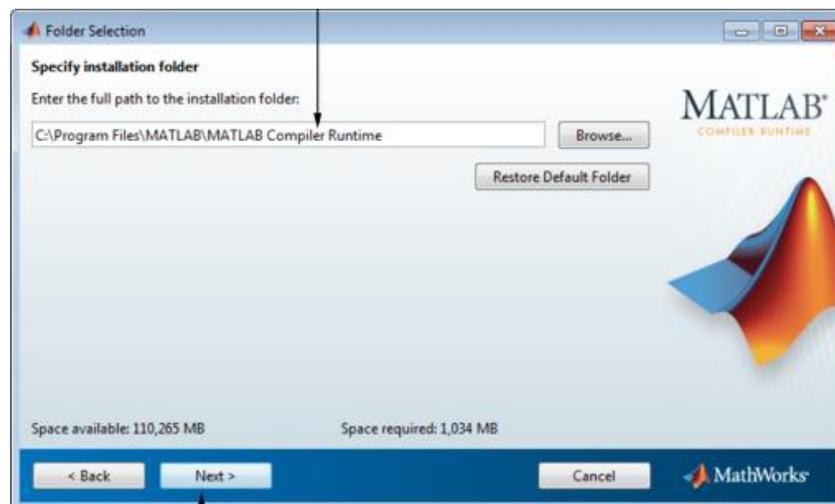


Figura 2. Selección de carpeta en instalación del MCR

- Confirme sus elecciones y de clic en Siguiete. El Instalador MCR inicia a copiar archivos en la carpeta de instalación.

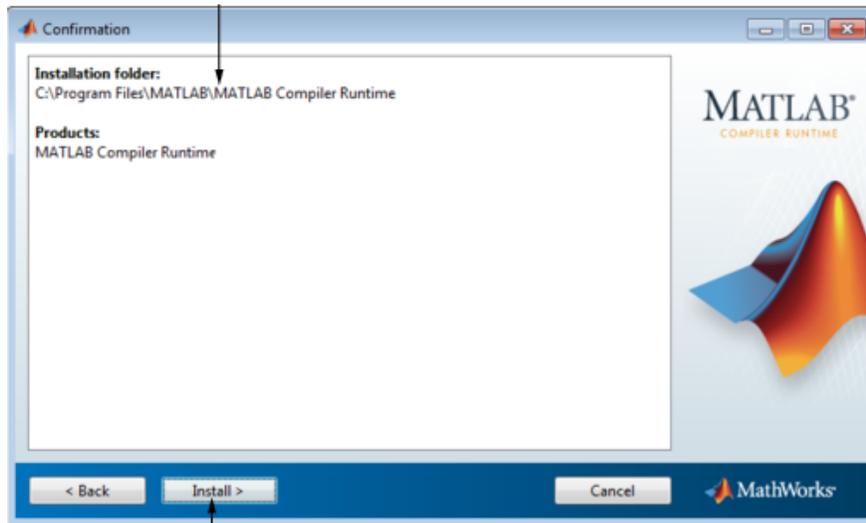


Figura 3. Confirmación de carpeta en instalación del MCR

- En Linux y los sistemas de la Macintosh, después de copiar archivos para su disco, se desplegará del Instalador MCR, el cuadro de diálogo llamado “Product Configuration Notes”.

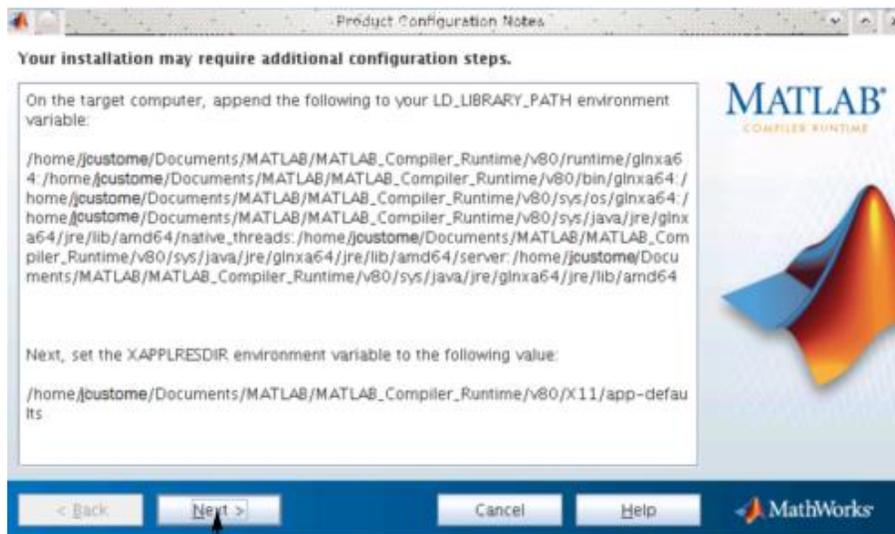


Figura 4. Confirmación de carpeta en instalación del MCR

- De clic en Finalizar para salir del instalador MCR

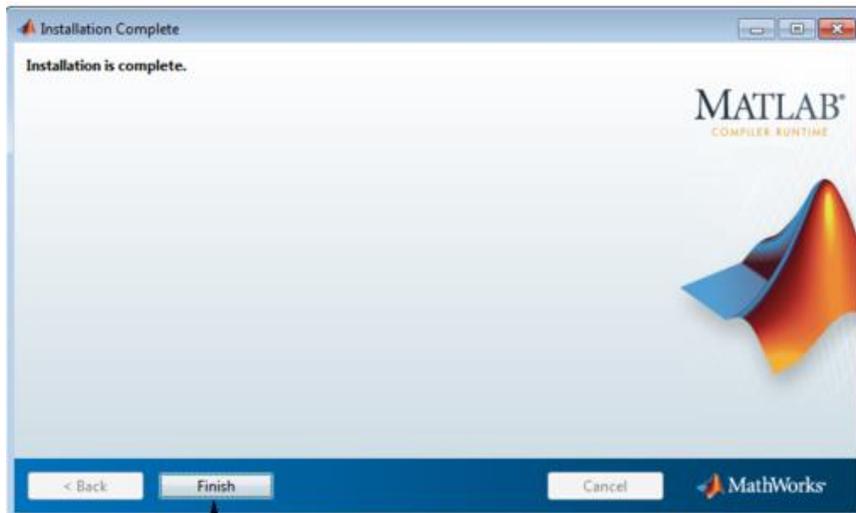


Figura 5. Finalizar instalación del MCR

- b. Ejecute la aplicación AEstruct2D v1.0, para comenzar a usar la herramienta.

## 1.4 Propiedades De AEstruct2D v1.0

Aquí se mencionan las principales propiedades de AEstruct2D, enmarcadas en tres grupos, las propiedades del módulo para análisis de armadura, marcos y las propiedades de la interfaz gráfico de usuario:

### 1.4.1 Análisis Con El Módulo De Armaduras Planas

- El módulo de armadura de AEstruct2D permite la inserción de datos y visualización de resultados en una sola ventana, exceptuando la apreciación del gráfico de la estructura y la matriz de rigidez.
- AEstruct2D realiza análisis a armaduras planas con gran precisión gracias al empleo del Método de Rigidez.
- AEstruct2D no limita el número de elementos para realizar el análisis de una armadura.
- Permite la inserción de las propiedades geométricas (Área, Modulo de Elasticidad) para cada elemento de la estructura a analizar.
- AEstruct2D permite el uso de unidades métricas e inglesas.
- Permite la obtención de la matriz de rigidez de cada elemento y la matriz de rigidez global de la estructura.
- AEstruct2D en el módulo para el análisis de armaduras planas, permite la inserción de desplazamientos conocidos y fuerzas aplicadas a la estructura.
- AEstruct2D permite guardar los análisis en los formatos \*.txt, \*.mat.

### 1.4.2 Análisis Con El Módulo De Marcos Planos

- El módulo de Marcos de AEstruct2D permite la inserción de datos y visualización de resultados en diversas ventanas, a diferencia del módulo de armaduras.
- AEstruct2D realiza análisis a Marcos planos con gran precisión gracias al empleo del Método de Rigidez.
- AEstruct2D no limita el número de elementos para realizar el análisis de un marco.
- Permite la inserción de las propiedades geométricas (Área, Inercia, Modulo de Elasticidad) para cada elemento de la estructura a analizar.
- AEstruct2D permite el uso de unidades métricas e inglesas.
- Permite la obtención de la matriz de rigidez de cada elemento y la matriz de rigidez global de la estructura.
- AEstruct2D en el módulo para el análisis de marcos planos, permite la inserción de restricciones y fuerzas aplicadas a la estructura.
- AEstruct2D incluye un análisis por fuerza sísmica según la reglamentación de la Republica de Nicaragua.
- AEstruct2D permite guardar los análisis en los formatos \*.txt, \*.mat y en el formato propio del programa con extensión \*.ae2d, y exportar resultados a archivos con la extensión \*.xlsx.

### 1.4.3 Interfaz Gráfica De Usuario

- Selección visual del tipo de estructura a analizar.
- Menú para selección de unidades.
- Visualización de gráfico de la estructura a analizar.
- Diversas ventanas para la inserción de datos, para el caso del módulo de análisis para marcos.
- Ventanas para la visualización de resultados tanto gráficamente como matricialmente.
- Menú para el cambio de apariencia de la interfaz gráfica de usuario del programa.
- Cuadros de diálogos para continuar con procesos dentro del programa.
- Ventanas emergentes para la visualización de mensajes de errores y mensajes de advertencia.

## 1.5 Limitaciones de AEstruct2D

En primera instancia se hace la salvedad que el software, es una herramienta destinada para el análisis estructural de armaduras y marcos planos, y no propone en ninguna manera la realización de diseño y/o revisión de las secciones de los elementos que constituyan tales estructuras.

La herramienta propuesta se limita a la realización de análisis de marcos y armaduras en un plano bidimensional, es decir que las estructuras que se pretendan analizar deben de ser idealizadas a un solo plano. Cabe recalcar que los elementos pertenecientes a estas estructuras deben tener secciones transversales homogéneas y no deben poseer ninguna articulación a lo largo de su longitud, así mismo no se pueden analizar elementos en forma de arcos.

Los análisis que se realicen no tomaran en cuenta efecto por temperatura sobre la estructura y el análisis sísmico para marcos bidimensionales no se realiza por análisis dinámicos sino por el Método Estático Equivalente presentado por el Reglamento Nacional de Construcción de Nicaragua. Además apoyos inclinados o base inclinada no son analizadas por el software en su versión 1.0.

Estos aspectos restringen ciertas consideraciones en el análisis estructural, pero no implican que la herramienta sea incapaz de realizar análisis típicos con eficacia.

## UNIDAD 2: MANUAL DE USUARIO

### 2.1 Estructura De AEstruct2D

La interfaz gráfica de usuario de AEstruct2D está compuesta de diversas ventanas sobre las cuales a continuación se presenta una guía para el uso adecuado del programa. En la figura mostrada en la parte inferior se presenta el diagrama de flujo lógico que presenta AEstruct2D.



Figura 6. Diagrama de flujo de AEstruct2D

## 2.2 Opciones De La Ventana Principal De AEstruct2D

Cuando se inicia el programa AEstruct2D, al usuario se le presenta la ventana mostrada en la Figura 7.

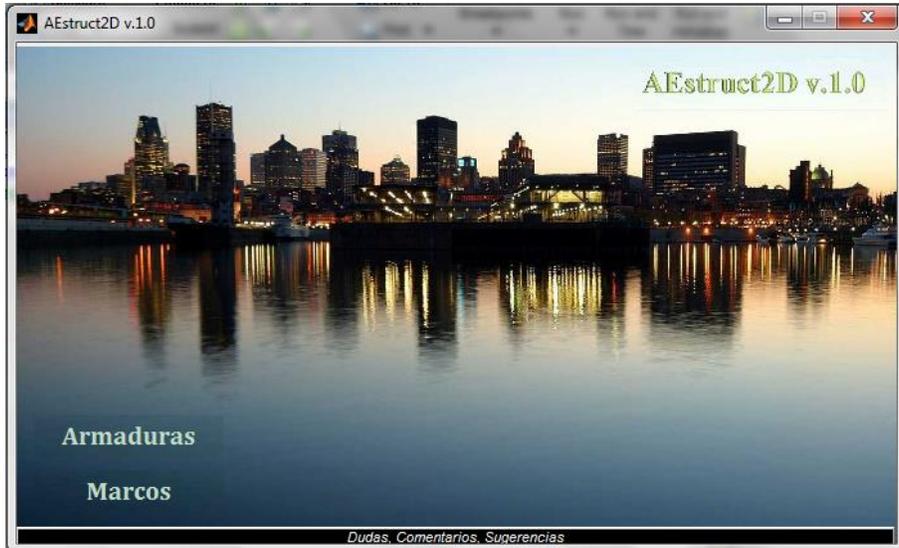


Figura 7. Ventana principal de AEstruct2D

Esta ventana presenta las opciones de selección del tipo de estructura a analizar y visualización de información general concerniente a AEstruct2D, además de una opción para contactarse con los creadores del programa.

La selección del tipo de estructura a analizar se realizara mediante los botones nombrados "Armaduras" y "Marcos", estos botones están ubicados en la parte inferior izquierda de la ventana, al presionar uno de estos botones emergerá una ventana según sea el caso, dichas ventanas emergentes se abordaran posteriormente.

Para la visualización de datos concernientes al programa, el usuario deberá presionar el botón nombrado "AEstruct2D v1.0", luego de esta acción se desplegara la ventana mostrada en la Figura 8.

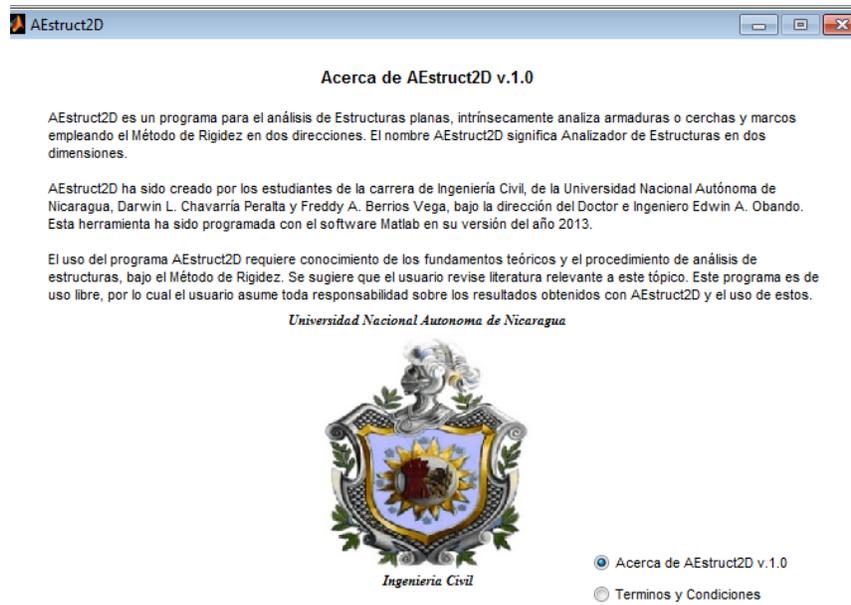


Figura 8. Visualización de datos sobre AEstruct2D

En la esquina inferior derecha de esta ventana se ubican los botones seleccionables con los cuales se puede cambiar de la visualización de información a los términos y condiciones para del uso del programa.

Para contactarse con los creadores de AEstruct2D, el usuario tendrá la opción de hacerlo vía INTERNET, en específico mediante la dirección [www.facebook.com/AEstruct2D](http://www.facebook.com/AEstruct2D), en esta dirección se podrán proporcionar dudas, sugerencias o comentarios sobre el programa, esto con la finalidad de una retroalimentación en la creación y avance del software. La ventana principal de AEstruct2D presenta un botón en la parte inferior para llevar al usuario hasta la dirección mencionada.

### 2.3 Selección Del Tipo De Estructura A Analizar

Como se ha mencionado con antelación AEstruct2D en su versión 1.0, tiene la capacidad de analizar estructuras planas, específicamente armaduras y marcos, en la ventana principal el usuario podrá seleccionar el tipo de estructura a analizar. Si se selecciona “Armaduras” entonces aparecerá el módulo de análisis de armaduras del cual se abordara en el acápite 2.4 de este manual, en el caso que se seleccione el módulo de análisis de marco se debe revisar el acápite 2.5.

## 2.4 Análisis De Armaduras Planas

Posteriormente a seleccionar armaduras planas como tipo de estructura a analizar, el usuario podrá apreciar la ventana ostentada en la Figura 9.

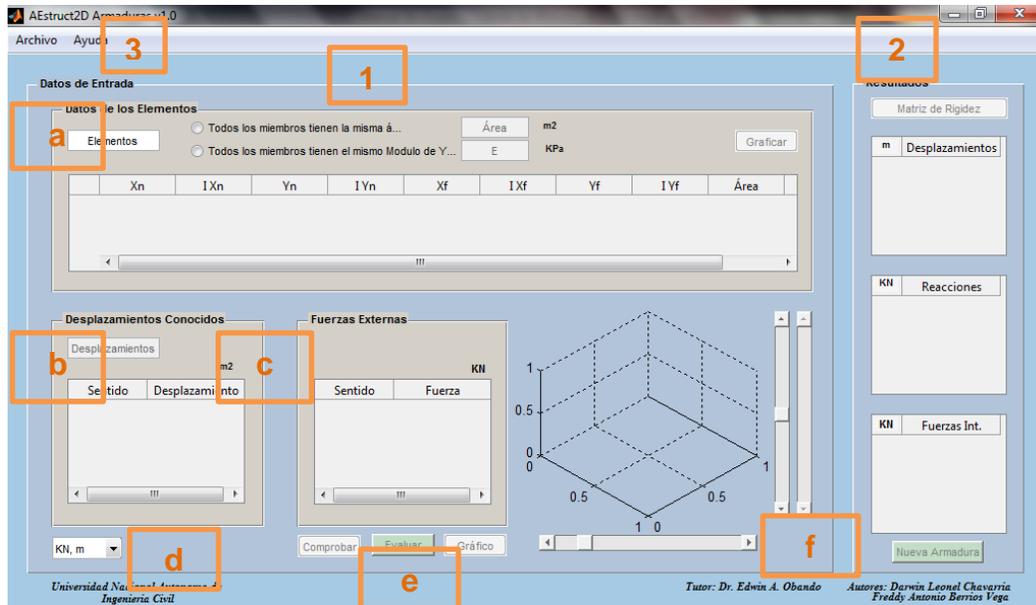


Figura 9. Ventana para Análisis de Armaduras planas.

En esta ventana se destacan las opciones presentadas por los elementos:

- 1) Panel para la inserción de datos de entrada, compuesto por;
  - a) Sub-panel para la introducción de datos correspondientes a cada elemento que conforma la armadura.
  - b) Sub-panel para la entrada de los desplazamientos conocidos de la estructura.
  - c) Sub-panel para indicar las fuerzas externas que actúan sobre la armadura.
  - d) Menú para la selección y cambio de unidades.
  - e) Grupo de botones para realizar el análisis de las condiciones introducidas.
  - f) Visualización previa del gráfico, a escala, de la armadura.
- 2) Panel de visualización de los resultados del análisis.
- 3) Barra de menú.

De cada uno de los sub-elementos que componen a los elementos indicados, anteriormente, se realizara una explicación para el debido uso de parte del usuario.

### 2.4.1 Establecimiento Del Número de Elementos De la Estructura

A como se ha expuesto anteriormente, en la parte superior de la ventana principal de AEstruct2D en el módulo de análisis de armaduras planas se encuentra el panel para la introducción de los datos de cada uno de los miembros pertenecientes a. la armadura El primer elemento dentro del sub-panel “Datos de los Elementos”, se encuentra un cuadro para indicar el número de miembros que conforman a la armadura, a como se muestra en la Figura 10.

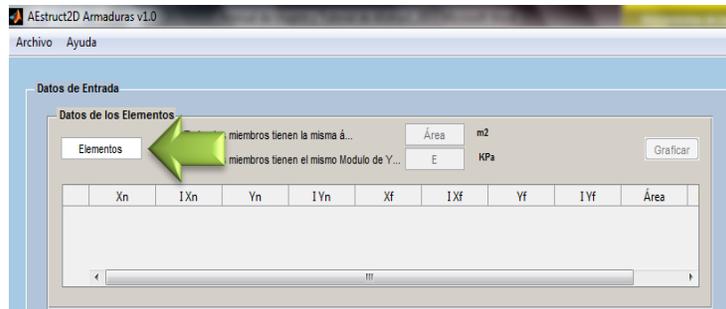


Figura 10. Inserción del número de elementos de la armadura

En este cuadro se debe indicar el número exacto de miembros que constituyen la armadura, de este dato depende el número de filas de la matriz para la inserción de datos de geometría de cada elemento, inmediatamente a la introducción del número de miembros se desplegará la matriz para la inserción de datos de geometría.

El usuario debe limitarse a insertar un número entero positivo en este cuadro, en caso contrario aparecerá algún mensaje indicando la ocurrencia de error. Uno de los mensajes es la inserción de datos erróneos a como se muestra en la Figura 11.

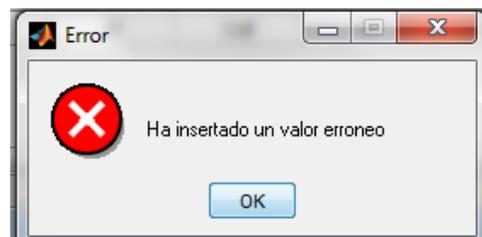


Figura 11. Valor erróneo en inserción de número de elementos.

En el caso de que aparezca este mensaje, se pudo haber insertado:

- Un valor negativo,
- Un número de elementos igual a cero,
- En general un número de elementos menor que uno.

Otro mensaje de error, indicara que el usuario inserte el número de miembros a como se muestra la Figura 12.

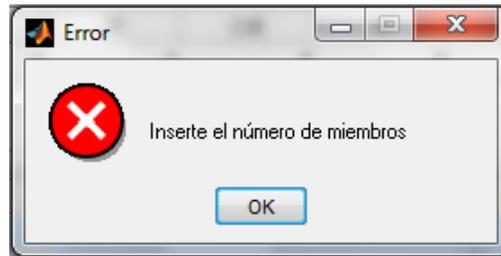


Figura 12. Valor erróneo en inserción del número de elementos.

Este mensaje aparecerá cuando el usuario ingrese en lugar de un número entero positivo, un valor no numérico, o bien sino se especifica el número de elementos de la armadura.

#### 2.4.2 Inserción De Datos De Geometría De La Estructura

En el sub-panel de datos de los elementos se encuentra la matriz para inserción de datos de la geometría de la estructura, tal y como se muestra en la Figura 13.

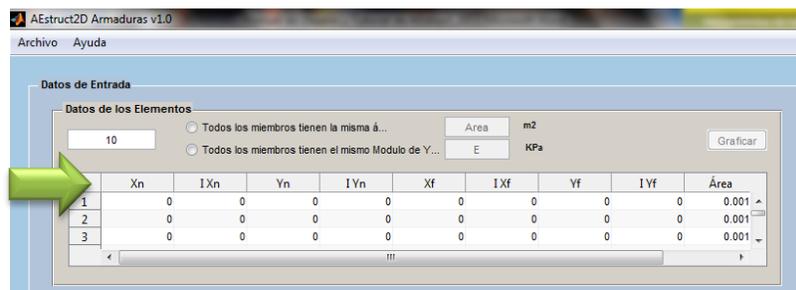


Figura 13. Matriz de geometría de los miembros

Esta matriz está compuesta de diez columnas y la cantidad de fila estará definida por el número de miembros asignados en el cuadro para la inserción de número de elementos. El usuario deberá definir, en la primera y tercera columna, las coordenadas  $(X, Y)$  del nodo cercano, del elemento correspondiente, respectivamente. La quinta y séptima columna están destinadas para indicar las coordenadas  $(X, Y)$  del nodo lejano.

En la segunda y cuarta columna se precisarán los índices de los grados de libertad en el sentido de las  $X$  y  $Y$ , del nodo cercano del elemento, respectivamente. En la sexta y octava columna se establecerán los índices de los grados de libertad en el sentido  $X$  y  $Y$ , del nodo lejano del elemento. La novena y décima columna están destinadas para que el usuario precise el área y módulo de elasticidad de cada elemento, respectivamente.

Luego de la correcta inserción de cada uno de los datos correspondientes a cada elemento, se activara el botón “Graficar” y al presionar este botón automáticamente se realizara el cálculo de la matriz global de la estructura y de cada uno de los elementos que la conforman, por lo tanto se activara el botón llamado “Matriz de Rigidez”. Además se activara el cuadro para la inserción de la cantidad de desplazamientos conocidos en la estructura.

Si el botón Graficar no se activa, es posible que:

- Alguna fila de la matriz este llena de ceros.
- El usuario haya asignado un grado de libertad negativo a algún nodo, si esto ocurre el programa retornara al valor cero el campo donde se hubiera asignado.
- El usuario haya asignado un valor no numérico a un grado de libertad de algún nodo, si esto ocurre el programa retornara al valor cero el campo donde se hubiera asignado, igual que el caso anterior.
- Se haya ingresado un valor de área menor o igual a cero.
- Se introdujo un valor de Módulo de Elasticidad menor o igual a cero.

Es importante que el usuario tenga noción las unidades en la cuales ingresa los datos en la matriz de geometría de la armadura. Conjuntamente, el usuario debe tener en cuenta que son cargados algunos valores de área y Modulo de Elasticidad de todos los elementos por defecto, sin embargo el usuario esta libre para cambiarlos según la necesidad.

Los ayudantes para el llenado de los datos de geometría de la estructura son los botones ubicados en la parte superior del sub-panel de datos de los elementos mostrados en la figura 14.

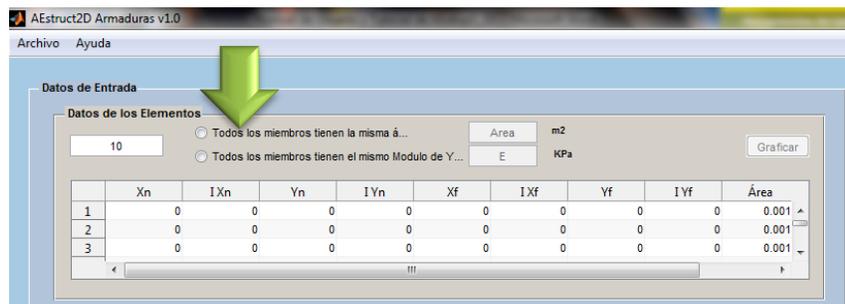


Figura 14. Inserción de datos de Área y Modulo de Elasticidad

El botón seleccionable que indica que todos los miembros tienen la misma área es un ayudante que al ser seleccionado activa un cuadro para la inserción del área, valor que al ser introducido automáticamente cambiara los valores de área transversal de todos los miembros de la armadura. De igual forma el botón

seleccionable que indica que todos los miembros tienen el mismo Módulo de Young, cambiara el valor de Modulo de Elasticidad de todos los elementos al ser presionado e introducir un valor en el cuadro que es activado. Es importante que el usuario este al corriente que los cuadros para la inserción de los datos de área y Módulo de Young solo se activaran si los botones seleccionables se han presionados.

Los posibles errores con estos ayudantes son;

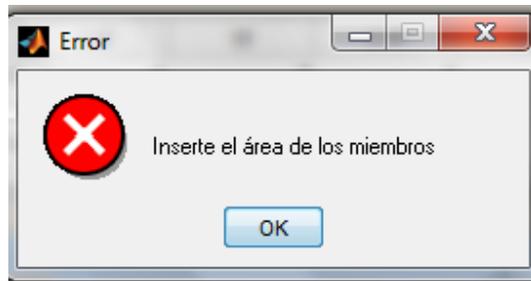


Figura 15. Mensaje de valor erróneo, inserte el área de los miembros

Este mensaje aparecerá si no se inserta ningún valor en el cuadro de inserción de área, además emergerá si es fijado un valor no numérico este mismo cuadro.

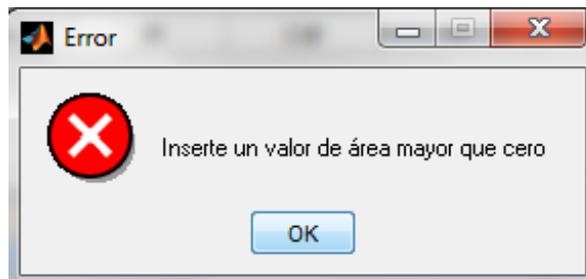


Figura 16. Valor erróneo, inserte un valor de área mayor que cero

Este mensaje emergerá si el valor insertado en el cuadro de inserción de área es igual o menor que cero. Estos mismos errores podrán presentarse si se insertan valores erróneos en lugar del Módulo de Young.

Para que el usuario tenga noción de las unidades en las cuales está realizando la inserción de datos, al lado derecho de los cuadros de inserción de datos de los ayudantes antes mencionados se han colocado las unidades respectivas de área y Módulo de Elasticidad. Tal como lo indica la Figura 17.

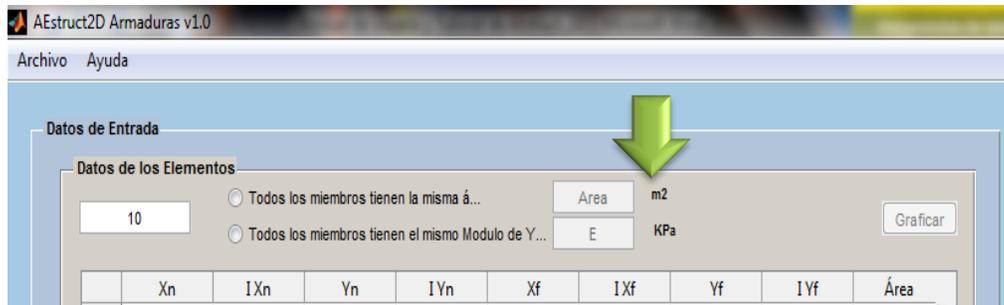


Figura 17. Unidades en la inserción de datos de Área y Modulo de Elasticidad

### 2.4.3 Botón Y Función Graficar

En lo que corresponde al botón “Graficar” y función de este mismo, se ha mencionado con antelación que se activara siempre y cuando la inserción de datos de geometría de la armadura, haya sido efectuada adecuadamente.

Este botón tiene como función mostrar la vista previa de la armadura en el Cuadro para la visualización previa del gráfico, a escala. A como se puede observar en la Figura 18. Este Cuadro está ubicado en la parte inferior derecha del panel para la inserción de datos de los elementos.

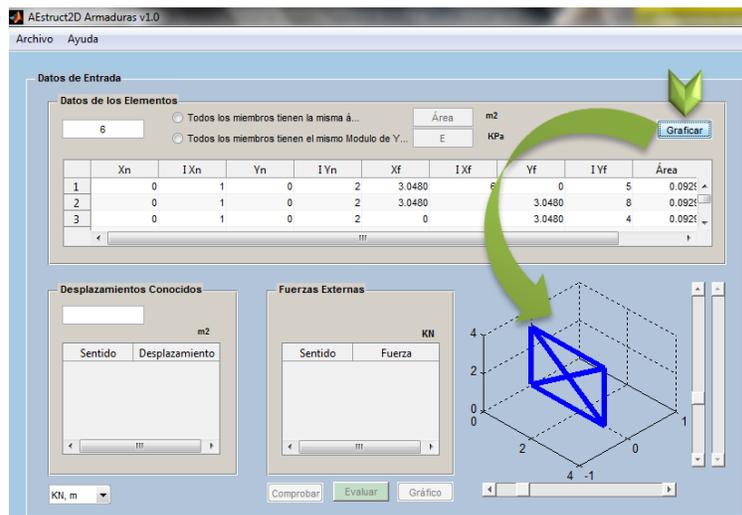


Figura 18. Función del botón Graficar

Al ejecutar este botón automáticamente se realizara el cálculo de la matriz global de la estructura y por ende la matriz de cada uno de los elementos que la conforman por lo tanto se activara el botón llamado “Matriz de Rigidez”. Además se activara el cuadro para la inserción de la cantidad de desplazamiento conocidos en la estructura. Si el botón “Graficar” esta desactivado, revise las recomendaciones mencionadas en la sección 2.4.2.

### 2.4.4 Asignación De Desplazamientos Conocidos

La asignación de desplazamientos conocidos, se debe realizar en el Sub-panel para la entrada de los desplazamientos conocidos de la estructura, ubicado dentro del panel para la inserción de datos de entrada. Este sub-panel es mostrado en la Figura 19.

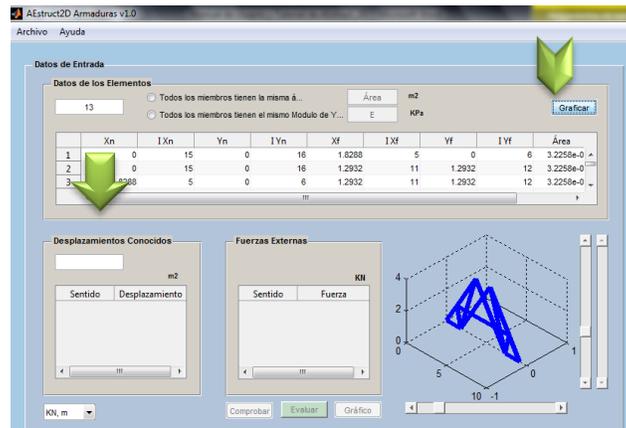


Figura 19. Sub-panel para la entrada de los desplazamientos conocidos

Tal y como se ha mencionado anteriormente las opciones para la inserción de los desplazamientos conocidos de la estructura se activaran luego de pulsar el botón “Graficar”. Los elementos que componen este sub-panel son; un cuadro para la inserción del número de desplazamientos conocidos y una tabla para introducción de estos mismos.

El primer elemento en activarse es el cuadro para la inserción de datos, en el cual se indicara el número de desplazamientos conocidos, al introducir este dato se desplegara la tabla para la introducción de los desplazamientos, y se activara el botón llamado “Comprobar”, además de los elementos del sub-panel para indicar las fuerzas externas que actúan sobre la armadura, de los cuales se abordara posteriormente,

Tal y como se muestra en la Figura 20, el número de filas de la tabla desplegada dependerá del número de desplazamientos insertados, esta tabla tendrá dos columnas donde se indicaran sentido (gdl) y magnitud de los desplazamientos. AStruct2D cargara valores de sentido y magnitud por defecto, los valores de sentido corresponderán a los grados de libertad con los mayores índices y los valores de magnitud serán ceros. Sin embargo el usuario tiene plena libertad de editar la tabla.



Figura 20. Acciones al insertar del número de desplazamientos conocidos

Para que el usuario tenga noción de las unidades en las cuales está realizando la inserción de estos datos, al lado derecho de los cuadros de inserción de datos de desplazamientos se han colocado las unidades correspondientes. Tal como lo indica la Figura 21.

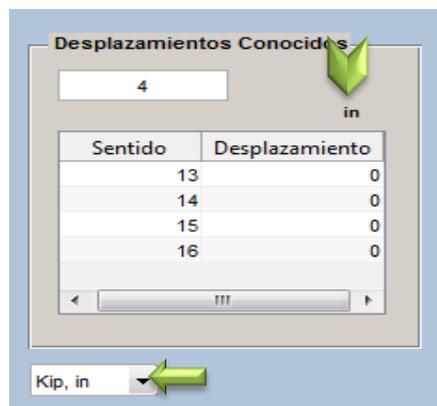


Figura 21. Unidades en la inserción del número de desplazamientos conocidos

La Figura 22, especifica convención de signos que se debe emplear para introducir los desplazamientos conocidos, asumiendo estos positivos en la dirección presentada en la figura.

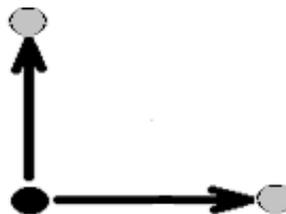


Figura 22. Convención de signos desplazamientos conocidos

Los posibles errores al asignar el número de desplazamientos conocidos son:

- La inserción de un valor erróneo, este error aparecerá si se ingresa un valor igual a cero o bien un número negativo. La ventana que emergerá se ostenta en la Figura 23.

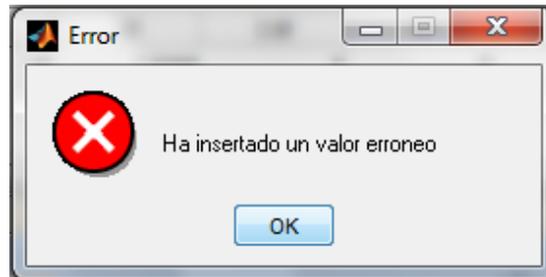


Figura 23. Valor erróneo en número de desplazamientos conocidos

- Ingresar el número de desplazamientos conocidos, este mensaje de error emergerá si se introduce un valor no numérico en el cuadro de inserción de número de desplazamientos conocidos.

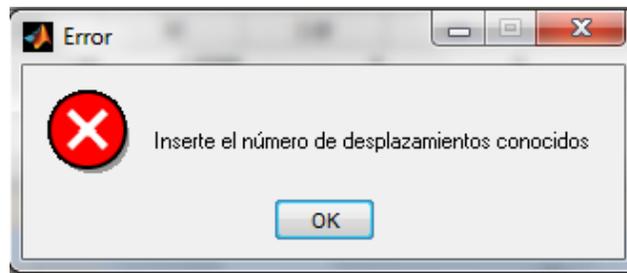


Figura 24. Valor erróneo en el número de desplazamientos conocidos

- Otro posible error es la especificación de un número de desplazamientos conocidos mayor o igual al máximo grado de libertad, en la Figura 25 se muestra la ventana que emergerá si ocurre tal caso.

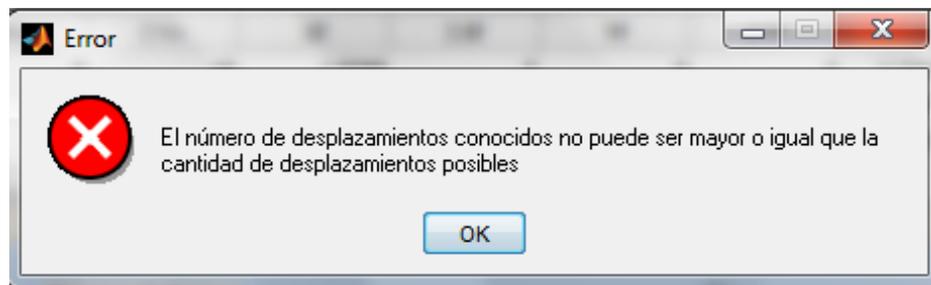


Figura 25. Valor erróneo en el número de desplazamientos conocidos

La asignación de sentidos en la tabla, indica el grado de libertad al que corresponde el desplazamiento asignado, puede ocurrir que el usuario establezca un valor no numérico o bien un valor que no esté dentro del rango de los grados

de libertad, si esto ocurre en el lugar de donde es ingresado este valor erróneo AEstruct2D colocara un valor igual a cero y automáticamente inactivara el botón “Comprobar” y por ende el usuario no podrá continuar con el análisis.

En la introducción de los datos en la tabla, específicamente en la segunda columna de esta, si es asignado un valor no numérico el programa automáticamente colocara un valor igual a cero en lugar del valor erróneo, a diferencia del caso expuesto en el párrafo anterior el análisis si podrá continuarse.

### 2.4.5 Introducción De Fuerzas Externas

La asignación de las fuerzas externas que actúan sobre la estructura, se debe realizar en el Sub-panel de fuerzas externas, ubicado dentro del panel para la inserción de datos de entada. Este sub-panel es mostrado en la Figura 26.

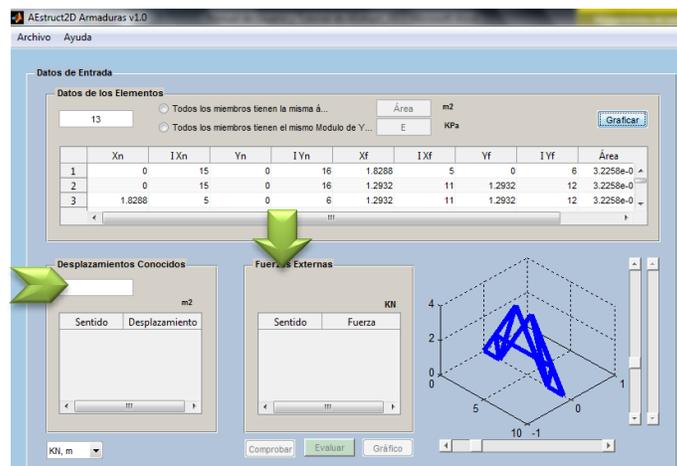


Figura 26. Sub-panel para la entrada de fuerzas externas

Con anterioridad se ha mencionado que las opciones para la inserción de los desplazamientos conocidos de la estructura activaran los elementos del sub-panel de entrada de datos de fuerzas externas.

Tal y como se muestra en la Figura 27, el número de filas de la tabla desplegada dependerá del número de desplazamientos conocidos insertados, esta tabla poseerá dos columnas que indican sentido (gdl) y magnitud de la fuerza externa. AEstruct2D cargara valores de sentido y magnitud por defecto, los valores de sentido corresponderán a los grados de libertad con los menores índices, y los valores de magnitud cargados serán ceros.

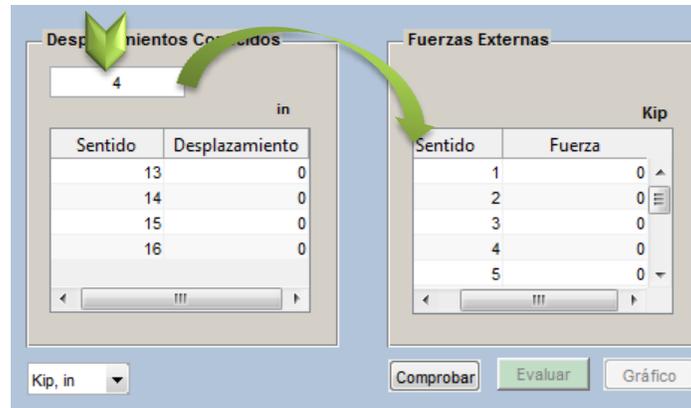


Figura 27. Inserción del número de fuerzas externas

Para tener noción de las unidades en las cuales se realiza la inserción de estos datos, al lado derecho de los cuadros de inserción de datos de fuerzas externas se han colocado las unidades correspondientes. Tal como lo indica la Figura 28.



Figura 28. Unidades en la inserción del número de fuerzas externas

La Figura 29, especifica convención de signos que se debe emplear para introducir las fuerzas, considerándolas positivas en la dirección presentada.

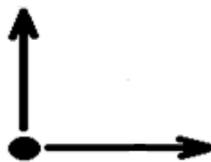


Figura 29. Convención de signos de Fuerza Externas

La asignación de sentidos en la tabla, indica el grado de libertad al que corresponde la fuerza, si se establece un valor no numérico o bien un valor que no esté dentro del rango de los grados de libertad, AEstruct2D colocara un valor igual a cero y automáticamente inactivara el botón "Comprobar" y por ende el usuario no podrá continuar con el análisis.

En la introducción de los datos en la tabla, específicamente en la segunda columna de esta, si es asignado un valor no numérico el programa automáticamente colocara un valor igual a cero en lugar del valor erróneo, a diferencia del caso expuesto en el párrafo anterior el análisis si podrá ser continuado por el usuario.

#### 2.4.6 Comprobación De Los Datos Ingresados

La comprobación de los datos ingresados hace referencia a la validación de los datos introducidos en las tablas de desplazamientos conocidos y fuerzas externas, esta función es ejecutada por el botón ubicado en la parte inferior media de la ventana. En la Figura 30 se ubica el botón para la comprobación de datos.

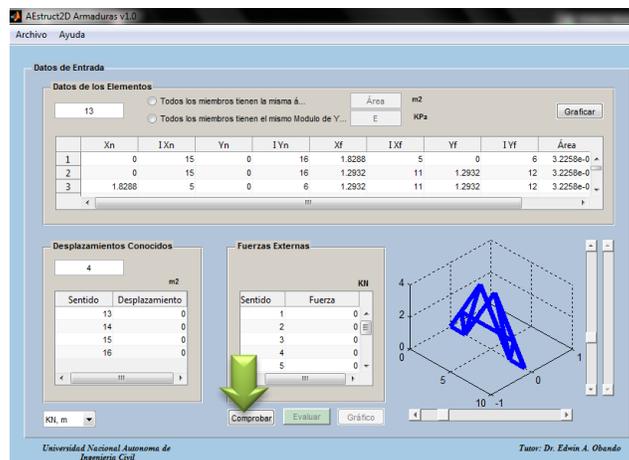


Figura 30. Ubicación del botón Comprobar

Este botón depura los siguientes errores:

- Asignación de valores iguales a cero en la columna que corresponde al sentido o grado de libertad en la tabla de desplazamientos desconocidos.

Este error será reflejado por la aparición del mensaje mostrado en la Figura 31.

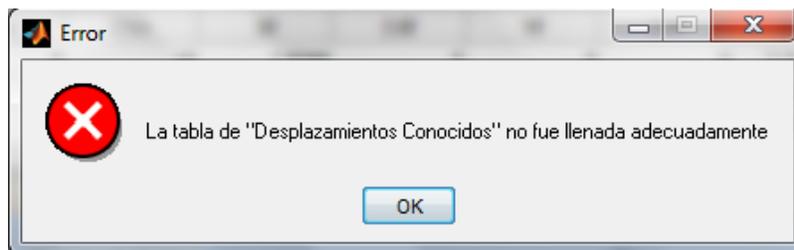


Figura 31. Mensaje de valor erróneo en tabla de desplazamientos conocidos

- Introducción de valores iguales a cero en la columna que corresponde al sentido o grado de libertad en la tabla empleada para la entrada de fuerzas

externas. A continuación en la Figura 32, se ostenta la ventana que refleja el error indicado.

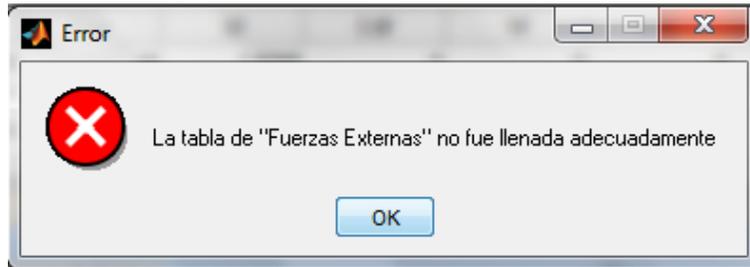


Figura 32. Mensaje de valor erróneo en tabla de fuerzas externas

- Dos valores iguales de sentido o grado de libertad en la tabla de desplazamientos conocidos.

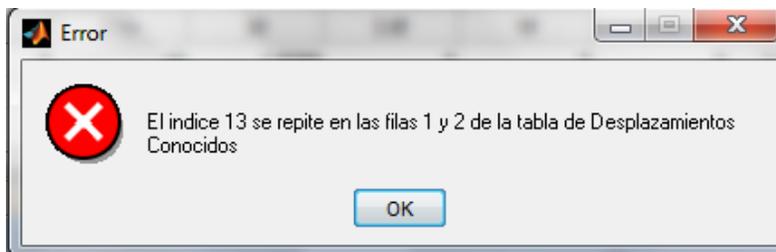


Figura 33. Incoherencia en los datos de tabla de desplazamientos conocidos.

Este mensaje de error indicara al usuario el índice del grado de libertad que se repite y las filas de la tabla donde se encuentran ubicados estos valores,

- Dos valores iguales de sentido o grado de libertad en la tabla de fuerza externa.

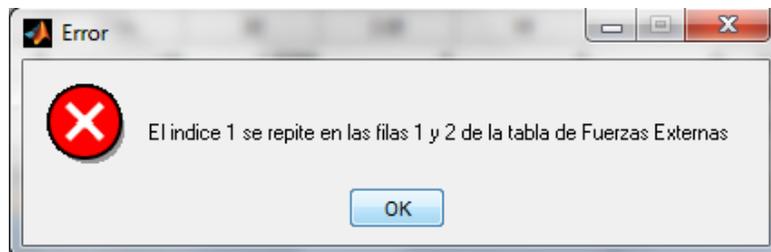


Figura 34. Error en datos de tabla de fuerzas externas.

Este mensaje de error indicara al usuario el índice del grado de libertad que se repite y las filas de la tabla en donde se encuentran ubicados estos valores.

- Valores iguales de sentido o grados de libertad en las tablas de entrada de desplazamientos conocidos y fuerzas externas.



Figura 35. Incoherencia entre de desplazamientos conocidos y fuerzas.

Si no ocurre ninguno de los errores anteriormente planteados, luego de pulsar el botón “Comprobar”, automáticamente se activara el botón “Evaluar”.

#### 2.4.7 Evaluación De Las Condiciones Planteadas

La función referida a la evaluación de las condiciones planteadas, se ejecutara por medio del botón llamado “Evaluar”, siempre y cuando la comprobación de los datos ingresados se haya dado sin ninguna eventualidad adversa. Este botón se encuentra ubicado al lado derecho del botón “Comprobar”, tal y como se visualiza en la Figura 36.

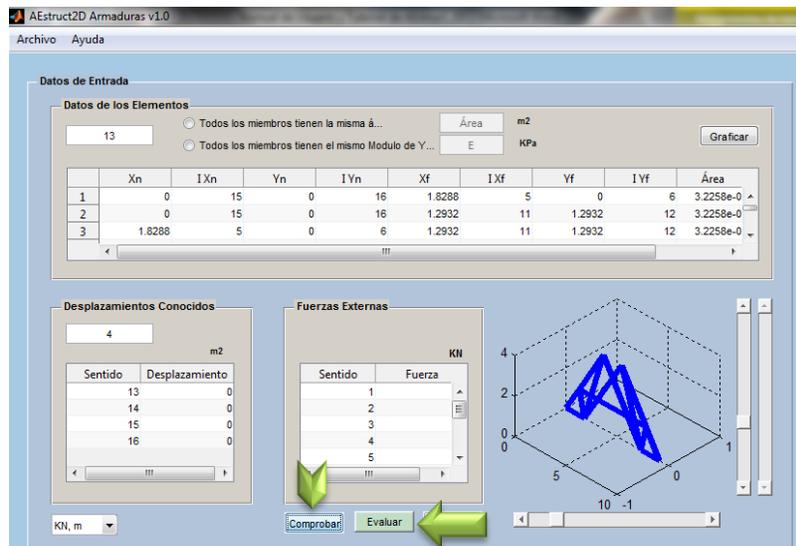


Figura 36. Ubicación del botón Evaluar.

Básicamente la función de evaluación toma la matriz de rigidez global de la estructura y los datos ingresados para desplazamientos conocidos y fuerzas externas, y efectúa el cálculo de Desplazamientos desconocidos, Reacciones en los nodos restringidos, además de fuerzas internas de cada uno de los elementos que conforman la estructura. Al efectuar la evaluación de las condiciones planteadas se podrán visualizar los resultados del análisis en el panel de visualización de los resultados además se activara la opción de visualización del gráfico de la estructura. Tal y como lo muestra la Figura 37.

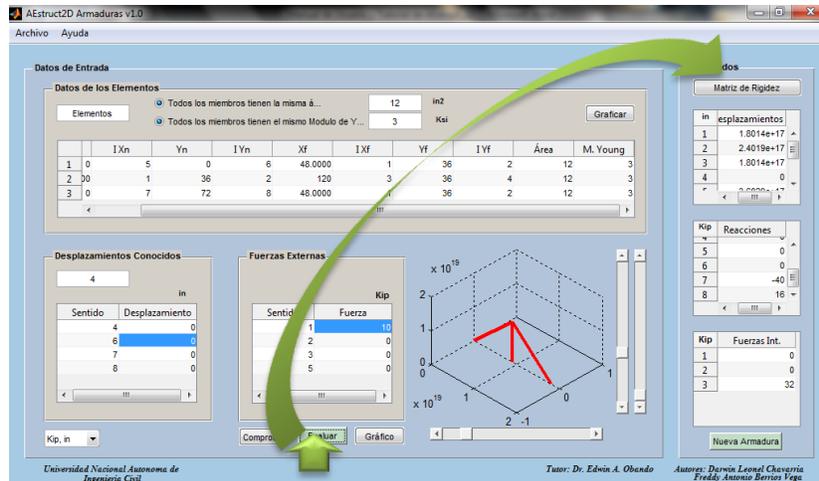


Figura 37. Evaluación de las condiciones planteadas

Si el usuario ingresa una condición de apoyo no apta para la estabilidad de la estructura, AStruct2D ostentará un mensaje de error (Figura 38), indicando el problema que ocasiona la interrupción en el análisis.

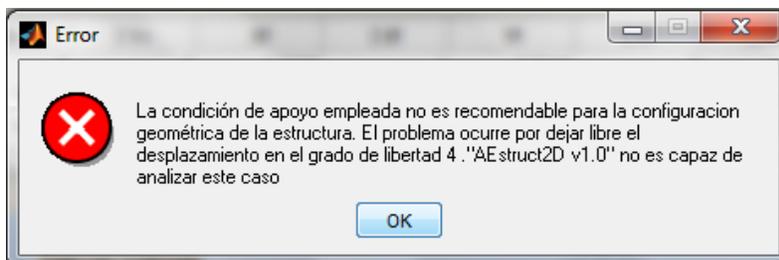


Figura 38. Mensaje de error al evaluar las condiciones planteadas

### 2.4.8 Visualización De Los Resultados Del Análisis

A continuación se presentan las opciones de presentación de los resultados luego de la realización del análisis, estas opciones se encuentran ubicadas en el panel de visualización de los resultados del análisis.



Figura 39. Panel para presentación de resultados

#### ■ Desplazamientos Desconocidos En Los Nodos

El primer término mostrado en el panel de visualización de resultados, es la tabla de desplazamientos de los nodos de la estructura, en la cual se mostraran los desplazamientos para cada uno de los índices de grados de libertad asignados con antelación, por lo tanto esta tabla tendrá una longitud de filas igual al número máximo de grados de libertad. Es de suma importancia que el usuario tenga en consideración las unidades de medidas que está empleando en el análisis ya que en estas unidades estarán dados los resultados en general, es por tal motivo que en la esquina superior izquierda de la tabla de desplazamientos se muestran las unidades en los cuales fueron calculados los desplazamientos.

#### ■ Reacciones En Los Apoyos

Para que el usuario pueda observar las reacciones en los apoyos se ha destinado una tabla dentro del panel de visualización de resultados ubicada bajo la tabla de desplazamientos desconocidos en los nodos de la estructura,

Al igual que la tabla de desplazamientos desconocidos en los nodos la tabla de reacciones tendrá un número de filas igual al número máximo de grados de libertad. Además posee las unidades de medida de fuerza en la esquina superior derecha.

#### ■ Fuerzas Internas En Cada Elemento

Las fuerzas internas para cada uno de los elementos que conforman la armadura serán mostradas en la tabla ubicada en la parte inferior del panel de visualización de resultados de la ventana de AEstruct2D para analizar armaduras. El número de filas de esta tabla estará dado por el número de miembros que conforman la estructura.

#### 2.4.9 Obtención De Matrices De Rigidez

Una vez ejecutado el botón “Graficar” se activara el botón llamado “Matriz de Rigidez”, ubicado en la parte superior del panel de visualización de los resultados del análisis, el cual al ser pulsado ostentara una ventana para la visualización de las matrices de rigidez de cada uno de los elementos y la matriz de rigidez global de la estructura, la ventana emergente a la que se hace referencia se aprecia en la Figura 40.

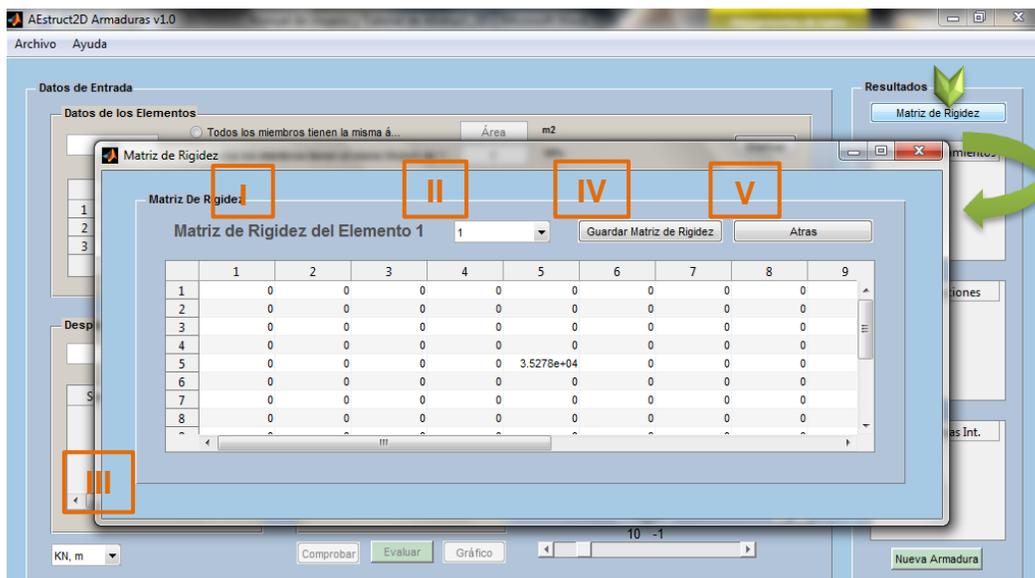


Figura 40. Ventana para la visualización de las matrices de rigidez

Esta ventana está constituida por los siguientes elementos;

- I. Texto indicativo del miembro al que pertenece la matriz de rigidez mostrada, por defecto se mostrara la matriz del miembro número uno al abrir la ventana.
- II. Menú para la selección de la matriz que se desea observar, este desplegará los números de todos los miembro, además de las letras *KG* al final del menú, símbolo que indica la matriz de rigidez global de la estructura.

- III. Tabla para mostrar la matriz de rigidez del miembro o matriz de rigidez global de la estructura seleccionada en el menú de selección, esta tendrá el número de filas y columnas, igual al máximo grado de libertad.

Esta tabla tendrá barras deslizantes para ayudar a la visualización de matrices con longitudes de filas y columnas extensas.

- IV. Botón “Guardar Matriz de Rigidez”, tal y como su nombre lo indica el usuario podrá acudir a este botón para salvar la matriz de rigidez mostrada en la Tabla.

Al presionar este botón aparecerá un cuadro de dialogo, en el cual se podrá realizar la opción de guardado, el cuadro de dialogo se muestra en la Figura 41.

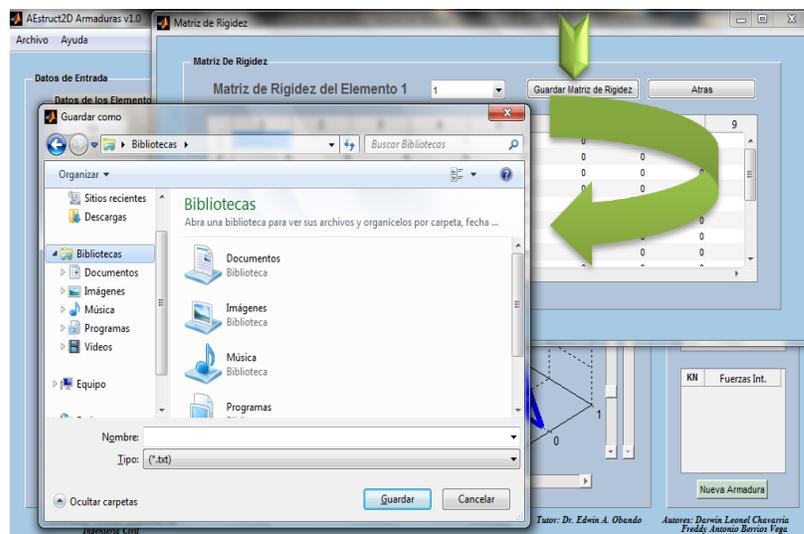


Figura 41. Opción de guardado de matriz de rigidez

Esta opción permitirá guardar un archivo con extensión \*.txt, asignar un nombre y elegir la ubicación dentro del ordenador donde se desea guardar el archivo.

- V. Botón Atrás, esta opción permitirá al usuario cerrar la ventana de visualización de las matrices de rigidez y regresar al módulo de AEstruct2D para el análisis de la armadura.

#### 2.4.10 Visualización Del Grafico De La Estructura

Al presionar el botón “Graficar” se visualizará el grafico de la armadura en el cuadro de vista previa, además al ejecutar el análisis se activara el botón nombrado “Grafico”, este acápite presenta estas opciones de visualización, del gráfico, las cuales AEstruct2D coloca a disposición del usuario.

## Vista Previa

La opción de vista previa de la estructura, a como se mencionó anteriormente, muestra el grafico luego de la ejecución de la función “Graficar”, anticipadamente a esta acción AEstruct2D muestra un espacio en tres dimensiones, el cual no posee más que los ejes, una cuadrícula y barras deslizadoras inactivas. En la Figura 42 se muestra el espacio para la visualización previa del gráfico de la estructura.

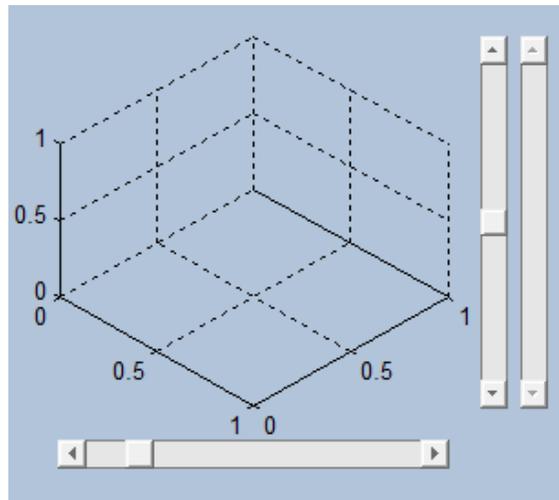


Figura 42. Espacio para la visualización previa del gráfico de la estructura

También se permitirán las opciones de observar la figura en tres dimensiones, mediante las barras deslizadoras las cuales se activaran para que el usuario pueda cambiar la perspectiva del gráfico. Posteriormente a la ejecución del análisis será graficada la deformación de la estructura y además se activara una tercera barra para aumentar y disminuir la deformación del gráfico. Las barras para cambiar la perspectiva del gráfico están ubicadas en la parte inferior (horizontal) y en el lado derecho del gráfico (vertical), y la barra para cambiar la deformación esta situada al lado derecho de la barra para cambiar la perspectiva del gráfico, ubicada verticalmente. En la Figura 43 se pueden apreciar los elementos antes mencionados.

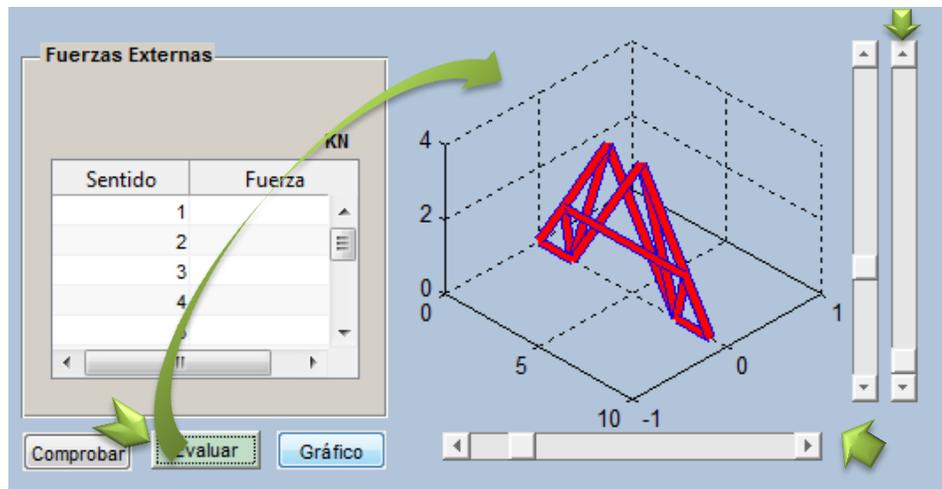


Figura 43. Elementos para la visualización del gráfico.

### Ventana Emergente

Otra opción para la visualización del gráfico de la armadura, es el botón “Gráfico”, el cual al pulsarlo mostrara una ventana emergente (Figura 44), esta opción se activará solamente si el análisis ha sido efectuado, es decir se ha ejecutado la opción evaluar a diferencia de la vista previa, la cual muestra el grafico luego de ejecutar la función “Graficar”.

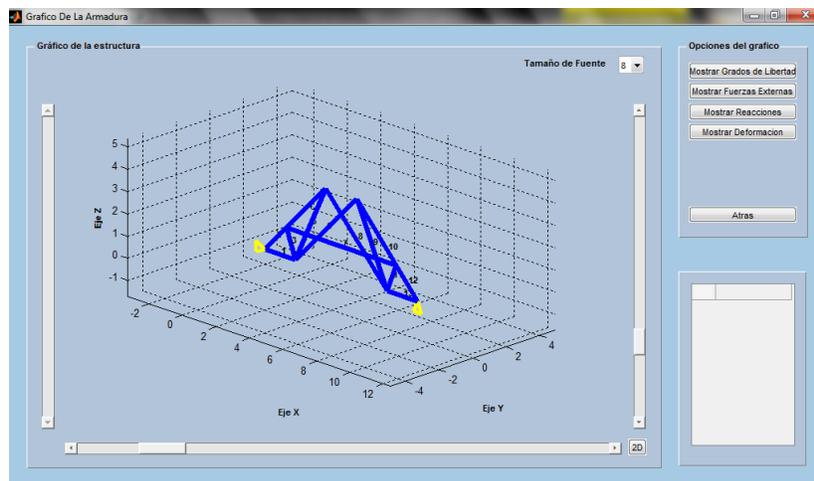


Figura 44. Ventana emergente para visualizar gráfico de la armadura.

A continuación se muestran las opciones que esta ventana permite:

- Visualizar un gráfico a escala de la estructura.

El grafico a escala aparece cuando se abre la ventana, el color usado para la visualización de los miembros de la armadura es el azul, para cambiar de perspectiva de vista existen barras deslizantes al igual que en la opción de vista

previa y un botón nombrado “2D”, también existe otra barra deslizante para aumentar o disminuir la deformación de la armadura. Otro elemento para la visualización del gráfico es el menú para cambiar el tamaño de la fuente de los textos dentro del gráfico. Estos elementos son mostrados en la Figura 45.

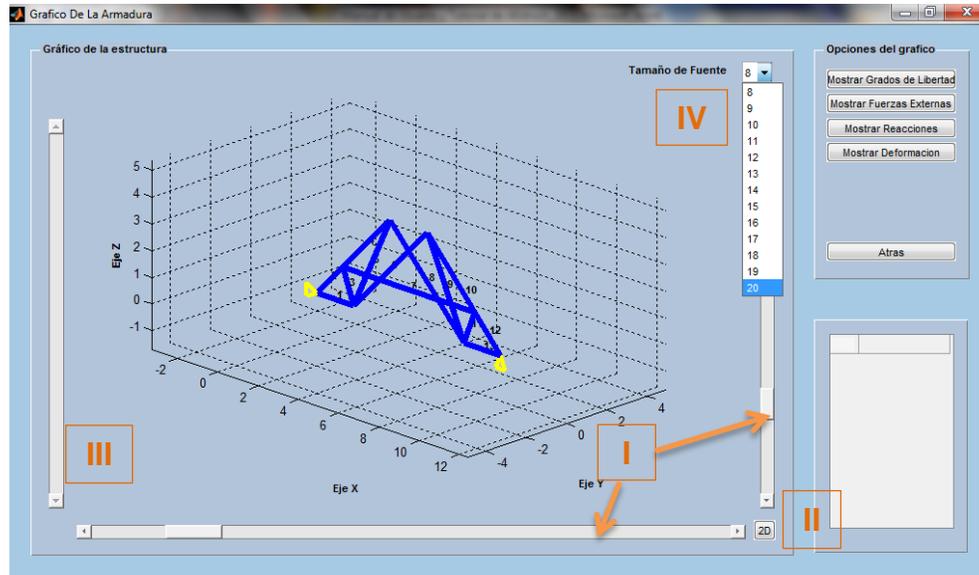


Figura 45. Elementos para la visualización de la estructura.

- I. Barras deslizables para cambiar la perspectiva del gráfico.
- II. Botón 2D, destinado para mostrar en un plano bidimensional ( $X,Z$ ) el gráfico de la estructura.
- III. Barra deslizable para aumentar o disminuir la deformación, esta barra solamente se activara si está siendo mostrando la deformación de la estructura.
- IV. Menú desplegable para cambiar el tamaño de la fuente de los textos dentro del gráfico. Este menú tiene las opciones de cambiar el tamaño de la fuente entre los tamaños del 8-20.

- Observar la condición de apoyo de la estructura.

La condición de apoyo será mostrada cuando se abre la ventana, si a los dos grados de libertad de un nodo de la armadura son asignados desplazamientos conocidos será establecido un apoyo articulado sobre el nodo. Cuando es asignado a un solo grado de libertad de un nodo un desplazamiento conocido será definido un apoyo simple o rodillo en el sentido del grado de libertad. Estos apoyos serán mostrados en color amarillo tal y como se aprecia en la Figura 46.

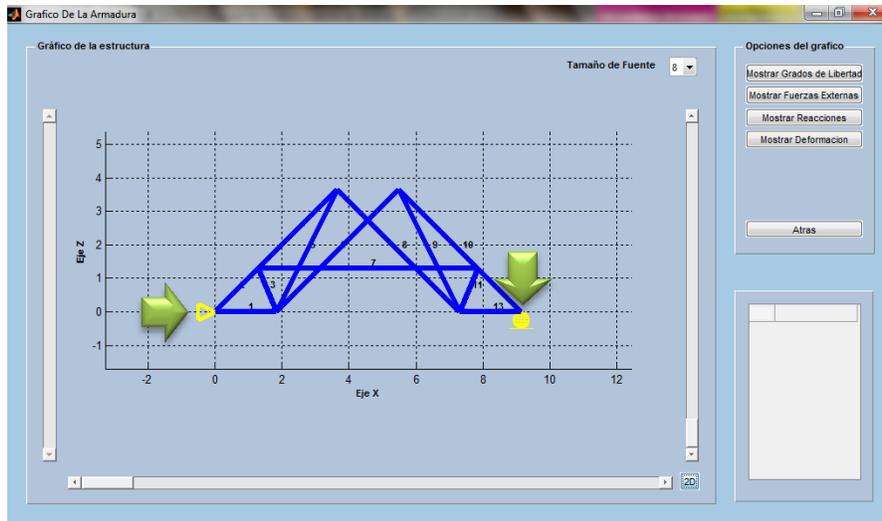


Figura 46. Tipos de apoyos de una armadura.

- Apreciar la numeración asignada a cada elemento.

El número asignado a cada elemento será mostrado en la parte media del miembro con un color de fuente negro, el tamaño de la fuente podrá ser editado con el menú desplegable usado para tal fin.

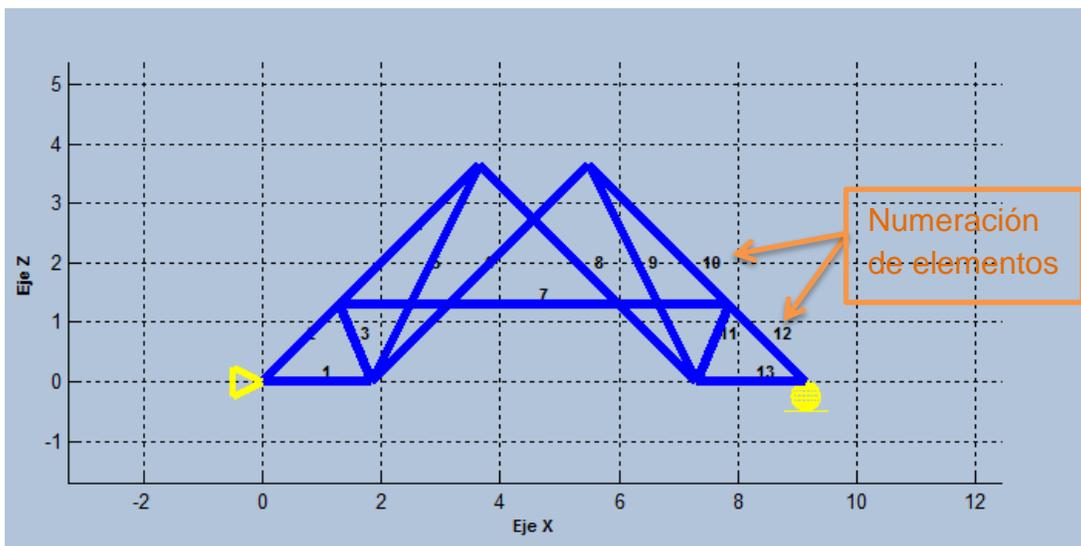


Figura 47. Numeración de elementos de la estructura

- Ver índices de grados de libertad para cada nodo de la armadura.

En el panel de opciones de gráfico ubicado en la esquina superior derecha de la ventana se encuentra situado el botón para mostrar los grados de libertad de los nodos, tal y como lo muestra la Figura 48.

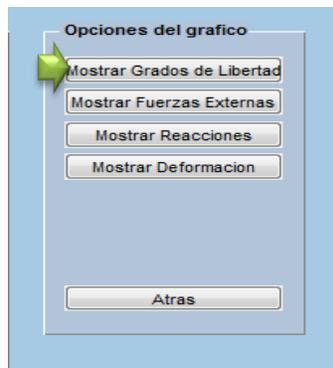


Figura 48. Botón para mostrar los grados de libertad de cada nodo

Al dar clic sobre este botón se mostraran los grados de libertad sobre el nodo correspondiente (Figura 49). A su vez si se vuelve a pulsar este botón, se ocultaran los grados de libertad. También a los índices de los grados de libertad podrá ser cambiado el tamaño de fuente con el menú de tamaño de fuente.

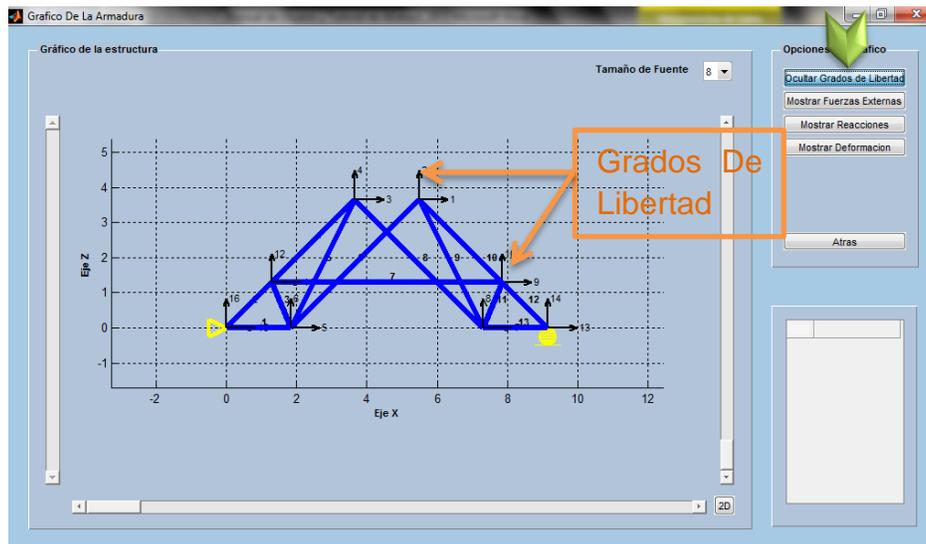


Figura 49. Grados de libertad de la estructura

- Ver las fuerzas externas aplicadas sobre la armadura.

La ventana de AStruct2D destinada para mostrar el grafico de la armadura, permite que el usuario observe las fuerzas externas exactamente en el nodo donde son asignadas, estas fuerzas son representadas gráficamente con una flecha de color verde y un rotulo indicando la magnitud. El usuario puede hacer que las fuerzas aparezcan o desaparezcan presionando el botón que ejecuta esta opción. El tamaño del texto de este rotulo también podrá ser cambiado con el menú de tamaño de fuente.

La figura muestra un gráfico, indicando las fuerzas externas asignadas a una armadura ilustrativa.

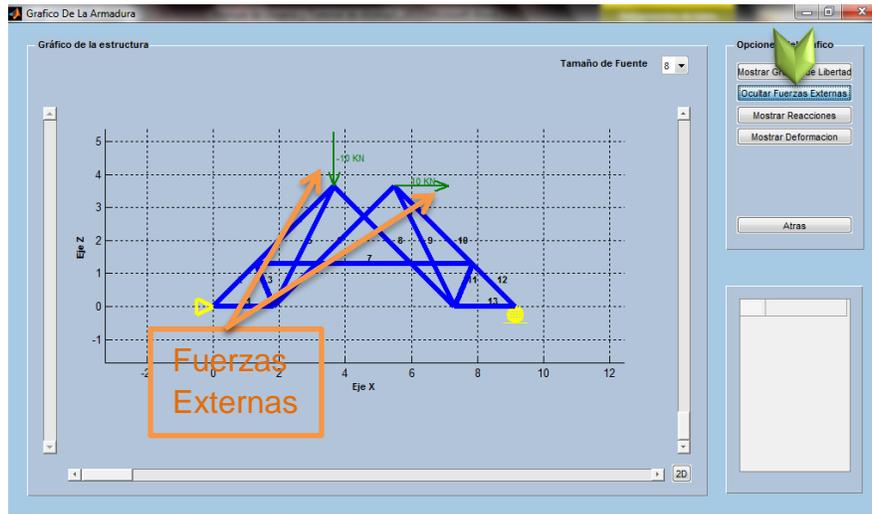


Figura 50. Fuerzas externas asignadas a la estructura

En la Figura 51, se puede apreciar la ventana que muestra el mensaje de error si el usuario no introduce fuerzas externas, y ordena que sean mostradas.



Figura 51. Mensaje de error al graficar fuerzas externas

- La visualización de las reacciones producidas por las cargas asignadas.

Dentro de las opciones de la ventana de AStruct2D destinada para mostrar el gráfico de la armadura, se permite que el usuario observe las reacciones en los apoyos producidas por las fuerzas externas asignadas, estas fuerzas son representadas gráficamente con una flecha de color blanco y un rotulo, del mismo color, indicando la magnitud. El usuario puede hacer que las reacciones aparezcan o desaparezcan presionando el botón que ejecuta esta opción. El tamaño del texto de este rotulo podrá ser cambiado con el menú de tamaño de fuente.

La Figura 52 muestra un gráfico, indicando las reacciones en los apoyos producidas por las fuerzas externas asignadas a una armadura ilustrativa.

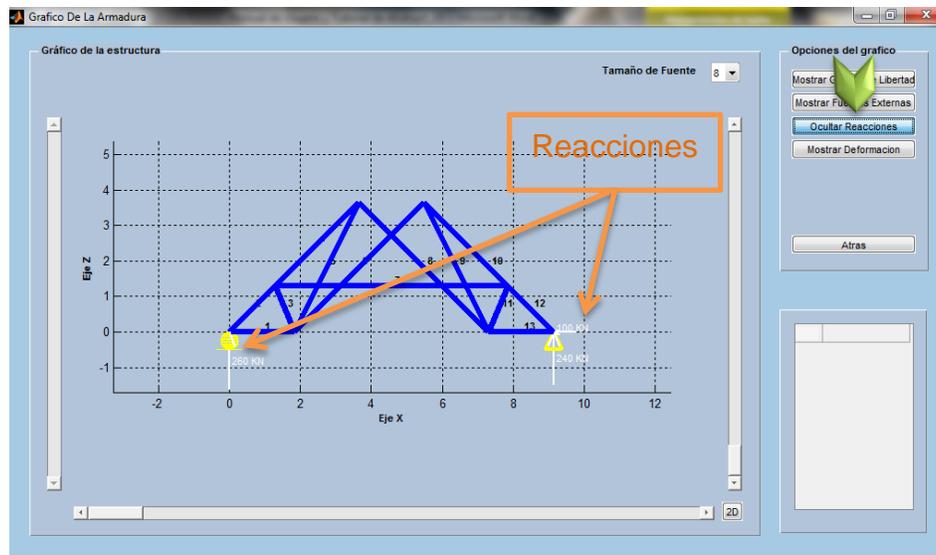


Figura 52.Reacciones por las fuerzas externas asignadas a la estructura

En la Figura 53, se puede apreciar la ventana que muestra el mensaje de error si el usuario no introduce fuerzas externas, y ordena que sean mostradas las reacciones de la estructura.

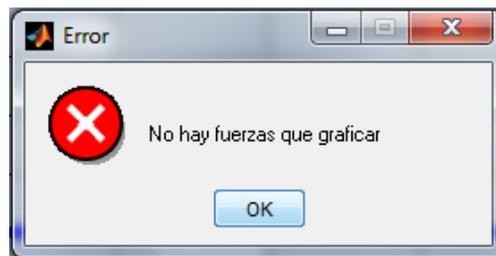


Figura 53.Mensaje de error al graficar reacciones

- Ver la deformación de la estructura.

En el panel de opciones de gráfico se encuentra el botón “Mostrar Deformación”, el cual ostentará la estructura deformada superpuesta al gráfico de la estructura sin la acción de cargas, los elementos de la estructura deformada se mostrarán con líneas del color rojo, la deformación al igual que los casos anteriores podrá ser mostrada y ocultada por el usuario usando el botón antes mencionado.

Al ejecutar la función para mostrar la deformación la barra deslizante ubicada en el lado izquierdo de la ventana se activará, con esta barra el usuario podrá aumentar o disminuir la deformación de la estructura para una mejor apreciación.

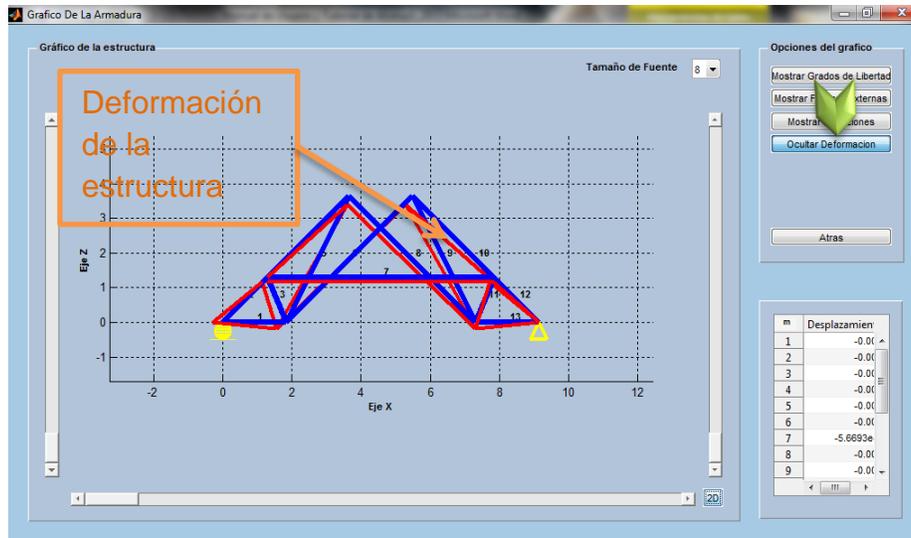


Figura 54. Deformación de la estructura provocada por las fuerzas externas

En la Figura 55, se puede apreciar la ventana que muestra el mensaje de error si el usuario no introduce fuerzas externas, y ordena que muestre la deformación de la estructura.



Figura 55. Mensaje de error al graficar deformación de la estructura

- Apreciar los desplazamientos para cada grado de libertad.

Al mostrar la deformación el usuario tendrá la opción de visualizar los desplazamientos en los nodos de la estructura, por medio de una tabla la cual tendrá los desplazamientos para cada uno de los grados de libertad, en la parte superior de esta tabla se muestra la unidad de medida de los desplazamientos mostrados.

La Figura 56, muestra la ubicación de la tabla en la que el usuario puede apreciar los desplazamientos de la estructura en la ventana emergente de gráfico.

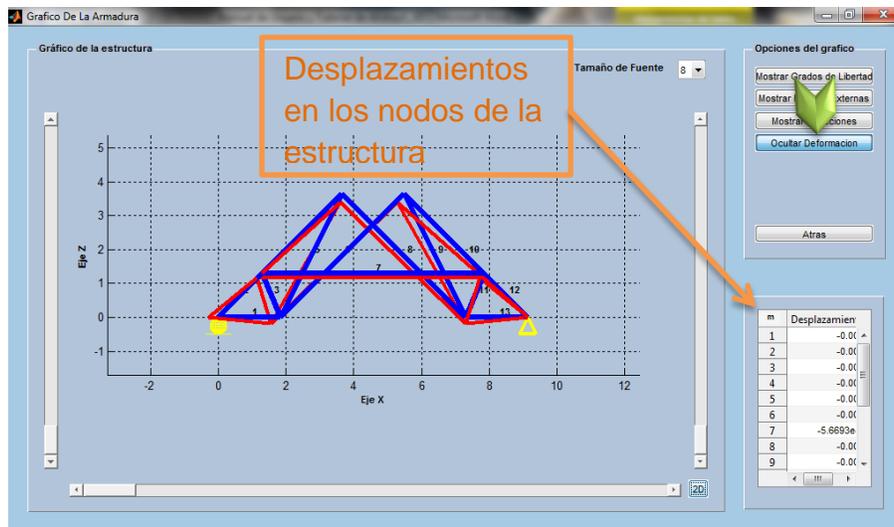


Figura 56. Desplazamientos nodales de la estructura

#### ■ Botón Atrás

Esta opción permitirá al usuario regresar al módulo para el análisis de armaduras y cerrar la ventana para visualización del gráfico de la estructura.

#### 2.4.11 Opciones De Barra De Menús

A como se ha expuesto anteriormente, en la parte superior de la ventana principal del módulo para el análisis de armaduras planas de AStruct2D, se encuentra una barra de menús (Ver Figura 57), esta barra contiene opciones para el manejo de archivos, apariencia de la ventana y una sección de ayuda.

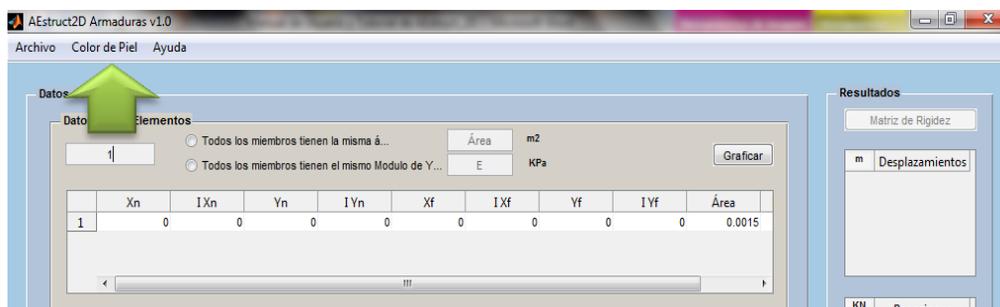


Figura 57. Ubicación de barra de menús

#### ■ Opciones para el manejo de archivo.

La Figura 58 muestra el menú para el manejo de archivo ubicado en la barra de menús del módulo para análisis de armaduras de AStruct2D.

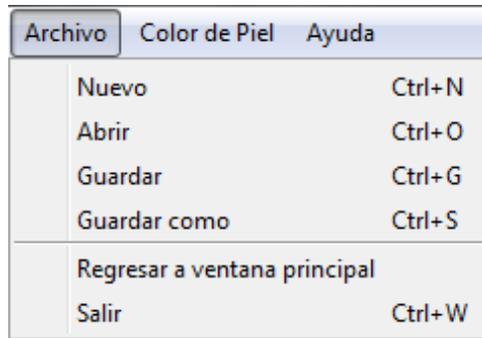


Figura 58. Opciones para el manejo de archivo

#### a) Nuevo Archivo

La función “Nuevo” estará inactiva cuando se abra la ventana para analizar armaduras de AEstruct2D y se activara solamente si la función “Graficar” es ejecutada correctamente, cuando “Nuevo” sea ejecutada aparecerá el cuadro de dialogo mostrado en la Figura 59.

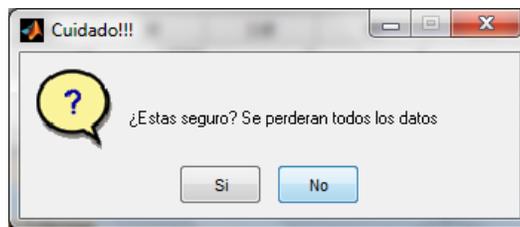


Figura 59. Cuadro de dialogo mostrado al ejecutar la función Nuevo

Si el usuario responde con la opción “SI”, entonces se borrarán todos los datos ingresados al programa hasta ese momento, en caso contrario, es decir que el usuario responda con la opción “NO” entonces no ocurrirá ningún cambio en el análisis. Esta función también puede ser ejecutada usando el comando “*Ctrl + N*”.

#### b) Abrir archivo

Abrir, Regresar a la ventana principal y Salir son la únicas opciones, para el manejo de archivo, que aparecerán activas cuando se abra la ventana para analizar armaduras de AEstruct2D, cuando sea ejecutada la función “Abrir” se permitirá cargar un archivo, previamente guardado por el usuario, la ventana que aparecerá es mostrada en la Figura 60. Esta función también puede ser ejecutada con el comando “*Ctrl + O*”. En esta ventana el usuario podrá introducir la dirección donde se encuentra ubicado el archivo, seleccionar el formato del archivo, como criterio de búsqueda e indicar el nombre del archivo que pretende abrir. Este cuadro también tiene la opción de cancelar la acción.

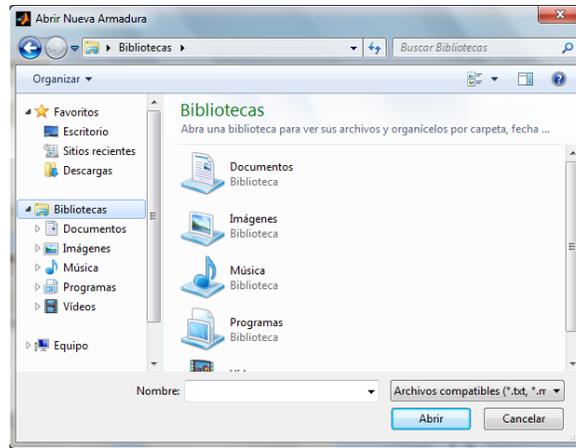


Figura 60. Cuadro Abrir Nueva Armadura

Si el usuario tiene un archivo abierto o graficado y ejecuta la función “Abrir”, aparecerá el cuadro de dialogo, que se muestra en la Figura 61, preguntando si el usuario desea guardar el archivo antes de continuar con la operación.

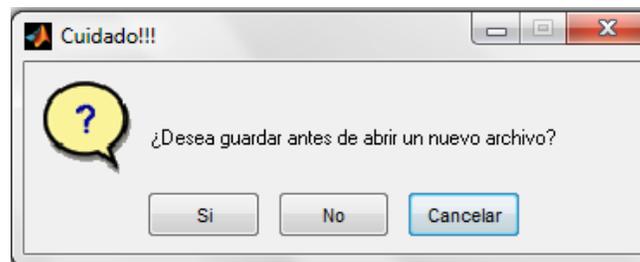


Figura 61. Abrir un nuevo archivo con otro archivo en ejecución

Si el usuario responde “Si” se ejecutara la función “Guardar como”, de la cual se abordara posteriormente, si responde “No” perderá los datos asignados y si indica la opción “Cancelar” no perderá los datos asignados y continuara con el análisis.

Solamente los archivos con formatos \*.txt, \*.mat pueden ser leídos por el módulo de armaduras, estos archivos deben tener una configuración interna especifica si el archivo es editado inadecuadamente o no posee la configuración especifica de AStruct2D no podrá cargar el archivo y se ostentara el mensaje de la Figura 62.

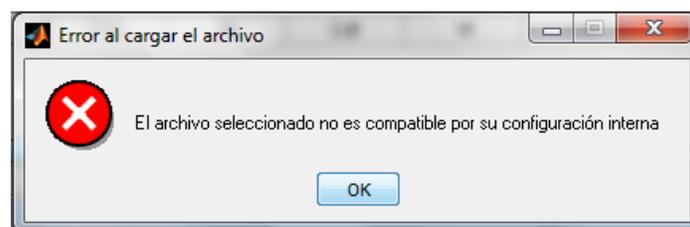


Figura 62. Error al cargar archivo

Otros posibles errores que pueden ocurrir al intentar abrir un archivo son:

- a. El archivo seleccionado posee valores no numéricos, es decir que este error ocurrirá si el archivo posee textos o símbolos en lugar de un número.



Figura 63. Error al cargar archivo con valores no numéricos

- b. Uno o más de los índices de los grados de libertad del archivo que intenta cargar es negativo.



Figura 64. Error al cargar archivo con valores de grados de libertad negativos

- c. En los datos de las Áreas o Módulos de Elasticidad se encuentran valores negativos.

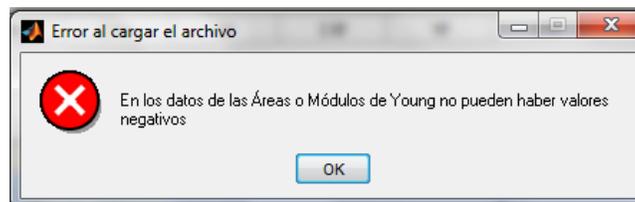


Figura 65. Error al cargar valores de Áreas o Módulos de Elasticidad

Cabe mencionar que los datos que se cargan al abrir un archivo son solo los datos que pertenecen a la geometría de la estructura.

- c) Guardar archivo

La opción de guardar se activara cuando se inserten todos los datos de geometría de la estructura, Esta función también puede ser ejecutada con el comando "Ctrl + O".

Esta función guardara los cambios efectuados a un archivo existente, en el caso de que el análisis no se haya guardado se ejecutara la función “Guardar como”, expuesta a continuación.

#### d) Guardar como

Esta función también puede ser ejecutada usando el comando “*Ctrl + S*” y permitirá guardar un archivo en los formatos \*.txt, \*.mat, estos archivos tendrán una configuración interna específica, la cual contendrá los datos de geometría de la estructura. La figura muestra el cuadro de dialogo que aparecerá al ejecutar la función “Guardar como”.

En esta ventana el usuario podrá introducir la dirección donde ubicara el archivo, seleccionar el formato del archivo, e introducir el nombre del archivo que pretende guardar. Este cuadro también tiene la opción de cancelar la acción.

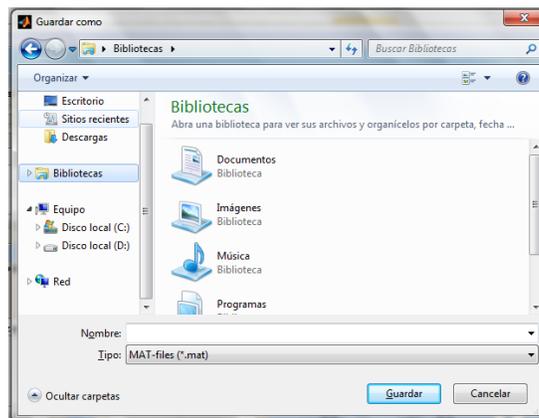


Figura 66. Cuadro para guardar armadura en análisis

#### e) Regresar a la ventana principal

Como su nombre lo indica esta opción permitirá regresar a la ventana principal de AStruct2D y cerrar el módulo para el análisis de armaduras; si existe algún avance en la realización del análisis se desplegará el cuadro siguiente;

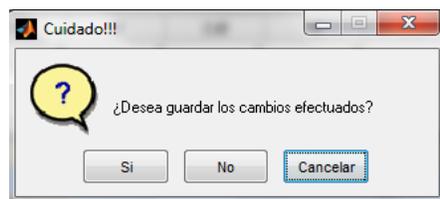


Figura 67. Cuadro de dialogo para regresar a la ventana principal

De ser respondido con la opción “SI” entonces se ejecutara la función “Guardar como”, si se responde “NO” se perderán el avance hasta ese momento.

## f) Salir

Ejecutada también por el comando “*Ctrl + W*”, la función salir permitirá que el usuario cierre la ventana de AEstruct2D, si el usuario ha establecido el número de elementos de la estructura, entonces aparecerá el cuadro de dialogo mostrado en la Figura 68, si se presiona la opción “Si” se ejecutara la opción “Guardar como” y cuando finalice el guardado se cerrara el programa, en caso contrario el programa se cerrara sin guardar los avances hasta ese momento.

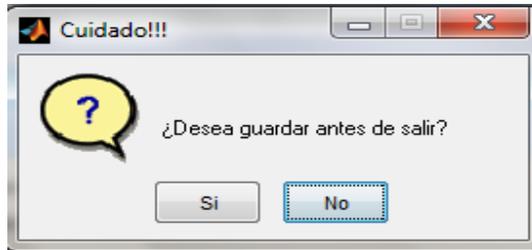


Figura 68. Cuadro de dialogo al ejecutar la función salir

## ■ Apariencia de la ventana

Este menú permitirá el cambio de la apariencia de la ventana de AEstruct2D tanto para el módulo de análisis de armaduras como el de marcos, es decir que los cambios efectuados repercutirán en la apariencia de ambos módulos. Esta función presenta el menú mostrado en la figura.

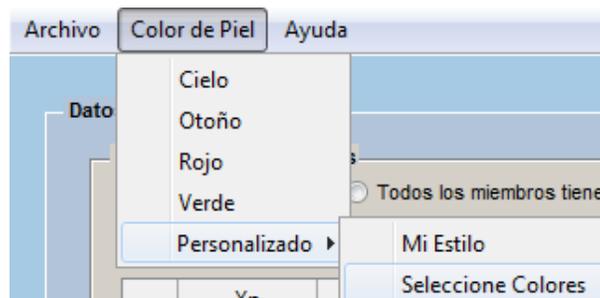


Figura 69. Menú para el cambio de apariencia de AEstruct2D

Los elementos que componen este menú son apariencias definidas por los creadores del programa pero el usuario podrá manipular la apariencia con la opción “Personalizado” creando un estilo, eligiendo “Seleccione colores”, función que desplegará el cuadro mostrado en la Figura 70.



Figura 70. Selección de colores de ventana

En este cuadro se seleccionara el color del primer, segundo y tercer plano, botones y tablas, es decir que este cuadro aparecerá cinco veces e inmediatamente se seleccione el color de las tablas cambiara la apariencia de la ventana.

La apariencia de la ventana seleccionada en esta opción aparecerá cada vez que sea ejecutado el programa, siempre y cuando no se haya cambiado antes.

- Opciones para sección de ayuda.

La Figura 71 muestra el menú de ayuda del módulo de armaduras de AEstruct2D.

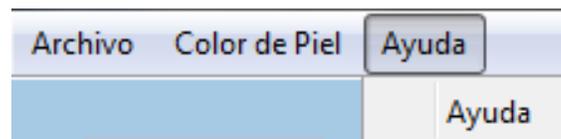


Figura 71. Opciones para sección de ayuda

La sección de ayuda, muestra este documento para que el usuario pueda guiarse al momento de realizar un análisis. Si el usuario no tiene instalado un lector de archivos con la extensión \*.pdf no podrá visualizar el archivo.

## 2.5 Análisis De Marcos Planos

Posteriormente a seleccionar marcos planos como tipo de estructura a analizar, al usuario le será mostrada la ventana ostentada en la Figura 72.

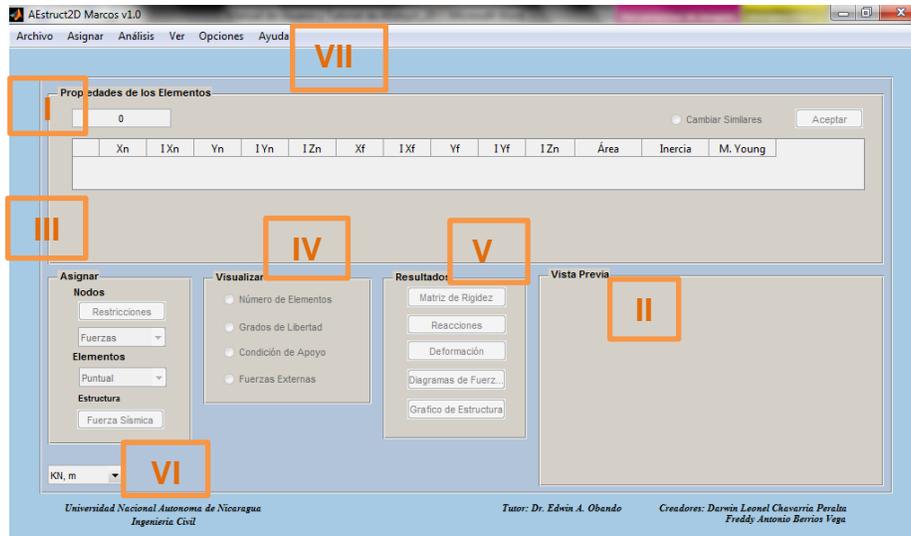


Figura 72. Ventana para Análisis de marcos planos.

En esta ventana se destacan las opciones presentadas por los siguientes elementos:

- I. Panel para la introducción de datos correspondientes a cada miembro que conforma la estructura.
- II. Cuadro para la visualización previa del gráfico, a escala, de la estructura.
- III. Panel para la asignación de restricciones y fuerzas externas en la estructura.
- IV. Panel de opciones de visualización previa
- V. Panel de visualización de los resultados del análisis.
- VI. Menú para la selección y cambio de unidades.
- VII. Barra de menús.

De cada uno de los sub-elementos que componen a los elementos indicados anteriormente se realizara una explicación para el debido uso del programa.

### 2.5.1 Establecimiento Del Número de Miembros De la Estructura

A como se ha expuesto anteriormente, en la parte superior de la ventana principal de AEstruct2D en el módulo de análisis de marcos planos se encuentra el panel de para la introducción de los datos de cada uno de los miembros pertenecientes a la estructura.

En la Figura 73 se muestra la ubicación del cuadro destinado para establecer el número de elementos que componen el marco.

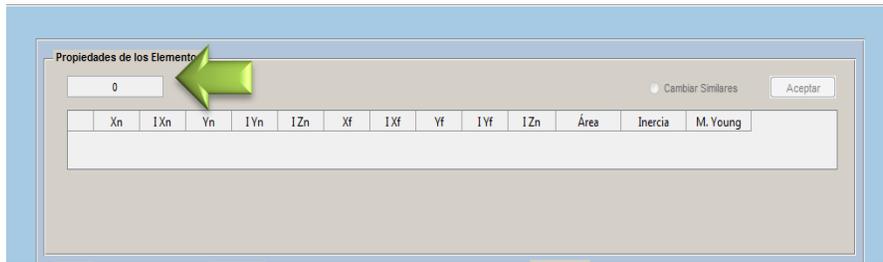


Figura 73. Inserción del número de miembros del marco

En este cuadro se debe indicar el número exacto de miembros que constituyen la estructura, de este depende el número de filas de matriz para la inserción de datos de geometría de cada miembro, inmediatamente a la introducción del número de elementos se desplegará la matriz para la inserción de datos de geometría.

El usuario debe limitarse a insertar un número entero, mayor que dos, en este cuadro, en caso contrario aparecerá algún mensaje indicando error. Uno de los mensajes es la inserción de datos erróneos a como se muestra en la Figura 74.

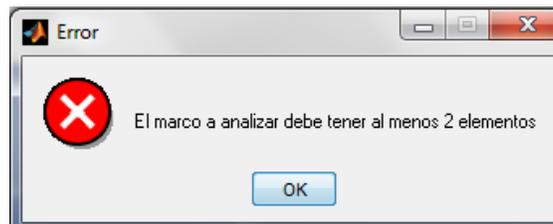


Figura 74. Mensaje de valor erróneo en inserción de número de elementos.

En el caso de que aparezca este mensaje, el usuario habrá insertado:

- Un valor negativo,
- Un número de elementos igual a cero,
- En general, un número de elementos menor que dos.

Otro mensaje de error, indicara que el usuario inserte el número de miembros a como se muestra la Figura 75.



Figura 75. Mensaje de valor erróneo inserción del número de elementos.

Este mensaje aparecerá cuando el usuario ingrese en lugar de un número entero positivo, un texto o bien sino se especifica el número de elementos del marco.

## 2.5.2 Inserción De Datos De Geometría De La Estructura

En el mismo panel para la inserción de datos de los elementos se encuentra la matriz para el establecimiento de datos de la geometría de la estructura, tal y como se muestra en la Figura 76.

	Xn	IXn	Yn	IYn	IZn	Xf	IXf	Yf	IYf	IZf	Área	Inercia	M. Young
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015	1	200000000
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015	1	200000000
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015	1	200000000
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015	1	200000000
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015	1	200000000

Figura 76. Matriz de geometría de los miembros del marco

Esta matriz está compuesta de trece columnas y la cantidad de fila estará definida por el número de elementos asignados al cuadro para la inserción de este término. El usuario deberá definir, en la primera y tercera columna, respectivamente las coordenadas  $(X, Y)$  del nodo cercano, del elemento correspondiente. La sexta y octava columna están destinadas para definir las coordenadas  $(X, Y)$  del nodo lejano.

En la segunda, cuarta y quinta columna se precisarán los índices de los grados de libertad en el sentido de las  $X, Y$  y  $Z$ , del nodo cercano del elemento, respectivamente. En la séptima, novena y décima columna se establecerán los índices de los grados de libertad en el sentido  $X, Y$  y  $Z$ , del nodo lejano del elemento. La undécima, duodécima y decimotercera columna están destinadas para que el usuario precise el área, inercia y módulo de elasticidad de cada elemento respectivamente.

Luego de la correcta inserción de los datos correspondientes a cada uno de los miembros, se activara el botón "Aceptar" y al pulsar este botón automáticamente se realizara el cálculo de la matriz global de la estructura y de cada uno de los

elementos que la conforman. Además se activara el botón para la asignación de las restricciones de los nodos de la estructura.

Si el botón “Aceptar” no se activa, es posible que:

- Alguna fila de la matriz este llena de ceros.
- El usuario haya asignado un grado de libertad negativo a algún nodo, si esto ocurre el programa retornara al valor cero el campo donde se hubiera asignado.
- El usuario haya asignado un valor no numérico a un grado de libertad de algún nodo, si esto ocurre el programa retornara al valor cero el campo donde se hubiera asignado, igual al caso anterior.
- Haya sido ordenado al programa ingresar un valor de área menor o igual a cero.
- Se ordene al programa a ingresar un valor de inercia menor o igual a cero.
- Se pretenda ingresar un valor de Módulo de Elasticidad menor o igual a cero.

Es importante que el usuario tenga noción las unidades en la cuales ingresa los datos en la matriz de geometría de la armadura bajo análisis. Conjuntamente el usuario debe tener en cuenta que son cargados algunos valores de área, inercia y Modulo de Elasticidad de todos los elementos por defecto, sin embargo el usuario esta libre para cambiarlos según la necesidad.

Un ayudante para el llenado de los datos de geometría de la estructura es el botón ubicado en la parte superior del panel de datos de los elementos mostrados en la Figura 77.

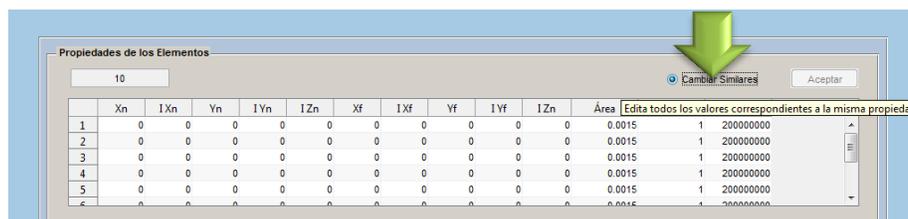


Figura 77. Ayudante para la inserción de datos de geometría

Este botón seleccionable que indica “Cambiar similares” si es pulsado, y se edita algún valor automáticamente cambiara los valores similares al valor editado de todos los miembros de la estructura. Es decir que si se cambian alguna coordenada o índice de grado de libertad de un nodo, se buscan los nodos iguales en los otros elementos pertenecientes a la estructura y serán modificados.

Es importante que el usuario este al corriente que la función “Cambiar similares” solo se activaran si se libera la opción de editar la geometría de la estructura. Además de la función “Cambiar Similares” existe otra opción para ayudar al usuario a insertar datos de Área, Inercia y Módulo de elasticidad, es la función “Asignar Propiedades de los Elementos” abordada en el acápite 2.5.3 de este documento. Esta función puede ser ejecutada desde la barra de menús de la ventana para el análisis de marcos planos de AEstruct2D.

El establecimiento adecuado de los grados de libertad y coordenadas de los nodos de la estructura permiten generar una vista previa del marco en el cuadro para la visualización previa del gráfico, a escala. A como se puede observar en la Figura 78. Este Cuadro está ubicado en la parte inferior derecha de la ventana para el análisis de marcos.

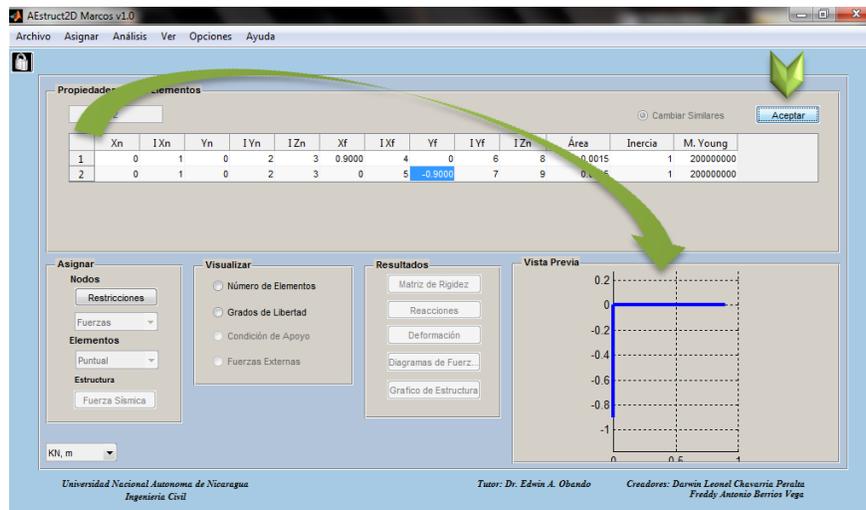


Figura 78. Vista previa de la estructura

Otra función ligada a la inserción de los datos de geometría de la estructura es el botón “Unlock”, que permite la acción de editado de la tabla, la cual se bloquea cuando el botón “Aceptar” es presionado, “Unlock” está ubicado en la esquina superior derecha de la ventana de análisis de marcos planos (Figura 79).

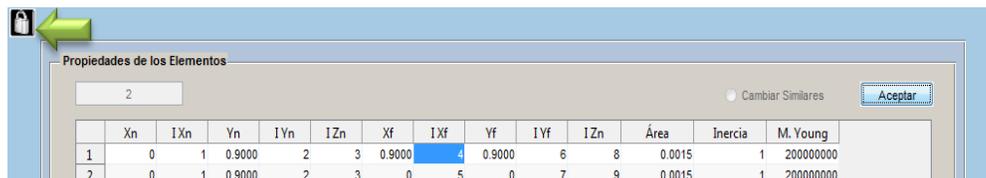


Figura 79. Ubicación del botón “Desbloquear”.

Al presionar “Unlock” la tabla para podrá ser editada libremente, se debe tener cuidado porque si se ejecuta esta función se perderán los datos introducidos

posterior al llenado de la tabla de inserción de datos de geometría, para evitar este problema aparecerá el cuadro de dialogo mostrado en la Figura 80.

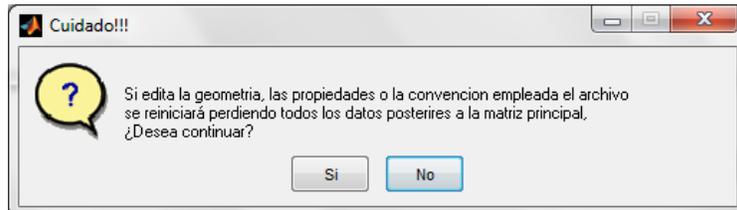


Figura 80. Cuadro de dialogo de Botón "Desbloquear"

Si es seleccionada la opción "SI" entonces este botón desaparecerá y solamente volverá a aparecer si la función "Aceptar" es ejecutada nuevamente y se permitirá la edición de la tabla antes mencionada. En caso de ser presionada la opción "NO" el usuario podrá continuar con el análisis sin perder ningún dato.

### 2.5.3 Asignar Propiedades a elementos del marco

Para facilitar la introducción de datos de área, inercia y Modulo de elasticidad en la matriz de inserción de datos, se ha diseñado una ventana para asignación de secciones transversales y materiales a los miembros de la estructura. Esta opción se ejecuta desde la barra de menús, en el menú "Asignar", tal y como lo muestra la Figura 81. Y se activara una vez sea indicado el número de miembros que componen la estructura.

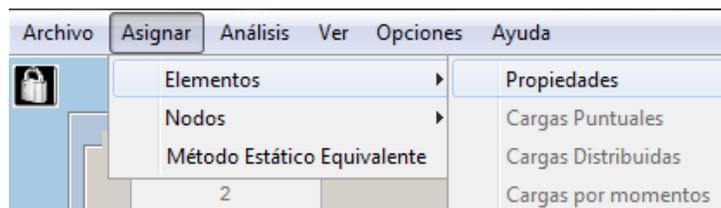


Figura 81. Ubicación de función de asignación de propiedades

## COMPONENTES DE LA VENTANA

La Figura 82, muestra la ventana y los componentes que la constituyen; (a) Cuadro de Elementos, (b) Menú para selección del tipo de sección transversal, (c) Cuadro de Materiales, (d) Botón Asignar ">>", (e) Botón Regresar "<<", (f) Cuadro de valores asignados, (g) Botón para crear secciones, (h) Botón Aceptar y (i) Botón cancelar.

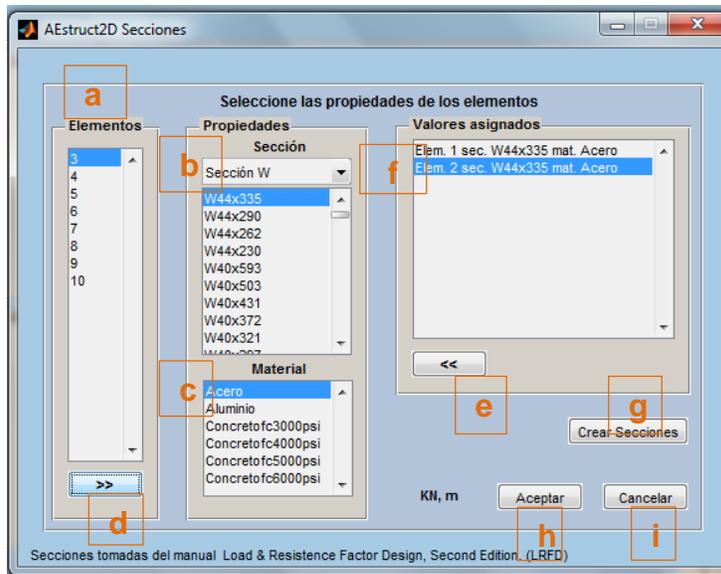


Figura 82. Componentes de Ventana AStruct2D Secciones

## SELECCIÓN DEL TIPO DE SECCIÓN

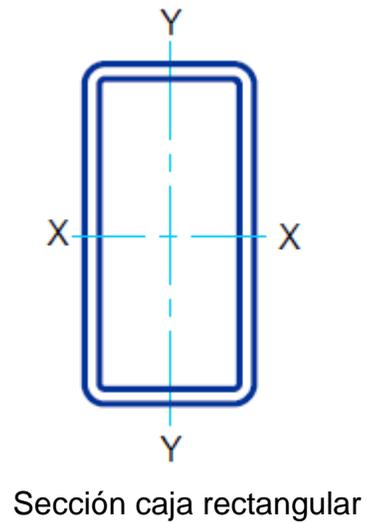
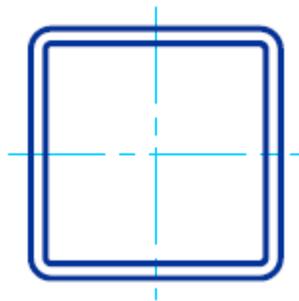
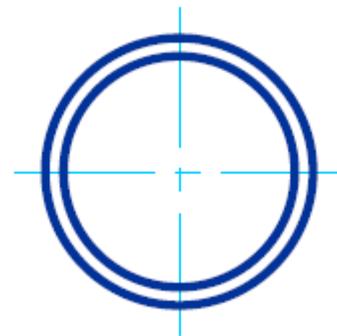
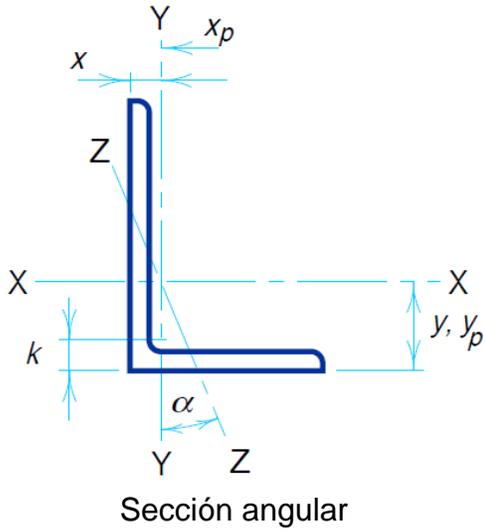
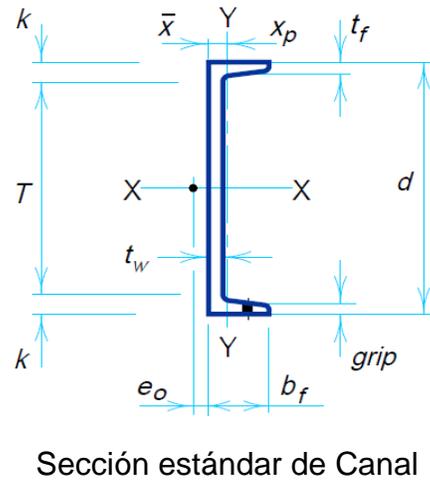
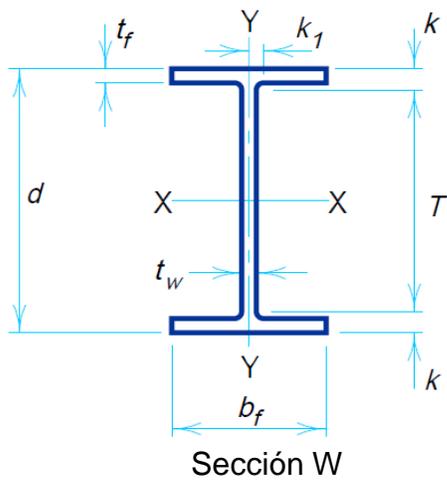
En el menú de selección del tipo de sección se presentan la tipología de secciones mostrada en la Figura 83, según el valor indicado en este menú se mostrara el grupo de secciones pertenecientes al tipo de sección. La última opción de este menú es el llamado “Mis Secciones”, en este se mostraran las secciones creadas por el usuario con la opción de creación de secciones.



Figura 83. Menú para asignar el tipo de sección

Los datos de las secciones W, canal, caja, angular, tubular circular fueron extraídas del Manual Load & Resistance Factor Design (LRFD) en su segunda edición (Figura 84).

Figura 84. Secciones LRFD



## CREACIÓN DE SECCIONES

Para crear secciones el usuario tiene que presionar el botón “Crear Secciones”, esta función agrandara la ventana mostrando las opción de creación según el tipo de sección seleccionado, es decir que si se selecciona una sección rectangular aparecerán las opciones de la Figura 85 (a), en caso contrario, sea seleccionada la sección circular, aparecerán las opciones de la Figura 85 (b).

Para crear cualquier sección se debe definir el nombre con el cual se guardara, posteriormente, si se crea una sección rectangular se deben indicar las dimensiones de base ( $B$ ), y altura o peralte ( $H$ ). Si se pretende crear una sección circular posteriormente a indicar el nombre de la sección se debe indicar el radio ( $R$ ) que describe la circunferencia de la sección. Se le recomienda al usuario tener presente las unidades en las cuales ingresa las dimensiones de la sección.

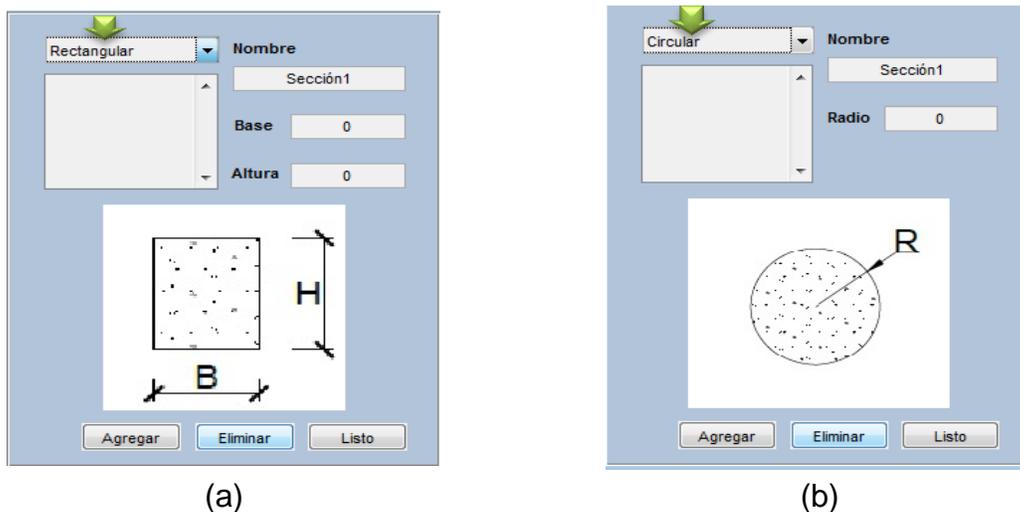


Figura 85.Opciones para crear secciones

Posteriormente a la indicación de la dimensiones de la sección se debe dar clic en el botón “Agregar”, si se desea eliminar alguna sección entonces de clic sobre el botón “Eliminar”, al finalizar la creación de sección presione en botón “Listo”.

Los posibles errores (Figura 86) al crear una sección se enlistan a continuación;

- Error al presionar el botón “Agregar” sin asignar un nombre a la sección, el nombre que se indique no deberá poseer espacios o tabulaciones.
- Inserción de un nombre de una sección existente.
- No asignar un valor de Base, en el cuadro de inserción de base no se admitirá introducir valores menores o iguales a cero o bien valores no numéricos.

- d) No asignar un valor de Altura, en el cuadro de inserción de altura no se admitirá introducir valores menores o iguales a cero o bien valores no numéricos.
- e) No asignar un valor de Radio, en el cuadro de inserción de radio no se admitirá introducir valores menores o iguales a cero o bien valores no numéricos.

Figura 86. Posibles errores en la creación de una sección



## ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES

Al presionar el botón "Asignar" se llenara el cuadro de valores asignados con el elemento, sección y Material seleccionados, es decir, que al elemento marcado le serán asignados la sección y material marcados (Figura 87). El proceso puede invertirse con el botón "Regresar".

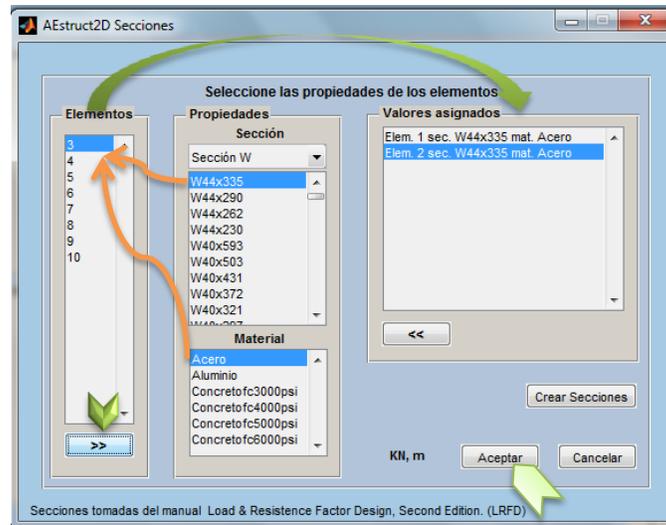


Figura 87. Asignación de propiedades

Cabe resaltar que si el usuario no pretende asignarles secciones a algunos elementos, los valores de área, inercia y módulo de elasticidad serán conservados según la tabla de inserción de datos del módulo para el análisis de marcos.

Al finalizar la asignación el usuario deberá dar clic sobre el botón “Aceptar”, para guardar cambios y regresar a la ventana del módulo para el análisis de marcos.

#### 2.5.4 Botón Y Función Aceptar

En lo que corresponde al botón “Aceptar” y función de este mismo, se debe precisar que, a como se ha mencionado con antelación, este se activará siempre y cuando la inserción de datos de geometría del marco, haya sido efectuada adecuadamente. La Figura 88 muestra la ubicación del botón “Aceptar”.

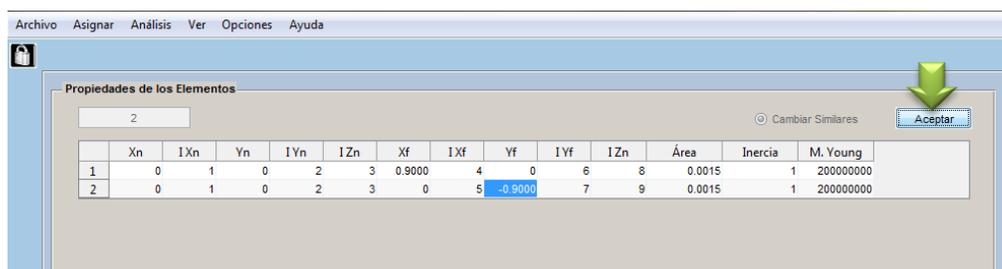


Figura 88. Ubicación del botón Aceptar

Al dar clic sobre este botón automáticamente se realizara el cálculo de la matriz global de la estructura y de cada uno de los miembros que la conforman. Además se activara el botón para la asignación de las restricciones de los nodos de la estructura y las opciones del panel de visualización. Conjuntamente aparecerá en la esquina superior izquierda de la ventana el botón “Unlock”, este inactivara o activara la opción de editar la tabla de datos de geometría del marco y por

consiguiente la opción botón “Cambiar similares” también se inactivara o activara. Si el botón “Aceptar” no es activado, revise las recomendaciones mencionadas en el acápite anterior.

Los posibles errores al ejecutar la función “Aceptar” son:

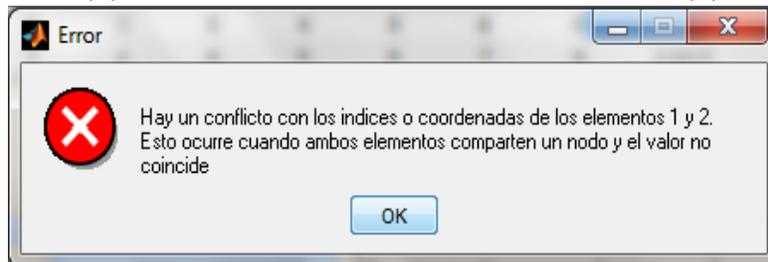
- a) Índices de grados de libertad incoherentes, la Figura 89 (a), muestra el mensaje de valor erróneo. Este error se producirá cuando los índices de los grados de libertad de la estructura no son consecutivos en su numeración.
- b) Si son asignados los mismos índices a los grados de libertad del nodo lejano y cercano de un elemento aparecerá el mensaje apreciado en la Figura 89 (b). Este mensaje le indicara al usuario la fila donde se produce el error para su debida corrección.
- c) Incompatibilidad entre coordenadas o grados de libertad asignados a un mismo nodo de la estructura, la ocurrencia de este error se debe a un conflicto entre los índices de los grados de libertad o coordenadas de un nodo que es compartido por dos o más elementos. El mensaje de error se puede apreciar en la Figura 89 (c). El cual indica los elementos en los cuales está ocurriendo el conflicto.
- d) Cuando las coordenadas de un mismo elemento son las mismas tanto para el nodo lejano como para el nodo cercano, entonces aparecerá un mensaje de error indicando la fila donde se produce el error, (ver Figura 89 (d)).
- e) Cuando las coordenadas de los nodos de dos o más elementos son exactamente iguales entonces el usuario será advertido con el siguiente mensaje de error indicando los elementos en los cuales ocurre el conflicto.

Figura 89. Posibles errores al presionar el botón "Aceptar"

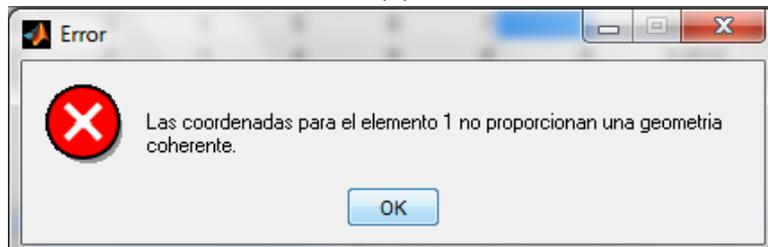


(a)

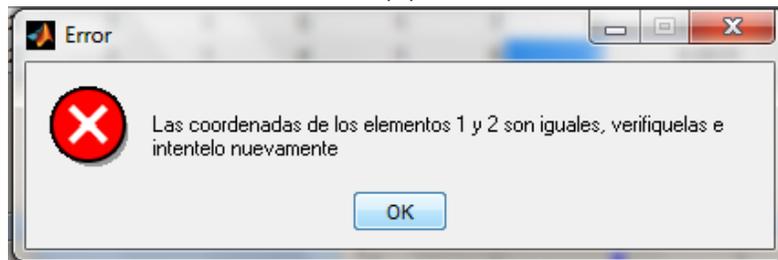
(b)



(c)



(d)



(e)

### 2.5.5 Asignación De Restricciones En Los Nodos

La asignación de las restricciones en los nodos, se debe realizar en el panel llamado “Asignar”, mostrado en la Figura 90.

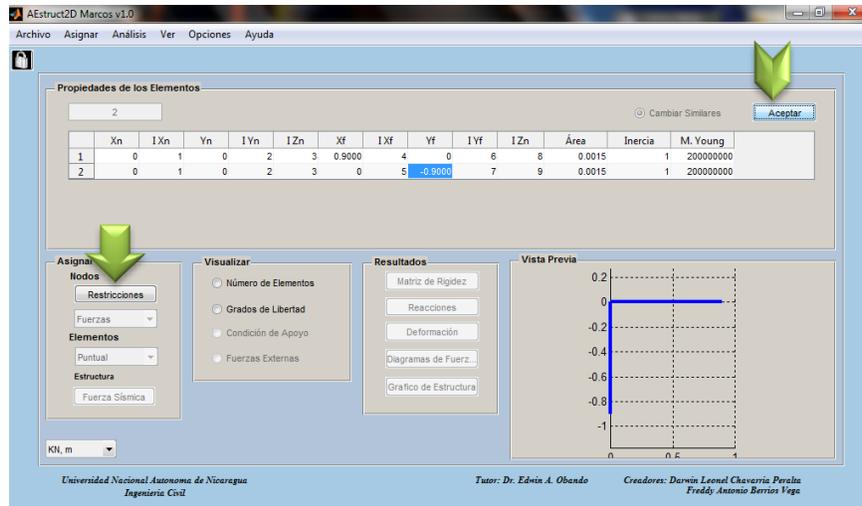


Figura 90. Botón para asignar restricciones en panel “Asignar”

Tal y como se ha mencionado anteriormente las opciones para la asignación de restricciones en los nodos de la estructura se activaran luego de presionar “Aceptar”.

El botón para asignar “Restricciones” mostrara una ventana emergente al ser presionado (Figura 91). AEstruct2D cargara valores las coordenadas de los nodos libres por defecto.

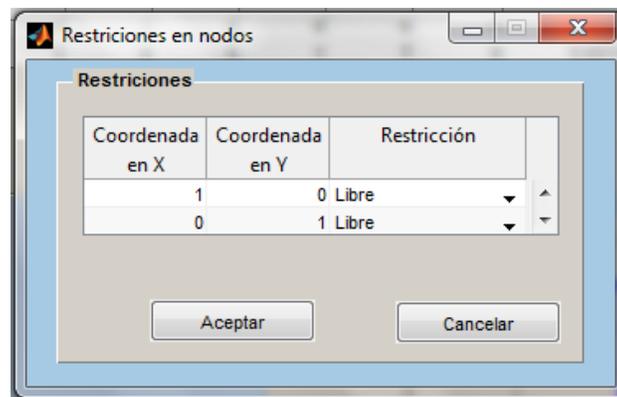


Figura 91. Ventana para la asignación de restricciones.

Esta ventana está compuesta por los siguientes elementos:

- Una tabla para la asignación del apoyo en cada nodo.

Los datos de coordenadas ubicados en las dos primeras columnas serán cargados por el programa, serán las coordenadas de los nodos de un elemento que no se enlazan o unen con ningún otro, es decir coordenadas de los nodos libres. La tercera columna corresponde a la restricción de cada nodo.

Las posibles restricciones serán definidas según el tipo de apoyo asignado al nodo, el apoyo de cada nodo podrá ser seleccionado en la tercera columna de la tabla perteneciente a la ventana, la cual contiene un menú desplegable para cada nodo (Ver Figura 92).

Los posibles apoyos para cada nodo serán:

- Libre, el nodo quedara libre, es decir que en el nodo no limitara el movimiento en ninguna dirección.
- Apoyo simple en  $X$ , restringirá el movimiento en el eje de las  $X$  y dejara libre el movimiento en las direcciones  $Y$  y  $Z$ .
- Apoyo simple en  $Y$ , limitará el movimiento en el eje de las  $Y$  y dejara libre el movimiento en las direcciones  $X$  y  $Z$ .
- Articulación, este tipo de apoyo restringe los desplazamientos en los ejes  $X$  y  $Y$  y permitirá el movimiento del nodo en la dirección del eje  $Z$ .
- Empotramiento, este tipo de apoyo limita cualquier tipo de desplazamiento del nodo, es decir, restringe el movimiento en todas direcciones.

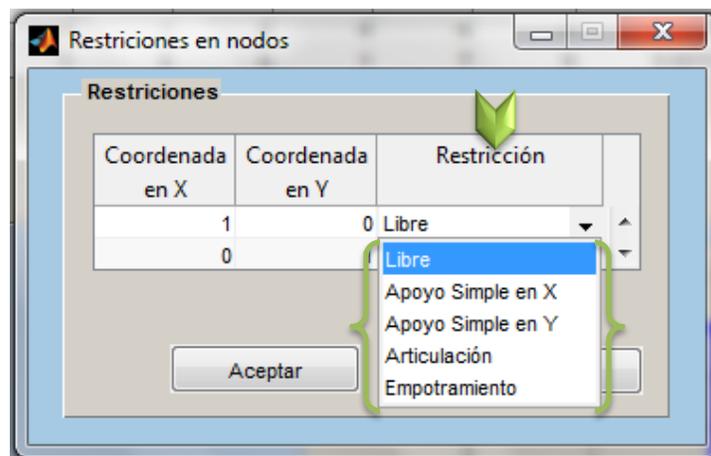


Figura 92. Tipos de restricciones

Al momento de seleccionar un nodo de la tabla mostrada, en el cuadro de vista previa aparecerá un punto de color rojo indicando el nodo al cual se le está asignando la restricción, véase Figura 93.

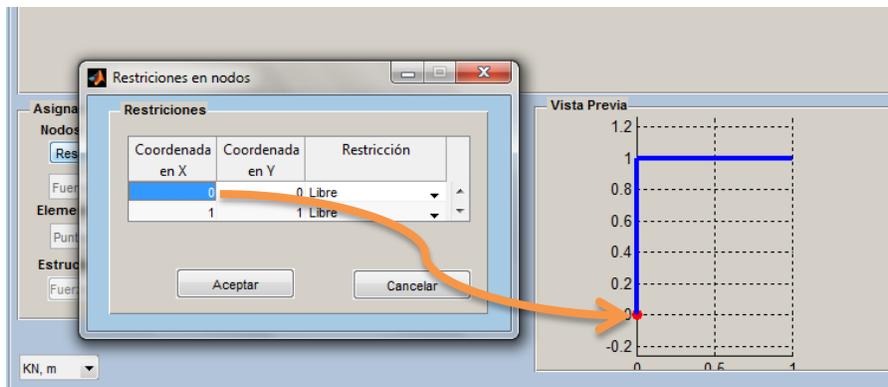


Figura 93. Ubicación del nodo a restringir o restringido.

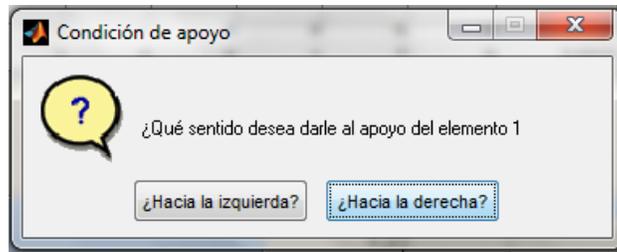
El usuario tendrá que asignar restricciones a por lo menos un nodo, en caso de no hacerlo aparecerá el mensaje mostrado en la Figura 94, indicando la asignación de restricciones a la estructura, la posible ocurrencia de este error se dará si una vez presionado el botón “Aceptar”.



Figura 94. Error al asignar restricción en uno de los nodos de la estructura

Si el usuario asigna a algún nodo un apoyo simple en  $X$  o un apoyo simple en  $Y$ , aparecerán los cuadros de diálogos mostrados en las Figuras 95 y 97, respectivamente. En estos cuadros de diálogos se deberá indicar el sentido que desea darle al apoyo simple, esto solo implicara en el grafico del apoyo, es decir la apreciación de la estructura. Estos cuadros aparecerán luego que el usuario pulse “Aceptar”.

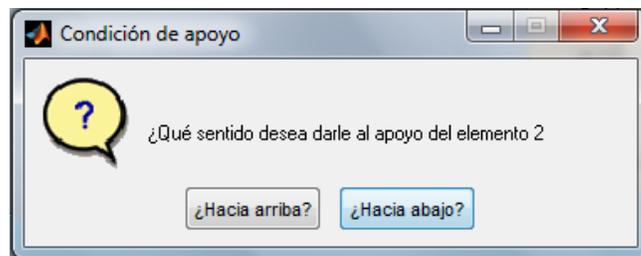
- a. Apoyo simple en  $X$ ; en el caso de ser un apoyo simple en el eje  $X$ , se le preguntara al usuario si el sentido será hacia la izquierda o hacia la derecha. Además se indicara el número del elemento al cual pertenece el nodo al cual se le está asignado el apoyo.

Figura 95. Cuadro de dialogo para apoyos simples en  $X$ 

Si el usuario responde hacia la derecha el apoyo será graficado a como se muestra en la Figura 96 (a). Si responde hacia la izquierda entonces el grafico será tal y como se muestra en la Figura 96 (b).

Figura 96. Gráficos de apoyos simples en  $X$ 

- b. Apoyo simple en  $Y$ , en el caso de ser un apoyo simple en el eje  $Y$ , se le preguntara al usuario si el sentido será hacia arriba o hacia abajo. Además se indicara el número del elemento al cual pertenece el nodo al cual se le está asignado el apoyo.

Figura 97. Cuadro de dialogo para apoyos simples en  $Y$ 

Si el usuario responde hacia arriba el apoyo será graficado a como se muestra en la Figura 98 (a). Si responde hacia abajo entonces el grafico será tal y como se muestra en la Figura 98 (b).



Figura 98. Gráficos de apoyos simples en Y

#### ■ Botones “Aceptar” y “Cancelar”.

Los botones “Aceptar” y “Cancelar” están ubicados en la parte inferior de la ventana. El botón aceptar guardara los datos introducidos y asignara estos mismos a la estructura, luego de presionar el botón “Aceptar” esta ventana será cerrada y el usuario continuara con el análisis. En el caso de que sea presionado el botón “Cancelar” la ventana se cerrara sin guardar los datos.

Una vez asignadas las restricciones a la estructura se activaran las opciones de asignar fuerzas o desplazamientos en los nodos e introducir fuerzas o momentos flexionantes sobre los elementos de la estructura opciones ubicadas dentro del mismo panel “Asignar”.

### 2.5.6 Asignación De Fuerzas Puntuales Sobre Nodos

La función para asignar fuerzas puntuales sobre cualquier nodo no restringido de la estructura se activara posteriormente a la asignación de las restricciones en los nodos. Esta función es ejecutada desde el panel “Asignar” en el menú desplegable mostrados en la Figura 99.

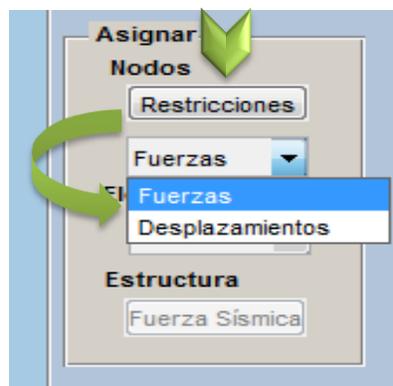


Figura 99. Menú desplegable para asignación de fuerzas en los nodos

Este menú también contiene la opción de asignar desplazamientos en los nodos, al seleccionar la opción de “Fuerzas”, se desplegará la ventana que aprecia en la Figura 100.

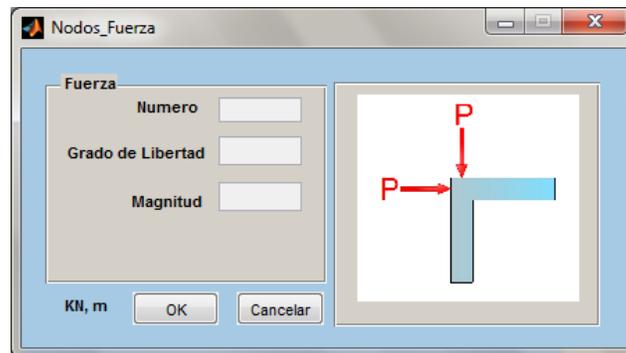


Figura 100. Ventana para introducir fuerzas en los nodos.

La ventana está compuesta por los siguientes elementos:

- Cuadro para la inserción del número total de fuerzas en los nodos de la estructura.

Este cuadro será el único activo para ingresar datos al mostrarse por primera vez la ventana. En él se deben indicar un número entero positivo igual al número de fuerzas, si este es igual a uno, la ventana permitirá insertar, en los cuadros Magnitud y Grados de Libertad, la magnitud de la fuerza y el sentido en el cual está siendo aplicada, respectivamente. En el caso que el número de fuerzas indicado sea mayor que uno aparecerá una tabla (Ver Figura 104) en la cual se permite la introducción los valores antes mencionados.

La introducción de valores menores a uno o textos, serán la causante de la ocurrencia del error mostrado en la Figura 101.

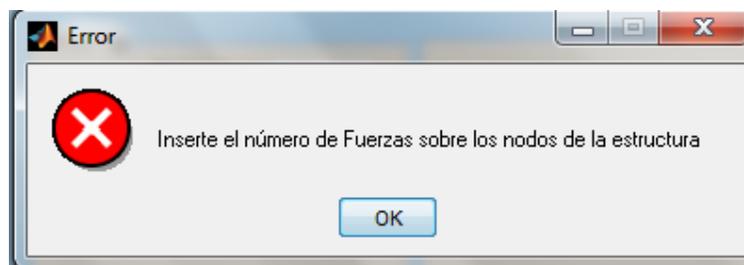


Figura 101. Error en la introducción del número de fuerzas en nodos

- Cuadro para asignar el sentido de la fuerza

Este cuadro aparecerá inactivo al momento de abrir la ventana por primera vez y se activara si el número de fuerzas indicado es igual a uno en caso contrario se

ocultara. Está destinado para ingresar el índice del grado de libertad correspondiente a un nodo de la estructura. En el caso que sea insertado un valor menor a cero, o un valor que no esté dentro del rango de los grados de libertad de la estructura, el cuadro será llenado con el valor cero.

Además si se le asigna una fuerza a algún grado de libertad en la dirección Y el cuadro, también, será llenado con el valor cero.

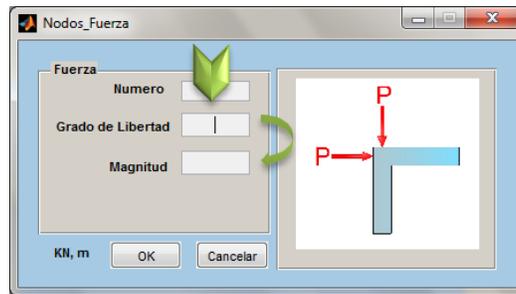


Figura 102. Cuadro para introducción del sentido de fuerza en un nodo

- Cuadro para introducir la magnitud de fuerza

Este cuadro aparecerá inactivo al momento de abrir la ventana por primera vez y se activará si el número de fuerzas indicado es igual a uno en caso contrario se ocultará. Si son insertados valores incoherentes en este espacio, como textos o valores no numéricos, entonces el cuadro será llenado con el valor cero.

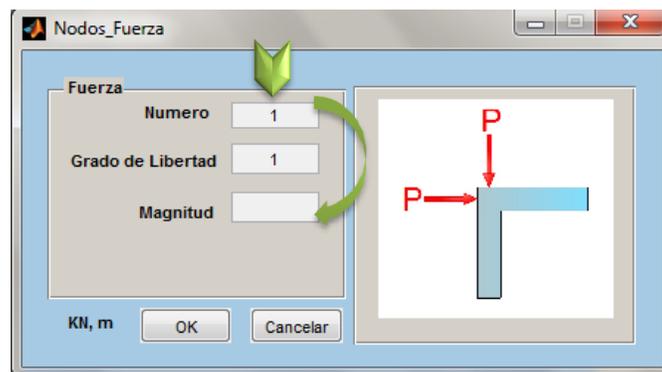


Figura 103. Introducción de la magnitud de la fuerza en un nodo

- Tabla para introducir sentidos y magnitudes de las fuerzas en los nodos:

Esta tabla será mostrada si es introducido un número de fuerzas mayor que uno (Ver Figura 104). El número de filas de la tabla estará especificado por el número de cargas introducido, si se introducen valores de "GDL" (primera columna) menores a cero, o un valor que no esté dentro del rango de los grados de libertad de la estructura, la celda será llenada con el valor cero.

Además si se le asigna una fuerza a algún grado de libertad en la dirección Z esa celda, también, será llenado con el valor cero

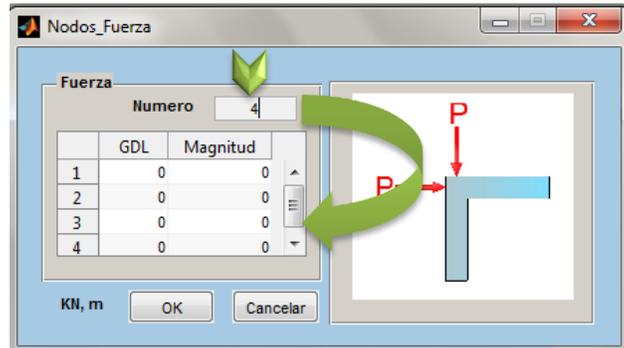


Figura 104. Magnitud y sentido de la fuerza en un nodo

Si son insertados valores incoherentes en la columna de inserción de “Magnitud”, como textos o valores no numéricos, entonces la celda será llenada con el valor cero, como magnitud de fuerza.

- Cuadro para indicar las unidades de medida utilizadas.

Con el propósito que el usuario tenga noción de las unidades en las cuales inserta los datos esta ventana tiene un cuadro rotulando las unidades de medidas usadas. Este cuadro está ubicado en la esquina inferior izquierda de la ventana.

- Botones “OK” y “Cancelar”;

El botón “OK” guardara los datos introducidos y asignara estos mismos a la estructura, luego de presionar este botón la ventana será cerrada y el usuario continuara con el análisis. En el caso de que sea presionado el botón “Cancelar” la ventana se cerrara sin guardar los datos.

Los posibles errores al presionar el botón “OK” ocurren;

- Si no es asignado un valor a un grado de libertad o se ingresa un valor igual a cero, y se presiona el botón “OK”, entonces emergerá el mensaje visualizado en la Figura 105 (a).
- Si no es asignada la magnitud de la fuerza, y se presiona el botón “OK”, entonces emergerá el mensaje visualizado en la Figura 105 (b).



Figura 105. Posibles errores al ejecutar la función "OK"

### 2.5.7 Introducción De Desplazamientos en Nodos

La función para asignar desplazamientos sobre cualquier nodo restringido de la estructura se activará posteriormente a la asignación de las restricciones en los nodos. Esta función es ejecutada desde el panel "Asignar" en el menú desplegable, al igual que la función de asignar fuerzas en nodos (Figura 106).



Figura 106. Menú para asignación de desplazamientos en los nodos

Al seleccionar la opción de "Desplazamientos" en este menú, se desplegará la ventana que se aprecia en la Figura 107.



Figura 107. Ventana para introducir desplazamientos en los nodos.

La ventana está compuesta por los siguientes elementos:

- Cuadro para la inserción del número total de desplazamientos en los nodos de la estructura.

Este cuadro será el único activo para ingresar datos al mostrarse por primera vez la ventana. En él se deben indicar un número entero positivo igual al número total de desplazamientos, si el número de desplazamientos es igual a uno, la ventana permitirá insertar, en los cuadros Magnitud y Grados de Libertad, la magnitud del desplazamiento y el sentido en el cual está siendo aplicada, respectivamente.

Para el caso que el número de desplazamientos indicado sea mayor que uno, aparecerá una tabla (Ver Figura 111) en la cual se permite la introducción de los valores antes mencionados.

La introducción de valores menores a uno o textos, serán la causante de la ocurrencia del error mostrado en la Figura 108.



Figura 108. Error en la introducción del número de fuerzas en nodos

- Cuadro para asignar el sentido del desplazamiento

Este cuadro aparecerá inactivo al momento de abrir la ventana por primera vez y se activará si el número de desplazamientos indicado es igual a uno en caso contrario se ocultará. Está destinado para ingresar el índice del grado de libertad correspondiente a un nodo de la estructura, en el caso que sea insertado valores menores a cero, o un valor que no esté dentro del rango de los grados de libertad de la estructura, el cuadro será llenado con el valor cero.

Además si se le asigna un desplazamiento a algún grado de libertad en la dirección normal al plano, el cuadro, también, será llenado con el valor cero.



Figura 109. Introducción del sentido del desplazamiento en nodo

- Cuadro para introducir la magnitud del desplazamiento

Este cuadro aparecerá inactivo al momento de abrir la ventana por primera vez y se activará si el número de desplazamientos indicado es igual a uno en caso contrario se ocultará. Si son insertados valores incoherentes en este espacio, como textos o valores no numéricos, entonces el cuadro será llenado con el valor cero, como magnitud de desplazamiento.

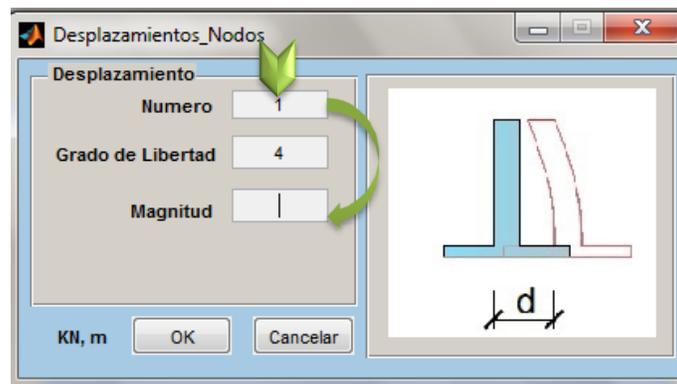


Figura 110. Introducción de la magnitud del desplazamiento en el nodo

- Tabla para introducir sentidos y magnitudes de desplazamientos en los nodos:

Esta tabla será mostrada si es introducido un número de desplazamientos mayor que uno (ver Figura 111). El número de filas de la tabla estará especificado por el número de desplazamientos introducido, si se introducen valores de "GDL" (primera columna) menores a cero, o un valor que no esté dentro del rango de los grados de libertad de la estructura, la celda será llenada con el valor cero.

Además si se le asigna un desplazamiento a algún grado de libertad en la dirección normal al plano, esa celda también, será llenada con el valor cero

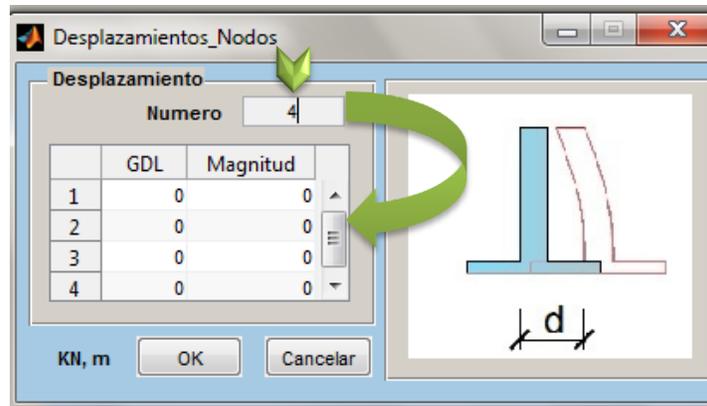


Figura 111. Introducción de la magnitud y sentido del desplazamiento del nodo

Si son insertados valores incoherentes en la columna de inserción de “Magnitud”, como textos o valores no numéricos, entonces la celda será llenada con el valor cero, como magnitud del desplazamiento.

- Cuadro para indicar las unidades de medida utilizadas.

Con el propósito que el usuario tenga noción de las unidades en la cuales inserta los datos esta ventana tiene un cuadro rotulando las unidades de medidas usadas. Este cuadro está ubicado en la esquina inferior izquierda de la ventana.

- Botones “OK” y “Cancelar”;

El botón “OK” guardara los datos introducidos y asignara estos mismos a la estructura, luego de presionar este botón esta ventana será cerrada y el usuario continuara con el análisis. En el caso de que sea presionado el botón “Cancelar” la ventana se cerrara sin guardar los datos.

Posibles errores de al ejecutar esta función ocurren;

- a) Si no es asignado un valor a un grado de libertad o se ingresa un valor igual a cero, y se presiona el botón “OK”, entonces emergerá el mensaje visualizado en la Figura 112 (a).
- b) Si no es asignado la magnitud del desplazamiento, y se presiona el botón “OK”, entonces emergerá el mensaje visualizado en la Figura 112 (b).



Figura 112. Errores en "OK" de desplazamientos en nodos

### 2.5.8 Inserción De Cargas Puntuales Sobre Los Elementos

La función para asignar fuerzas puntuales sobre cualquier elemento de la estructura se activara posteriormente a la asignación de las restricciones en los nodos. Esta función es ejecutada desde el panel "Asignar" en el menú desplegable mostrado en la Figura 113.

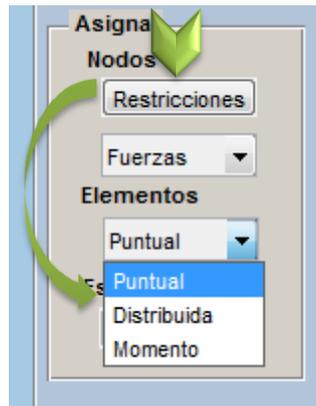


Figura 113. Menú para asignación de fuerzas puntuales en elementos

Este menú también contiene la opción de asignar otros tipos de cargas sobre los elementos de las cuales se abordara posteriormente, al seleccionar la opción "Puntual", se desplegará la ventana apreciada en la Figura 114.

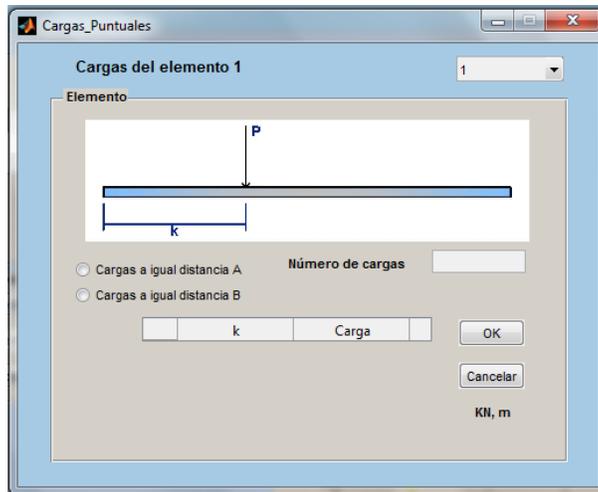


Figura 114. Ventana para introducir fuerzas puntuales sobre los elementos.

La ventana está compuesta por los siguientes elementos:

- Menú desplegable para la selección de elementos.

Este menú está destinado para la selección del elemento al que se le pretende asignar cargas, tal y como se muestra en la Figura 115, se encuentra ubicado en la esquina superior derecha de la ventana. Conteniendo todos los elementos de la estructura, por defecto la ventana se abrirá con el elemento número uno, pero el usuario podrá asignar cargas a cualquier elemento de la estructura ubicándose con este menú

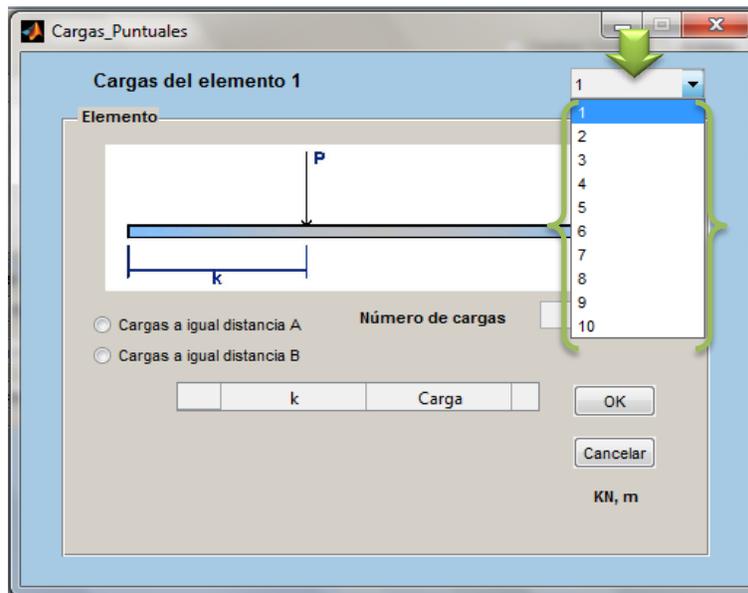


Figura 115. Menú para la selección del elemento.

Si el usuario introdujo alguna carga a cierto elemento, y desea cerciorarse del dato introducido entonces podrá hacerlo usando el menú para la selección de elemento.

Al seleccionar el elemento se podrá proseguir con la inserción de las fuerzas, para ilustrar al usuario a cual elemento se está asignando cargas, en el cuadro de vista previa, de la ventana del módulo de análisis de marco, se resaltara el miembro con una línea de color más oscuro, a como se muestra en la Figura 116.

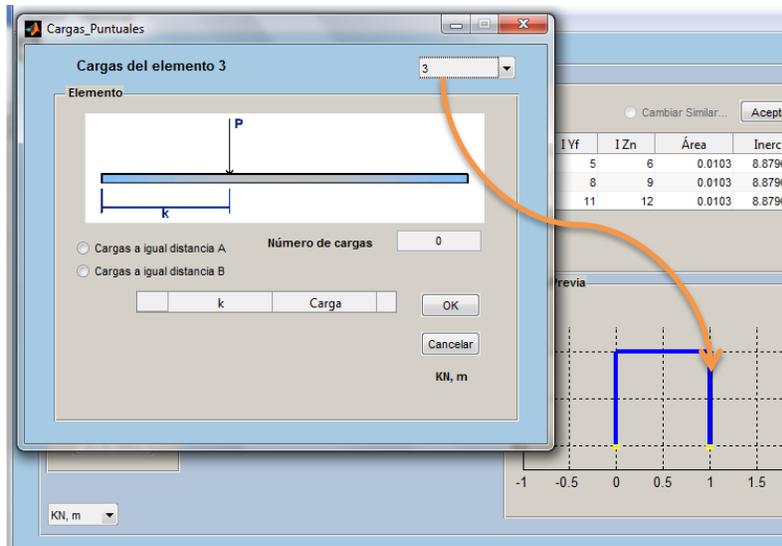


Figura 116. Apreciación del elemento al cual se le asignan fuerzas puntuales

- Texto indicando el número del elemento.

Este rotulo indicara el miembro o elemento al cual están o han sido asignadas las fuerzas, este texto se puede apreciar en la Figura 117, el cual cambiara según se cambie el número de elemento en el menú desplegable.

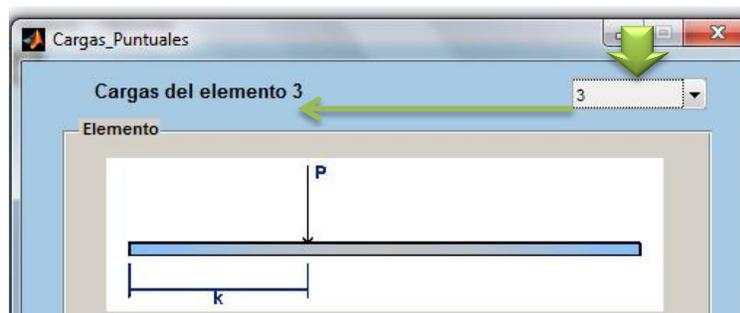


Figura 117. Rotulo del número del elemento.

- Cuadro para indicar el número de cargas sobre el miembro.

En este cuadro se debe indicar un número entero positivo, mayor que cero, igual al número de cargas puntuales que actúan sobre el elemento seleccionado. Si los dos botones seleccionables están desactivados, entonces al ingresar el número de cargas se desplegará la tabla para inserción de fuerzas con el número de filas igual al valor indicado. Si alguno de los dos botones seleccionables ha sido activado este cuadro delimitará el número de cargas a igual distancia, estos casos serán explicados posteriormente.

Los errores al ingresar el número de fuerzas se muestran en la Figura 118;

- a) Si el usuario ingresa un entero o decimal menor que uno entonces, aparecerá el mensaje de error de la Figura 118 (a).
- b) Otro posible error, es la inserción de un dato no numérico en el cuadro, si esto ocurre entonces se desplegará el mensaje de la Figura 118 (b).

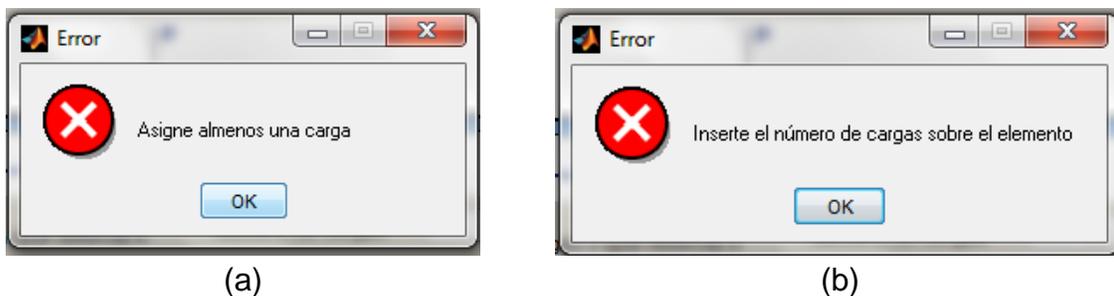


Figura 118. Errores al ingresar número de fuerzas puntuales

- Cuadro para indicar las unidades de medida utilizadas.

Antes de iniciar a introducir las cargas se le recomienda al usuario visualizar las unidades de medidas en las cuales está haciendo el análisis. Con el propósito que el usuario tenga noción de las unidades en las cuales inserta los datos esta ventana tiene un cuadro rotulando las unidades de medidas usadas. Este cuadro está ubicado en la esquina inferior derecha de la ventana.

- Tabla para inserción de datos cargas.

Si los dos botones seleccionables de la ventana de inserción de cargas puntuales están inactivados, entonces al ingresar el número de cargas, se desplegará la Tabla de inserción de datos para cada carga, con el número de filas igual al número de cargas asignado.

Esta tabla estará compuesta de dos columnas, en las cuales se deberán indicar la posición y la magnitud de cada carga sobre el elemento (Ver Figura 119).

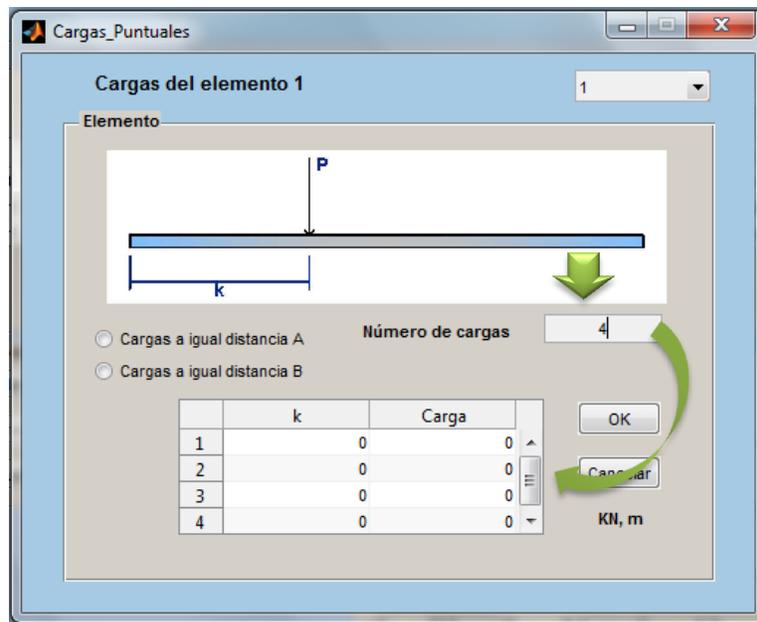


Figura 119. Ubicación de Tabla para inserción de datos cargas puntuales

La primera columna llamada “k” está destinada para introducir, la posición de la carga, este factor resulta de la relación entre la separación entre la carga y el nodo izquierdo (Elementos horizontales) o nodo inferior (Elementos verticales) denominada “kL” y la longitud total del elemento  $L$ . Es decir que:

$$k = \frac{kL}{L} \quad (2.1)$$

Este valor debe de ser mayor que cero y menor que uno, si el usuario ingresa un valor fuera de este rango aparecerá el siguiente mensaje:

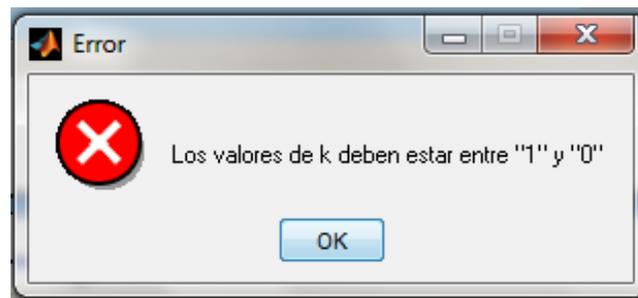


Figura 120. Mensaje de error al insertar valores de k de cargas puntuales

En la segunda columna, de esta tabla, se deberá indicar la magnitud de la carga, teniendo en cuenta que la fuerza será positiva en la dirección mostrada en la Figura 121. Si se ingresa un valor no numérico en cualquier columna de la tabla, la celda donde sea asignado será llenada con el valor cero.



Figura 121. Convención de signos para Fuerza puntual

- Primer Botón seleccionable para asignar cargas puntuales distribuidas a igual separación. (Cargas a igual distancia A)

En la Figura 122, se aprecian los botones seleccionables dentro de la ventana de inserción de fuerzas puntuales sobre los elemento.

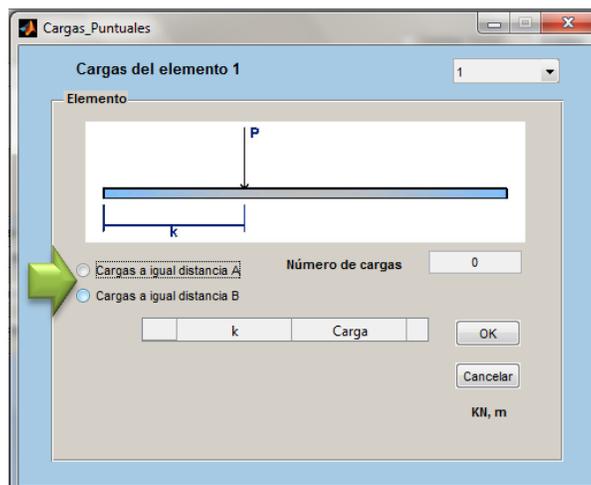


Figura 122. Ubicación de los botones para inserción de fuerzas puntuales

Este botón permitirá al usuario ingresar un número determinado de cargas a separación constante. Tal y como se muestra en la Figura 123.

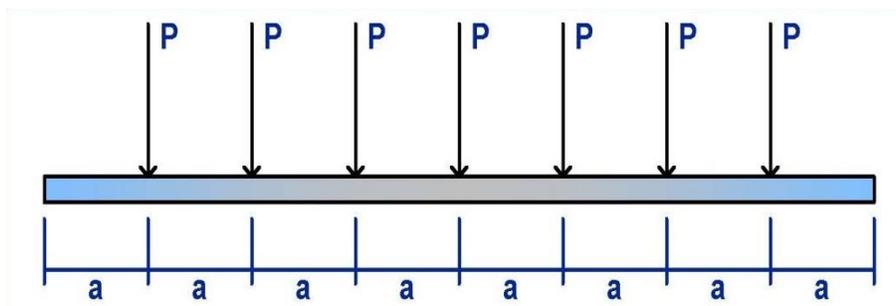


Figura 123. Cargas puntuales a igual distancia, Caso A.

Al ser activado este botón se ocultara la Tabla para inserción de datos cargas y aparecerá el Cuadro para inserción de magnitud de cargas.

- Segundo Botón seleccionable para asignar cargas puntuales distribuidas a igual separación. (Cargas a igual distancia B).

Este botón permitirá al usuario ingresar un número determinado de cargas a separación constante, exceptuando la separación entre las cargas de los extremos y los nodos del elemento, separación que corresponderá a la mitad de la separación. Tal y como se muestra en la Figura 124.

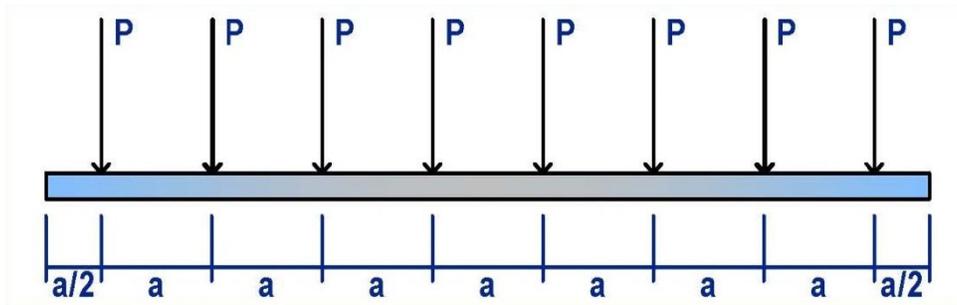


Figura 124. Cargas puntuales a igual distancia, Caso B.

Al ser activado este botón se ocultara la Tabla para inserción de datos cargas y aparecerá el Cuadro para inserción de magnitud de cargas.

- Cuadro para inserción de magnitud de cargas.

Si es activado cualquier botón seleccionable para asignar cargas puntuales distribuidas a igual separación, entonces aparecerá este cuadro para insertarla magnitud de las cargas (Figura 125).

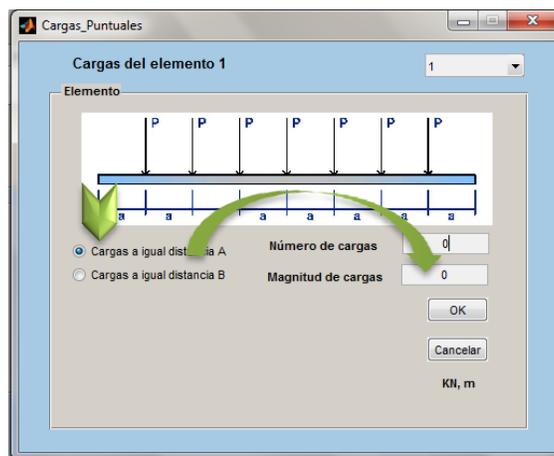


Figura 125. Cuadro para introducción de fuerza puntual sobre elemento.

Si son insertados valores incoherentes en este espacio, como textos o valores no numéricos, aparecerá el mensaje mostrado a continuación:

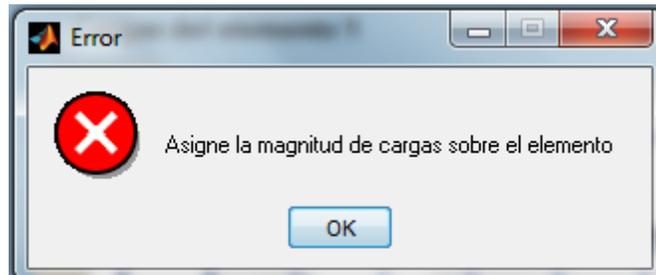


Figura 126. Error al asignar la magnitud de carga puntual sobre elemento.

- Cuadro para indicar las unidades de medida utilizadas.

Con el propósito que el usuario tenga noción de las unidades en las cuales inserta los datos, esta ventana tiene un cuadro rotulando las unidades de medidas usadas. Este cuadro está ubicado en la esquina inferior izquierda de la ventana.

- Botones "OK" y "Cancelar".

El botón "OK" guardara los datos introducidos y asignara estos mismos a la estructura, luego de presionar este botón esta ventana será cerrada y el usuario continuara con el análisis. En el caso de que sea presionado el botón "Cancelar" la ventana se cerrara sin guardar los datos.

### 2.5.9 Asignación De Cargas Distribuidas Sobre Los Elementos

La función para asignar fuerzas distribuidas sobre cualquier elemento de la estructura se activara posteriormente a la asignación de las restricciones en los nodos. Esta función es ejecutada desde el panel "Asignar" en el menú desplegable mostrados en la Figura 127.



Figura 127. Menú para asignación de fuerzas distribuidas a los elementos

Al seleccionar la opción de “Distribuida”, se desplegará la ventana apreciada en la Figura 128.

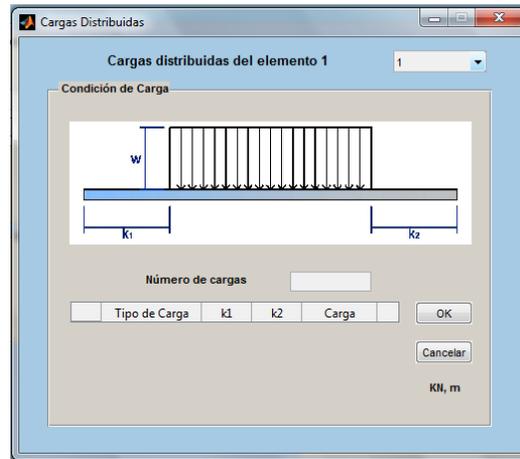


Figura 128. Ventana para introducir fuerzas distribuidas sobre los elementos.

La ventana está compuesta por los siguientes elementos:

- Menú desplegable para la selección de elementos.

Este menú para la selección del elemento al que se le pretende asignar cargas, tal y como se muestra en la Figura 129, se encuentra ubicado en la esquina superior derecha de la ventana. Conteniendo todos los elementos de la estructura, por defecto la ventana se abrirá con el elemento número uno, pero el usuario podrá asignar cargas a cualquier elemento de la estructura ubicándose con este menú.

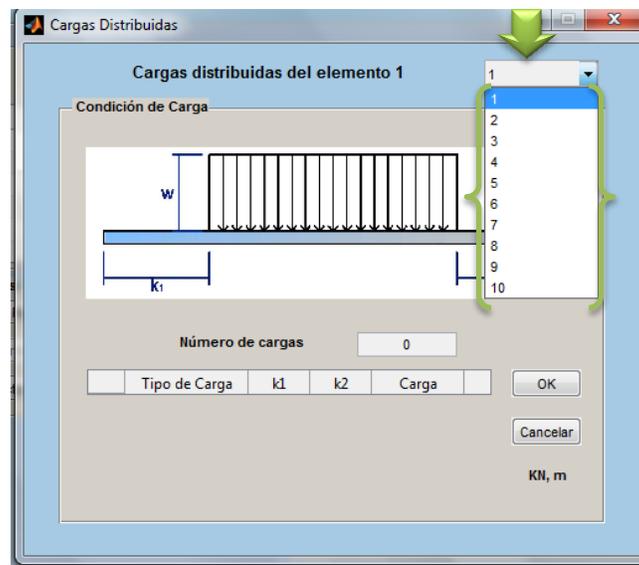


Figura 129. Menú para la selección del elemento.

Si el usuario introdujo alguna carga a cierto elemento, y desea cerciorarse del dato introducido entonces podrá hacerlo usando el menú para la selección de elemento.

Al seleccionar el elemento se podrá proseguir con la inserción de las fuerzas, para ilustrar al usuario a que elemento se está haciendo selección, en el cuadro de vista previa, de la ventana del módulo de análisis de marco, resaltara el elemento con una línea de mayor grosor, a como se muestra en la Figura 130.

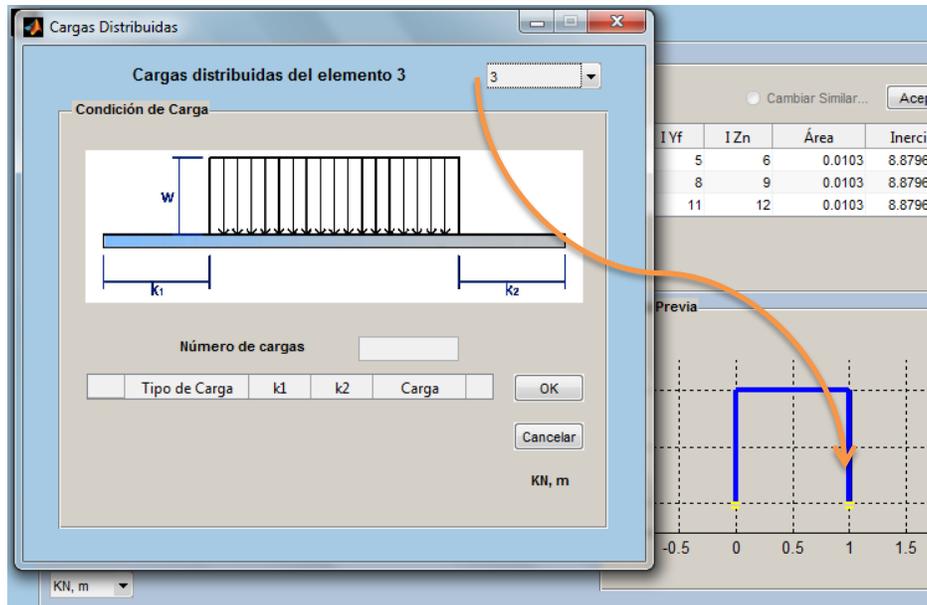


Figura 130. Apreciación del elemento al cual se le asignan fuerzas distribuidas

- Texto indicando el número del elemento.

Este rotulo indicara el miembro o elemento al cual se están o han sido asignadas cargas, este texto se puede apreciar en la Figura 131, el cual cambiara según se cambie el número de elemento en el menú desplegable.

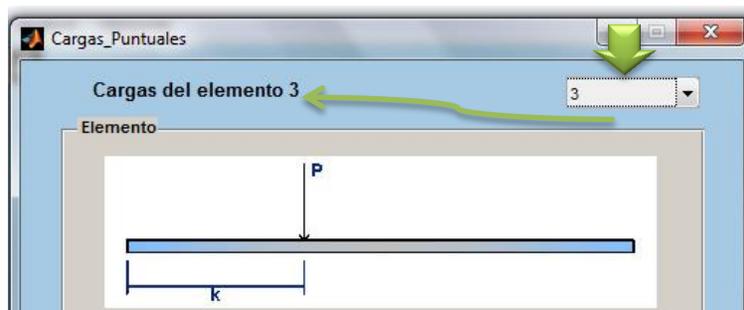


Figura 131. Rotulo del número del elemento.

- Cuadro para indicar el número de cargas sobre el elemento.

Este cuadro se debe indicar un número, entero positivo mayor que cero, igual al número de cargas distribuidas que actúan sobre el elemento seleccionado,

Al ingresar el número de cargas se desplegará la tabla para inserción de fuerzas con el número de filas igual al valor indicado.

Errores al ingresar número de cargas distribuidas;

- a) Si el usuario ingresa un entero menor que cero entonces, aparecerá el mensaje de error de la Figura 132 (a).
- b) Otro posible error, es la inserción de un dato no numérico en el cuadro.



Figura 132. Errores al ingresar número de cargas distribuidas

- Cuadro para indicar las unidades de medida utilizadas.

Antes de iniciar a introducir las cargas se le recomienda al usuario visualizar las unidades de medidas en las cuales está haciendo el análisis.

Con el propósito que el usuario tenga noción de las unidades en las cuales inserta los datos esta ventana tiene un cuadro rotulando las unidades de medidas usadas. Este cuadro está ubicado en la esquina inferior derecha de la ventana.

- Tabla para inserción de datos cargas distribuidas.

Al ingresar el número de cargas, se desplegara la Tabla de inserción de datos para cada carga, con el número de filas igual al número de cargas asignado.

Esta tabla estará compuesta de cuatro columnas, en las cuales se deberán indicar el tipo de carga distribuida, la posición y la magnitud de cada carga sobre el elemento (Ver Figura 133).

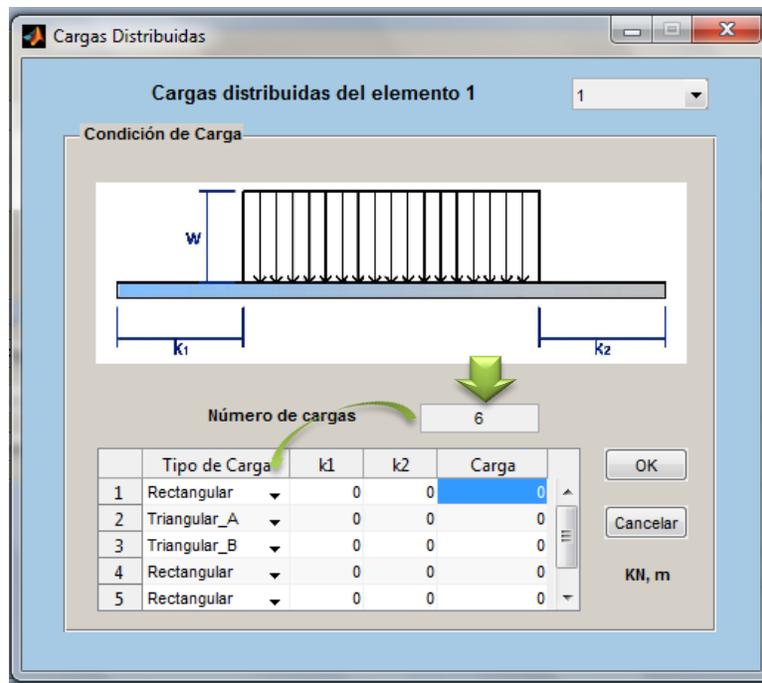
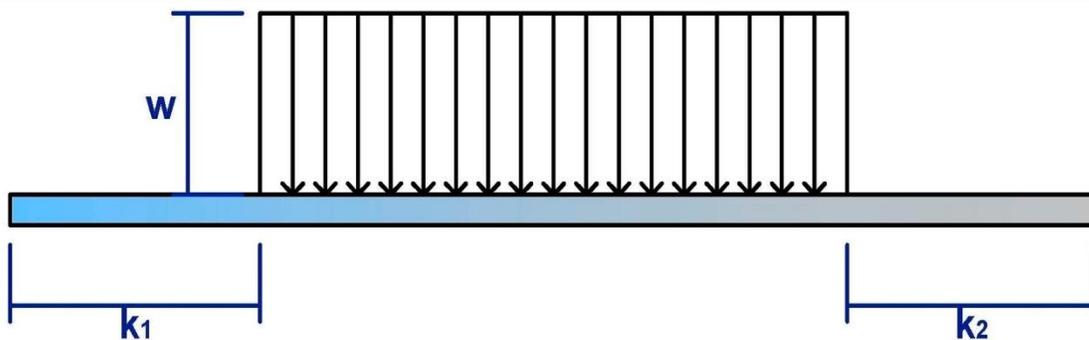


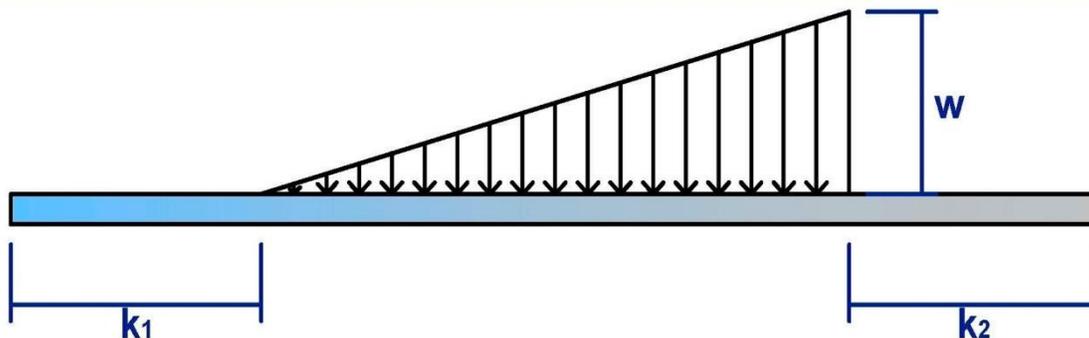
Figura 133. Ubicación de Tabla para inserción de datos cargas distribuidas

En la primera columna se deberá especificar el tipo de carga distribuida que actuara sobre el elemento, los tipos de cargas propuesto por AEstruct2D son:

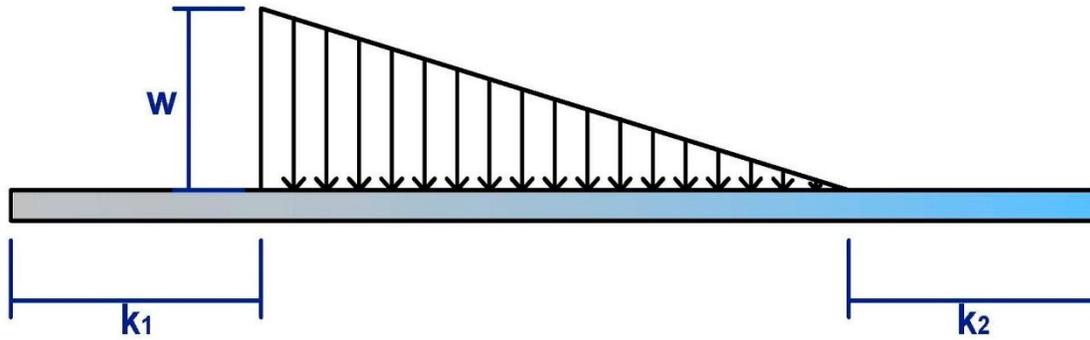
Figura 134. Tipos de cargas analizadas por AEstruct2D



Carga distribuida rectangular



Carga distribuida Triangular Creciente de izquierda a derecha



Carga distribuida Triangular Creciente de derecha a izquierda

La asignación del tipo de carga se deberá hacer, seleccionando el tipo de carga del menú mostrado en la Figura 135. Al seleccionar el tipo de carga se mostrara en un cuadro de la ventana la imagen correspondiente al tipo de carga.

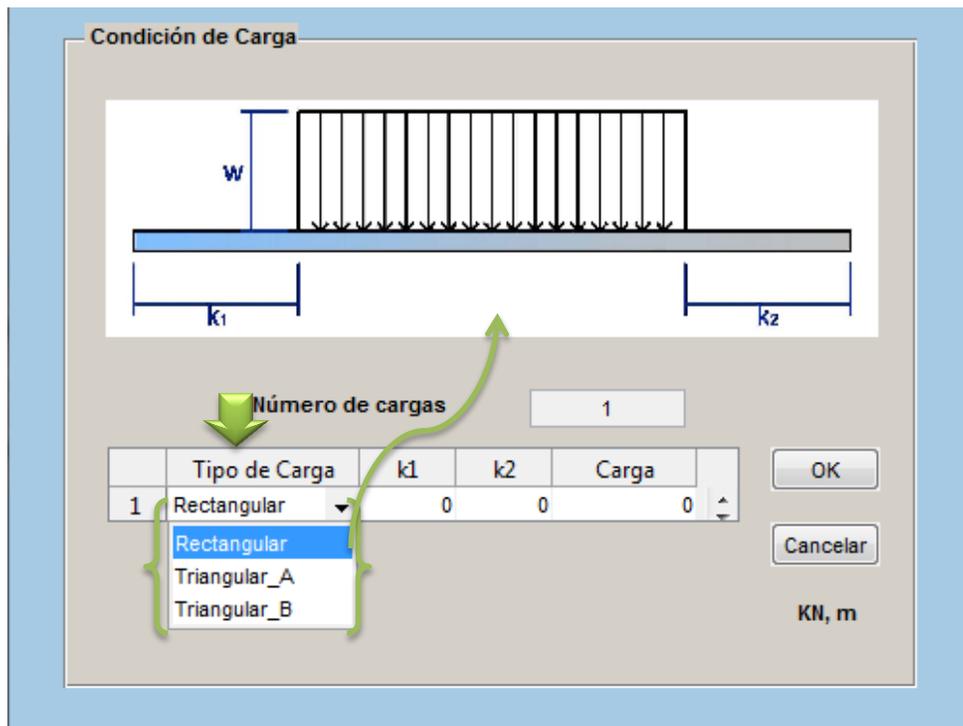


Figura 135. Selección del tipo de carga distribuida

La segunda columna está destinada para insertar el término nombrado " $k_1$ " la cual indica, la posición de la carga, este factor resulta de la relación entre la separación del punto de inicio de la carga y el nodo izquierdo (Elementos horizontales) o nodo inferior (Elementos verticales) denominada " $kL_1$ " y la longitud total del elemento  $L$ . Es decir que:

$$k_1 = \frac{kL_1}{L} \quad (2.2)$$

La tercera columna está destinada para insertar el término nombrado " $k_2$ " la cual indica, la posición de la carga, este factor resulta de la relación entre la separación del punto de inicio de la carga y el nodo derecho (Elementos horizontales) o nodo superior (Elementos verticales) denominada " $kL_2$ " y la longitud total del elemento  $L$ . Es decir que:

$$k_2 = \frac{kL_2}{L} \quad (2.3)$$

Los valores de  $k_1$  y  $k_2$  deben de ser mayor que cero y menor que uno, y a su vez la suma de estos dos términos debe ser menor que uno, si el usuario ingresa un valor que no cumpla con estas condiciones, aparecerá el siguiente mensaje:

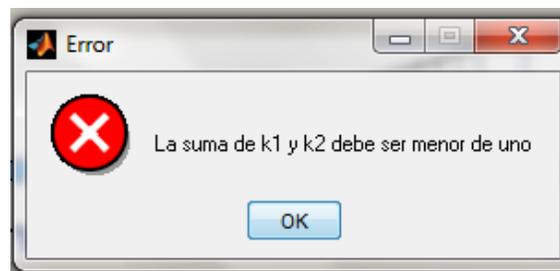


Figura 136. Error al insertar valores de  $k_1$  y  $k_2$  de cargas distribuidas

En la cuarta columna, de esta tabla, se deberá indicar la magnitud de la carga, teniendo en cuenta la siguiente convención de signos.

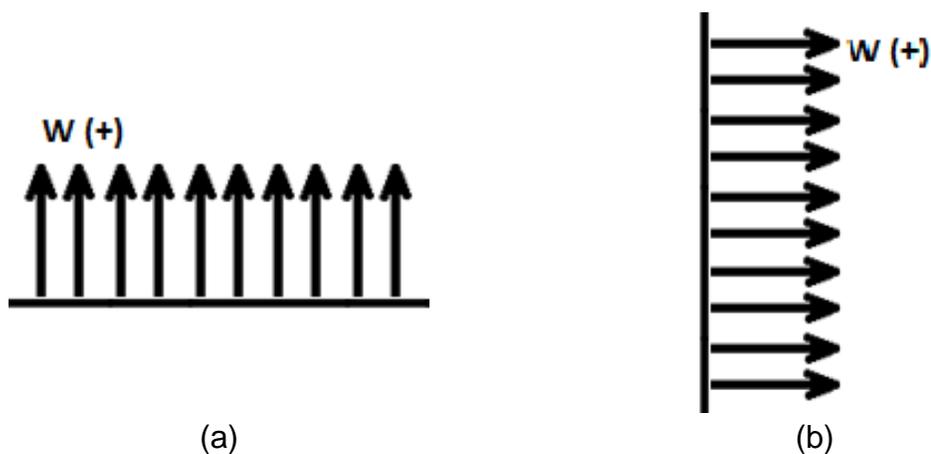


Figura 137. Convención de signos para Fuerzas Distribuidas

Si se ingresa un valor no numérico en cualquier columna de la tabla, la celda donde sea asignado será llenada con el valor cero.

- Cuadro para indicar las unidades de medida utilizadas.

Con el propósito que el usuario tenga noción de las unidades en la cuales inserta los datos esta ventana tiene un cuadro rotulando las unidades de medidas usadas. Este cuadro está ubicado en la esquina inferior izquierda de la ventana.

- Botones “OK” y “Cancelar”.

El botón “OK” guardara los datos introducidos y asignara estos mismos a la estructura, luego de presionar este botón esta ventana será cerrada y el usuario continuara con el análisis. En el caso de que sea presionado el botón “Cancelar” la ventana se cerrara sin guardar los datos.

#### 2.5.10 Asignación De Momentos Puntuales Sobre Los Elementos

La función para asignar momento puntual sobre cualquier elemento de la estructura se activara posteriormente a la asignación de las restricciones en los nodos. Esta función es ejecutada desde el panel “Asignar” en el menú desplegable mostrados en la Figura 138.



Figura 138. Menú para asignación de momento puntual sobre elementos

Este menú también contiene la opción de asignar otros tipos de cargas sobre los elementos, los cuales ya fueron abordados, al seleccionar la opción de “Momento”, se desplegará la ventana apreciada en la Figura 139.

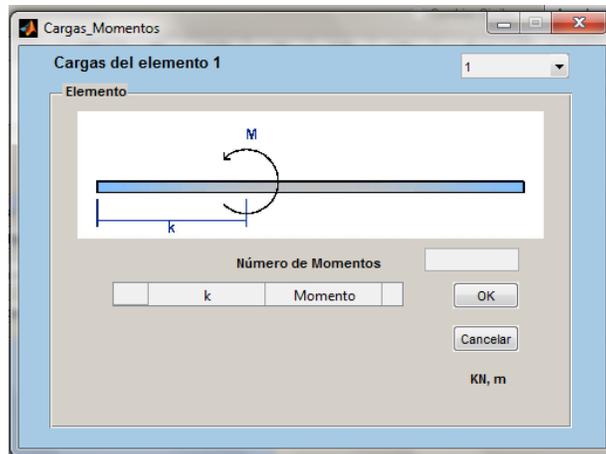


Figura 139. Introducir momento flexionante puntual sobre los elementos.

La ventana está compuesta por los siguientes elementos:

- Menú desplegable para la selección de elementos.

Este menú para la selección del elemento al que se le pretende asignar el momento flexionante, tal y como se muestra en la Figura 140, se encuentra ubicado en la esquina superior derecha de la ventana. Conteniendo todos los elementos de la estructura, por defecto la ventana se abrirá con el elemento número uno, pero el usuario podrá asignar el momento a cualquier elemento de la estructura ubicándose con este menú.

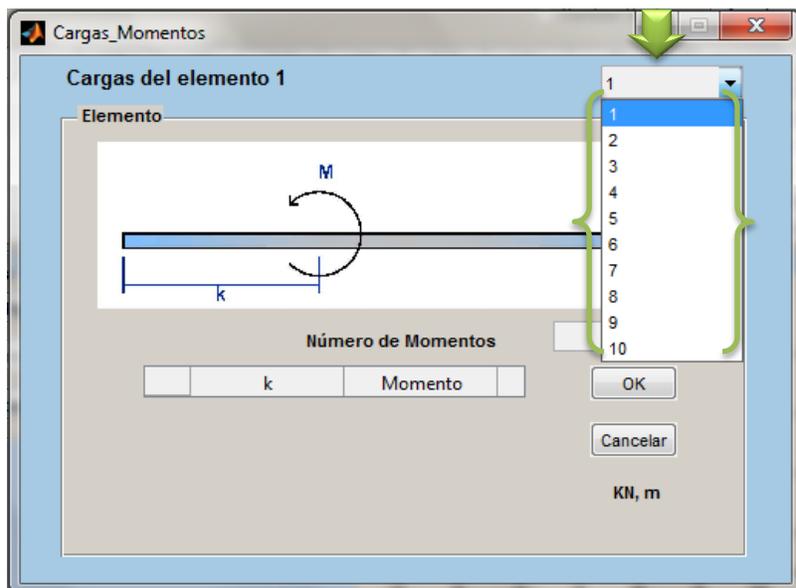


Figura 140. Menú para la selección del elemento.

Si el usuario introdujo algún momento a cierto elemento, y desea cerciorarse del dato introducido entonces podrá hacerlo usando el menú para la selección de elemento.

Al seleccionar el elemento se podrá proseguir con la inserción del momento, para ilustrar al usuario a que elemento se está haciendo selección, en el cuadro de vista previa, de la ventana del módulo de análisis de marco, se resaltara el elemento con una línea con mayor grosor, a como se muestra en la Figura 141.

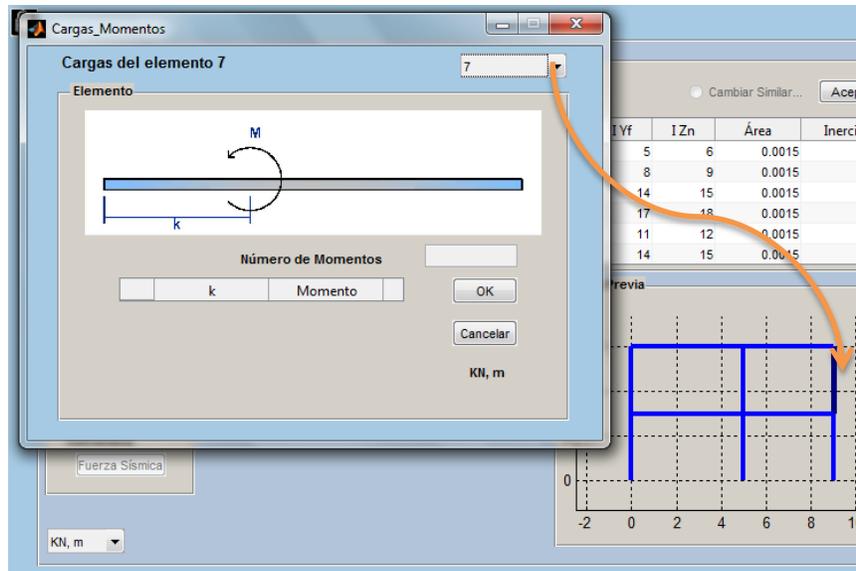


Figura 141. Apreciación del elemento al cual se le asigna momento

- Texto indicando el número del elemento.

Este rotulo indicara el miembro o elemento al cual están o han sido asignados los momentos, este texto se puede apreciar en la Figura 142, el cual cambiara según se cambie el número de elemento en el menú desplegable.

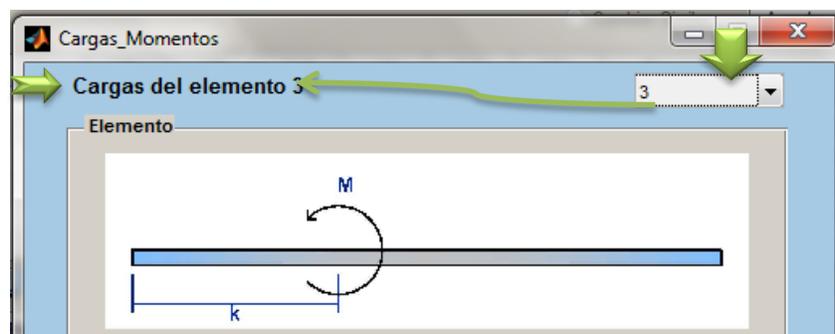


Figura 142. Rotulo del número del elemento.

- Cuadro para indicar el número de momentos sobre el elemento.

En este cuadro se debe indicar un número, entero positivo mayor que cero, igual al número de momentos flexionantes que actúan sobre el elemento seleccionado,

Al ingresar el número de momentos se desplegará la tabla para inserción de momentos con el número de filas igual al valor indicado. Si el usuario ingresa un entero menor que cero entonces, aparecerá el siguiente mensaje de error.

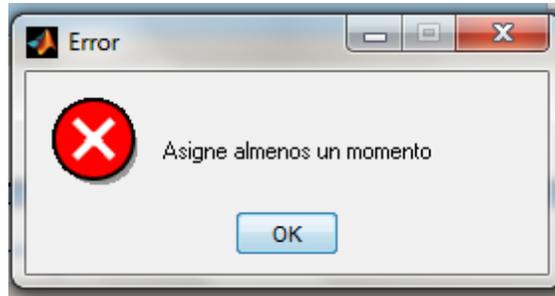


Figura 143. Error al introducir el número de momentos menor a cero.

Otro posible error, es la inserción de un dato no numérico en el cuadro, si esto ocurre entonces se desplegará el mensaje siguiente:



Figura 144. Advertencia de error inserción del número de momentos

- Cuadro para indicar las unidades de medida utilizadas.

Antes de iniciar a introducir los momentos se le recomienda al usuario visualizar las unidades de medidas en las cuales está haciendo el análisis.

Con el propósito que el usuario tenga noción de las unidades en las cuales inserta los datos esta ventana tiene en cuadro rotulando las unidades de medidas usadas. Este cuadro está ubicado en la esquina inferior derecha de la ventana.

- Tabla para inserción de datos de momentos flexionantes.

Al ingresar el número de momentos, se desplegará la Tabla de inserción de datos para cada momento, con el número de filas igual al número de momentos asignado.

Esta tabla estará compuesta de dos columnas, en las cuales se deberán indicar la posición y la magnitud del momento que actúa sobre el elemento (Ver Figura 145).

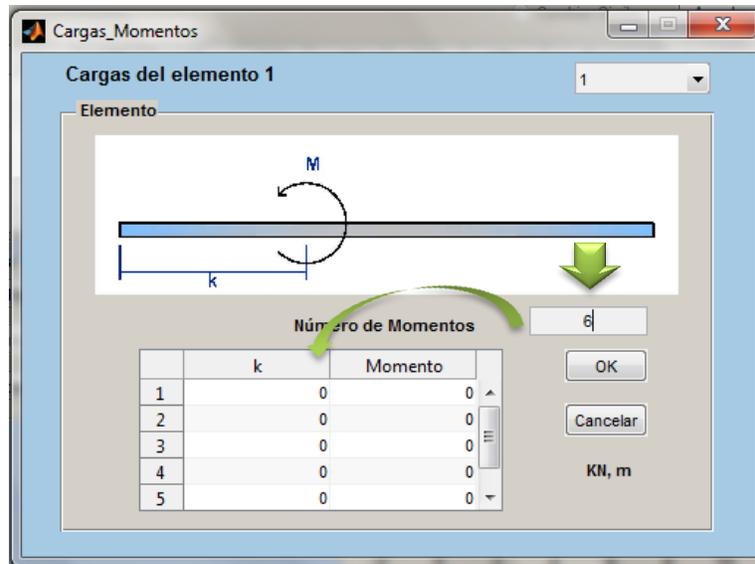


Figura 145. Ubicación de Tabla para inserción de datos de momentos

La primera columna está destinada para insertar el término nombrado "k" la cual indica, la posición del momento, este factor resulta de la relación entre la separación del punto de aplicación del momento y el nodo izquierdo (Elementos horizontales) o nodo inferior (Elementos verticales) denominada "kL" y la longitud total del elemento L. Es decir que:

$$k = \frac{kL}{L} \quad (2.4)$$

Los valores de k deben de ser mayor que cero y menor que uno, si el usuario ingresa un valor que no cumpla con esta condición, aparecerá el siguiente mensaje:

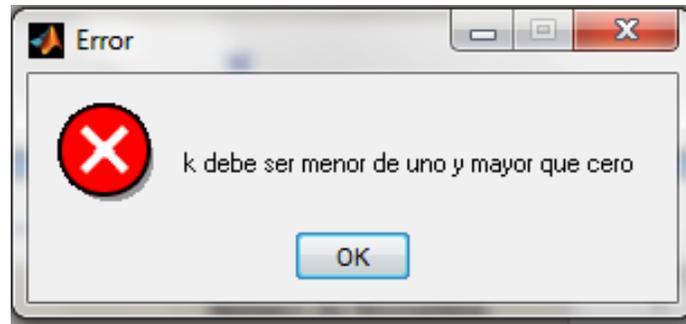


Figura 146. Mensaje de error al insertar valores de  $k$  del momento

En la segunda columna, de esta tabla, se deberá indicar la magnitud del momento, teniendo en cuenta la siguiente convención de signos.

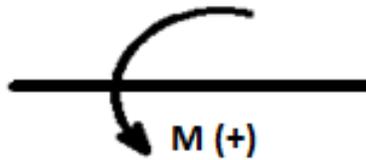


Figura 147. Convención signos para indicar momento puntual

Si se ingresa un valor no numérico en cualquier columna de la tabla, la celda donde sea asignado será llenada con el valor cero.

- Cuadro para indicar las unidades de medida utilizadas.

Con el propósito que el usuario tenga noción de las unidades en la cuales inserta los datos esta ventana tiene un cuadro rotulando las unidades de medidas usadas. Este cuadro está ubicado en la esquina inferior izquierda de la ventana.

- Botones “OK” y “Cancelar”.

El botón “OK” guardara los datos introducidos y asignara estos mismos a la estructura, luego de presionar este botón esta ventana será cerrada y el usuario continuara con el análisis. En el caso de que sea presionado el botón “Cancelar” la ventana se cerrara sin guardar los datos.

### 2.5.11 Análisis de Fuerza Sísmica

La función de análisis sísmico de la herramienta AEstruct2D, está basada en el Reglamento Nacional de Nicaragua, 2007 (RNC-07), específicamente en el Método Estático Equivalente para la obtención de fuerzas laterales debidas a sismos. Esta función es ejecutada por el botón llamado “Fuerza Sísmica” ubicado dentro del panel “Asignar” (Ver Figura 148).

El botón “Fuerza Sísmica” solo se activara si se han ingresado cargas a la estructura y si en la barra de menús se activa el Método Estático Equivalente en el menú “Asignar”.

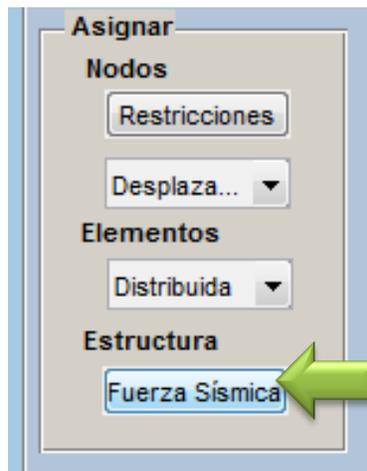


Figura 148. Ubicación del botón “Fuerza Sísmica”

Al ser ejecutado el botón “Fuerza Sísmica” aparecerá la ventana mostrada en la Figura 149, ventana en la que el usuario podrá ingresar datos ligados con el RNC-07, los cuales serán los que definan el coeficiente sísmico.

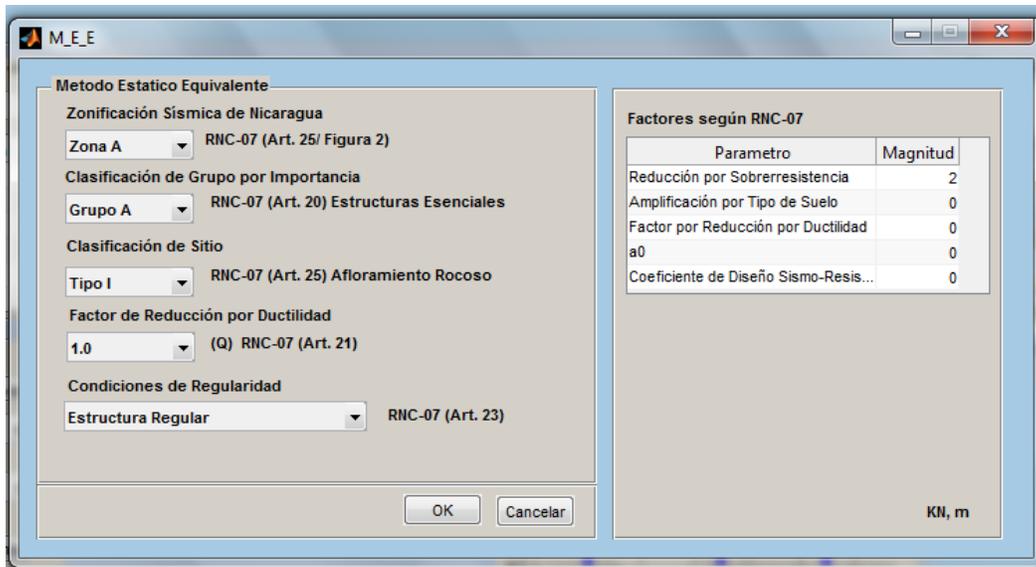


Figura 149. Ventana para el análisis de Fuerza Sísmica.

La ventana permitirá que el usuario introduzca los datos de:

- Zona sísmica en la que se desplantara la estructura.

Este parámetro es especificado en el artículo 24 del RNC-07, en el cual se define una división de tres zonas sísmicas al país de Nicaragua. En la Figura 150, se muestra el menú para selección de zona sísmica.



Figura 150. Menú de selección de zona sísmica.

Siguiendo lo dictado en el RNC-07;

- La zona A, corresponderá al atlántico del país, teniendo para esta zona un valor de isoaceleración ( $a_0$ ) de 0.1.
- La zona B, pertenecerá al centro del país, teniendo para esta zona un valor de isoaceleración ( $a_0$ ) de 0.2.
- La zona C, corresponderá al pacifico del país, para esta zona un valor de isoaceleración ( $a_0$ ) será de 0.3.

- Clasificación del grupo de estructura.

En la Figura 151, se muestra el menú de selección de Grupo de Estructura, según la selección del grupo de estructura, se mostrara un texto indicando el nombre del grupo de estructura .asignado.

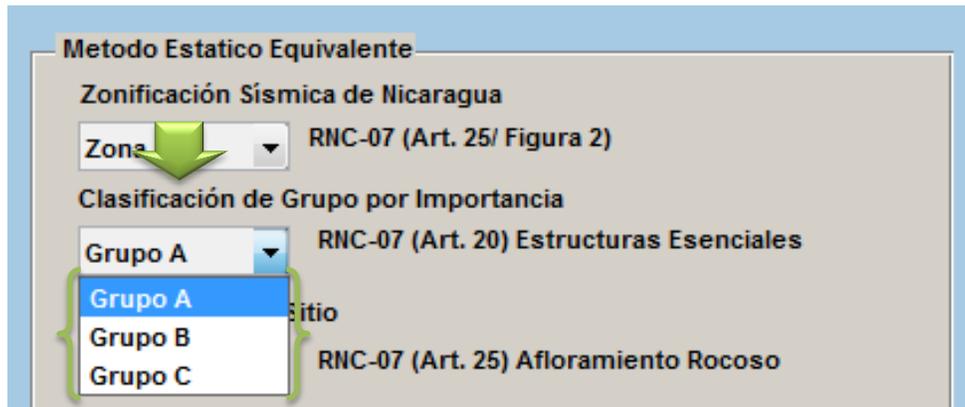


Figura 151.Menú de Grupo de Estructura.

El Reglamento RNC-07 cita, concerniente a los grupos de estructura, en su Art.20:

(Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2007)Para efectos del diseño estructural se considerará que las estructuras se pueden clasificar en:

a) Estructuras esenciales: (**Grupo A**) son aquellas estructuras que por su importancia estratégica para atender a la población inmediatamente después de ocurrido un desastre es necesario que permanezcan operativas luego de un sismo intenso, como hospitales, estaciones de bomberos, estaciones de policía, edificios de gobierno, escuelas, centrales telefónicas, terminales de transporte, etc. También se ubican dentro de este grupo las estructuras cuya falla parcial o total represente un riesgo para la población como depósitos de sustancias tóxicas o inflamables, estadios, templos, salas de espectáculos, gasolineras, etc. Asimismo, se considerará dentro de este grupo a aquellas estructuras cuya falla total o parcial causaría pérdidas económicas o culturales excepcionales, como museos, archivos y registros públicos de particular importancia, monumentos, puentes, etc.

b) Estructuras de normal importancia: (**Grupo B**) son aquellas en el que el grado de seguridad requerido es intermedio, y cuya falla parcial o total causaría pérdidas de magnitud intermedia como viviendas, edificios de oficinas, locales comerciales, naves industriales, hoteles, depósitos y demás estructuras urbanas no consideradas esenciales, etc.

c) Estructuras de menor importancia: (**Grupo C**) son aquellas estructuras aisladas cuya falla total o parcial no pone en riesgo la vida de las personas, como barandales y cercos de altura menor a 2.5m.

■ Tipificación del suelo.

Para tomar en cuenta los efectos de amplificación sísmica debidos a las características del terreno, en el análisis sísmico el Reglamento Nacional de Construcción de Nicaragua define los siguientes tipos de suelo, esta tipificación es realizada por medio de la velocidad promedio de ondas de cortante calculada a una profundidad no menor de 10 m:

- Tipo I: Afloramiento rocoso con  $V_s > 750 \text{ m/s}$ ,
- Tipo II: Suelo firme con  $360 < V_s \leq 750 \text{ m/s}$ ,
- Tipo III: Suelo moderadamente blando, con  $180 \leq V_s \leq 360 \text{ m/s}$ ,
- Tipo IV: Suelo muy blando, con  $V_s < 180 \text{ m/s}$ .

La ventana destinada para el análisis sísmico de AEstruct2D, permite la asignación del tipo de suelo por medio del menú de selección mostrado en la Figura 152. Según la selección del tipo de suelo, se mostrara un texto indicando el tipo de suelo asignado.

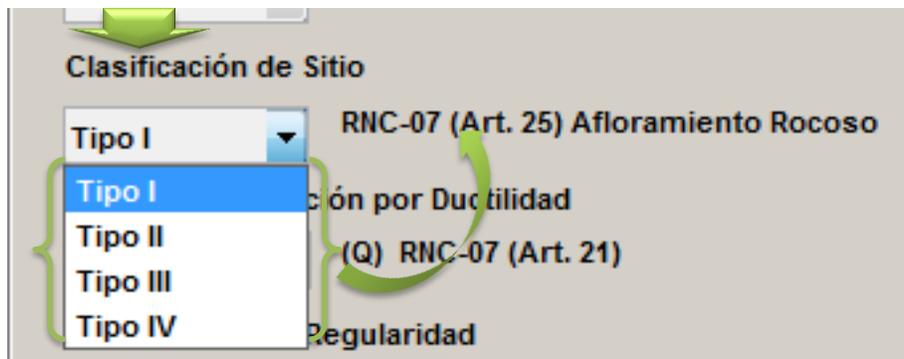


Figura 152. Menú para la selección del tipo de suelo

■ Factor de reducción por ductilidad.

Este término se encuentra definido en el artículo 21 del RNC-07, el usuario deberá revisar las condiciones dictadas en este artículo, para asignar un factor de ductilidad para realizar el análisis sísmico.

La ventana destinada para el análisis sísmico de AEstruct2D, permite la asignación del Factor de reducción por ductilidad por medio del menú de selección mostrado en la Figura 153.

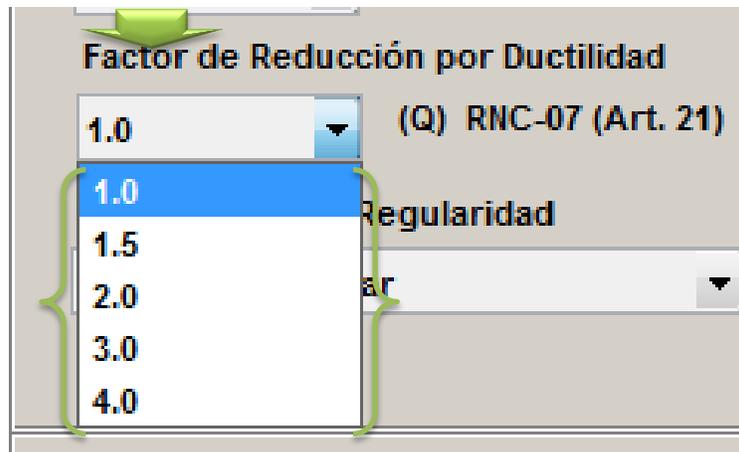
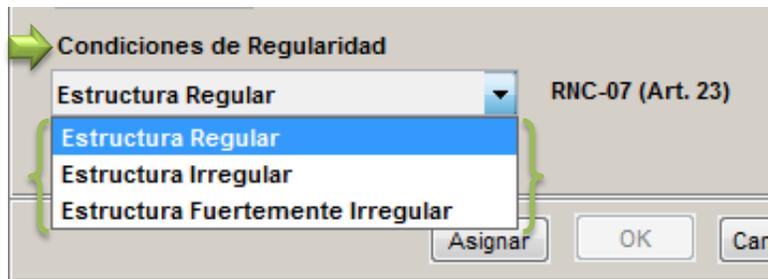


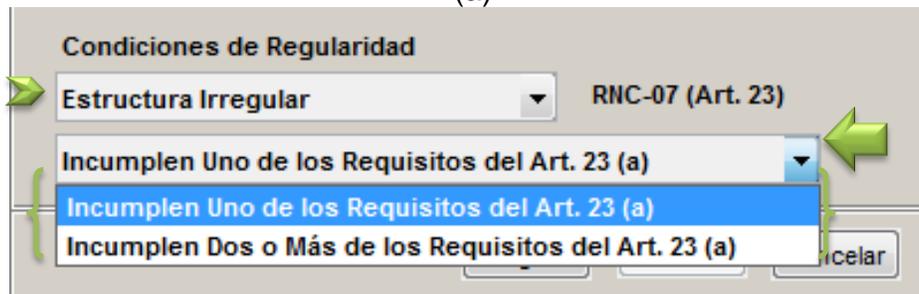
Figura 153. Menú para la selección del Factor de Reducción por ductilidad

■ Condiciones de regularidad de la estructura.

Este término considera la regularidad, para que una estructura se considere regular debe satisfacer los requisitos planteados en el artículo 21 del reglamento en el caso que la estructura incumpla una o más de las consideraciones mencionadas en ese artículo entonces se considerara irregular, o fuertemente irregular si cumpla con alguna de las consideraciones expuestas en el inciso (c), del artículo antes mencionado. El usuario deberá asignar una condición de regularidad a la estructura empleando el menú de selección mostrado en la Figura 154 (a). En el caso de que la estructura se encuentre bajo las consideraciones de una estructura irregular, el usuario deberá indicar cuantas condiciones del inciso (a), del artículo 23 se incumplen, esto con el fin de asignar la corrección por irregularidad al Factor de reducción por ductilidad. Esta acción se realizara usando el menú seleccionable apreciado en la Figura 154 (b).



(a)



(b)

Figura 154. Menú de selección de condición de regularidad de la estructura

Introducida cualquiera de las condiciones planteadas anteriormente, se asignaran estos valores para realizar el cálculo de los factores a considerar en el análisis, los cuales serán mostrados en la tabla que se aprecia en la Figura 155 (a). Conjuntamente se calcularan los pesos para cada nivel, los cuales se obtendrán de las cargas gravitacionales asignadas sobre los elementos de la estructura, y por ende las fuerzas laterales, tal y como se muestra en la Figura 155 (b).

Factores según RNC-07		Fuerzas laterales debidas a sismo		
Parametro	Magnitud	Elevación	Pesos	Fuerza Sísmica
Reducción por Sobrerresistencia	2	15	226	66.1942
Amplificación por Tipo de Suelo	1	12	250	58.5789
Factor de Reducción por Ductilidad...	1	9	400	70.2947
a0	0.1000	6	450	52.7211
Coefficiente de Diseño Sismo-Resis...	0.1350	3	900	52.7211

(a)

(b)

Figura 155. Tablas de resultados del análisis de fuerzas sísmicas

Los datos de la tabla de fuerzas laterales debidas a sismo, está compuesta por tres columnas las cuales indicaran la elevación, pesos y la fuerza lateral de cada nivel. AStruct2D asignara las elevaciones automáticamente al igual que los pesos, y siguiendo lo estipulado por el RNC-07, calculara las Fuerzas laterales (Figura 155b) empleando el coeficiente de diseño sismo-resistente mostrado en la tabla de Factores según el RNC-07 (Figura 155a).

Si el usuario tiene alguna duda acerca de los términos antes indicados, se debe revisar el Reglamento Nacional de Construcción, para ello AEstruct2D presenta la opción, de revisar este documento dando clic derecho en la ventana destinada para el análisis sísmico (Figura 156).

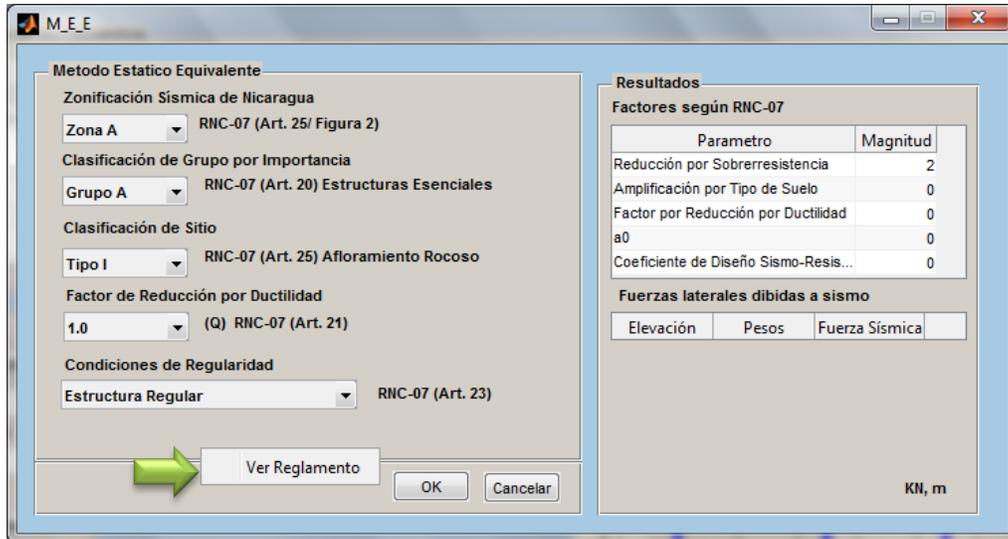


Figura 156. Menú de contexto para visualizar el RNC.07

Un error al realizar el análisis sísmico, es la asignación de cargas en sentido contrario al de la gravedad, se recomienda revisar la convención de signos empleada para la inserción de cargas.

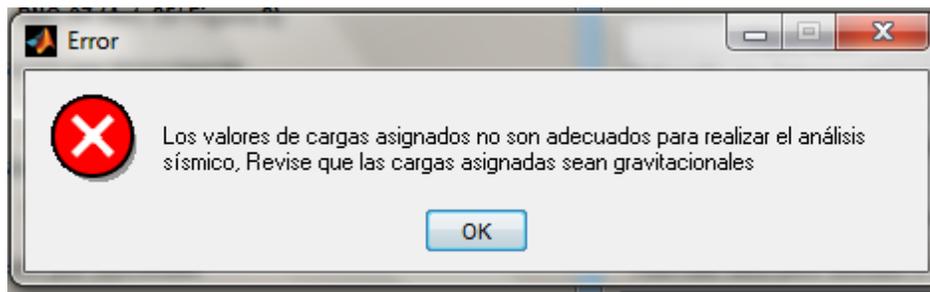


Figura 157. Mensaje de error al asignar cargas para análisis sísmico

Si el usuario asigna mayores pesos a los pisos superiores, se le preguntara si desea continuar con el análisis por medio del cuadro de dialogo ostentado en la Figura 158.

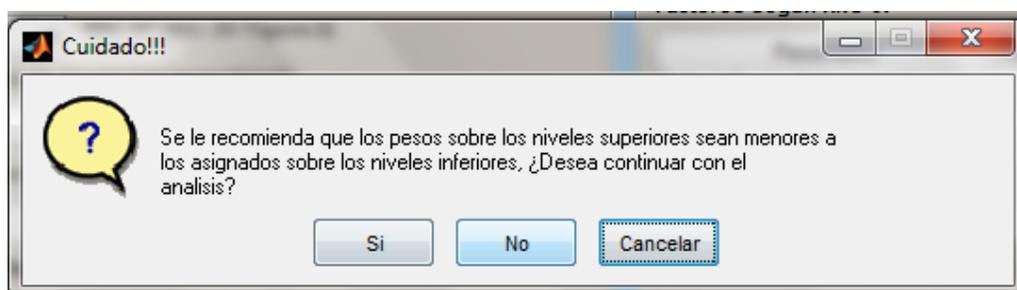


Figura 158. Cuadro de dialogo sobre pesos sobre los niveles de la estructura

- Cuadro para indicar las unidades de medida utilizadas.

Con el propósito que el usuario tenga noción de las unidades en la cuales realiza el análisis sísmico, esta ventana tiene un cuadro rotulando las unidades de medidas usadas. Este cuadro está ubicado en la esquina inferior derecha de la ventana.

- Botones “OK” y “Cancelar”

El botón “OK” guardara los datos introducidos y asignara estos mismos a la estructura, luego de presionar este botón esta ventana será cerrada y el usuario continuara con el análisis. En el caso de que sea presionado el botón “Cancelar” la ventana se cerrara sin guardar los datos.

### 2.5.12 Análisis De Las Condiciones Planteadas

La función referida al análisis de las condiciones planteadas, será ejecutada desde el menú “Análisis” de la barra de menú de AStruct2D o bien usando el comando “Ctrl+R”, posteriormente a la asignación de restricciones y cualquier tipo de carga se podrá efectuar el análisis, siempre y cuando la comprobación de los datos ingresados se haya dado sin ninguna eventualidad adversa.

Básicamente la función de “Realizar Análisis” es tomar la matriz de rigidez global de la estructura y los datos ingresados para restricciones y fuerzas externas, y efectúa el cálculo de Desplazamientos desconocidos, reacciones en los nodos restringidos y fuerzas internas de cada uno de los elementos que conforman la estructura. Una vez ejecutada esta función se activaran los botones del panel de resultados.

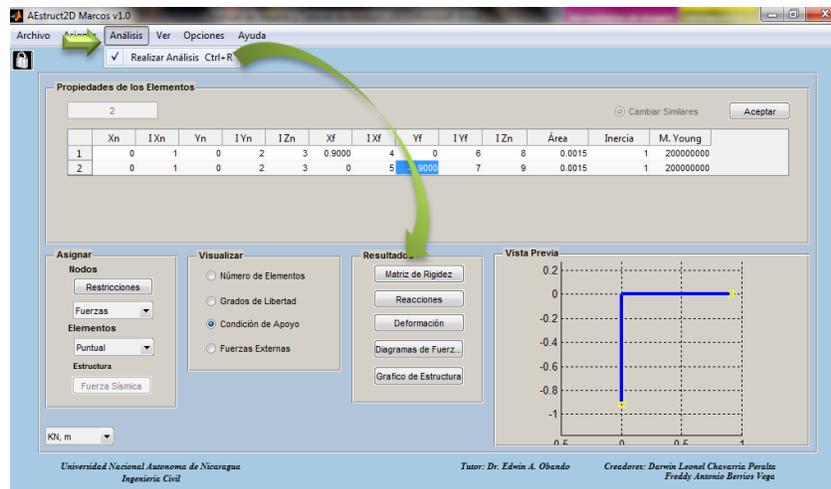


Figura 159. Cuadro de dialogo sobre pesos sobre los niveles de la estructura

### 2.5.13 Obtención De Matrices De Rigidez

Una vez ejecutado la función “Analizar” se activara el botón llamado “Matriz de Rigidez”, ubicado en la parte superior del panel de visualización de los Resultados del análisis, el cual mostrara una ventana para la visualización de las matrices de rigidez de cada uno de los elementos y la matriz de rigidez global de la estructura, la ventana emergente a la que se hace referencia se visualiza en la Figura 160.

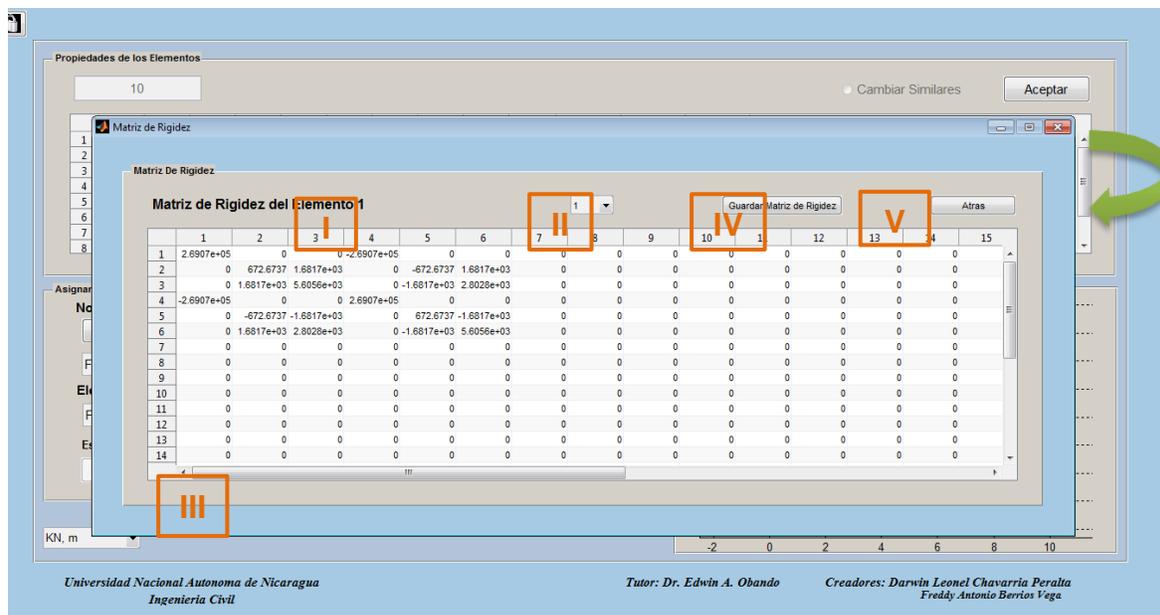


Figura 160. Ventana para la visualización de las matrices de rigidez

Esta ventana está constituida por los siguientes elementos;

- I. Texto indicativo del elemento al que pertenece la matriz de rigidez mostrada, por defecto se mostrara la matriz del elemento número uno.

- II. Menú para la selección de la matriz que se desea observar, este menú se desplegará con los números de todos los elementos, además de las letras KG al final del menú, símbolo que indica la matriz de rigidez global de la estructura.
- III. Tabla para mostrar la matriz de rigidez del elemento o matriz de rigidez global de la estructura seleccionado en el menú de selección, esta tendrá el mismo número de filas y columnas, igual al máximo grado de libertad. Esta tabla tendrá barras deslizantes para ayudar a la visualización de matrices con longitudes de filas y columnas extensas.
- IV. Botón Guardar Matriz de Rigidez, tal y como su nombre lo indica el usuario podrá acudir a este botón para salvar la matriz de rigidez mostrada en la Tabla.  
Al ejecutar este botón aparecerá un cuadro de dialogo, en el cual podrá realizar la opción de guardado, el cuadro de dialogo se muestra en la Figura 161.

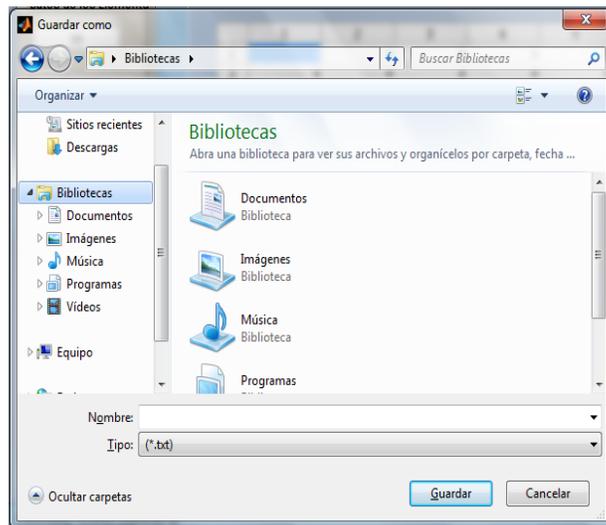


Figura 161. Opción de guardado de matriz de rigidez

Esta opción permitirá guardar un archivo con extensión \*.txt, asignar un nombre y elegir la dirección donde desea guardar el archivo el usuario.

- V. Botón Atrás, esta opción permitirá al usuario cerrar la ventana de visualización de las matrices de rigidez y regresar a la ventana de AEstruct2D para el análisis de marcos planos.

### 2.5.14 Visualización Del Grafico De La Estructura

Si el usuario ingresa correctamente los grados de libertad de los elementos de la estructura, se apreciara en el espacio de vista previa los ejes y cuadrícula del gráfico, además mientras se realice el llenado de las coordenadas de los nodos de cada elemento, los cambios se mostraran en el espacio de vista previa.

Al presionar el botón “Realizar Análisis” se visualizara el grafico completo de la estructura en el espacio de vista previa además de activarse el botón nombrado “Grafico de Estructura”, en este acápite se presentan las opciones de visualización, del gráfico, que AEstruct2D coloca a disposición del usuario.

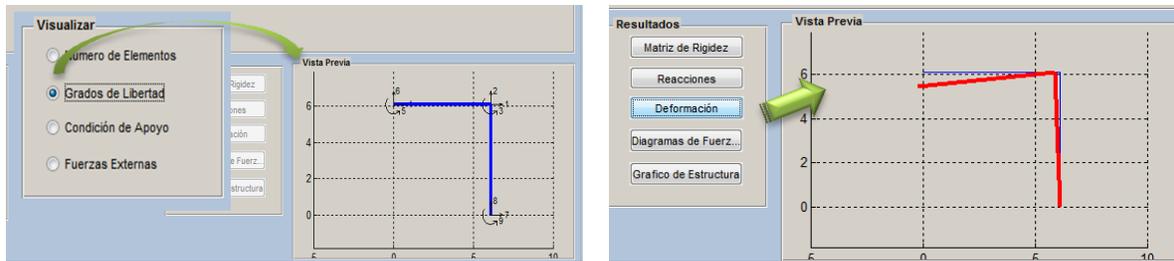
#### Vista Previa

La opción de vista previa de la estructura, a como se mencionó anteriormente, muestra el grafico luego de la inserción de los grados de libertad de todos los elementos de la estructura. En esta se pueden apreciar el número y grados de libertad correspondientes a cada miembro, además de los apoyos y cargas asignadas a la estructura, esto gracias a las opciones del panel denominado “Visualizar” tal y como se ilustra en las figuras 162 (a).

Las opciones del panel visualizar son exclusivas para la vista previa de la estructura y estas podrán ser activadas una a la vez, es decir que se presentaran uno a uno los términos anteriormente mencionados.

Los botones “Número de Elementos” y “Grados de Libertad” se activaran luego de ser presionado el botón “Aceptar” y los botones “Condición de Apoyo” y “Fuerzas Externas” se activaran posteriormente a la asignación de las restricciones de la estructura.

Además en el panel de resultados se presentan los botones “Reacciones” y “Deformación” los cuales mostrarán, en la vista previa, las reacciones y deformación calculadas al realizar el análisis (Figura 162 (b)).



(a)

(b)

Figura 162. Visualización previa del gráfico de la estructura

### Ventana Emergente

Otra opción para la visualización del gráfico de la estructura, es comanda por el botón “Grafico de Estructura”, al activarlo aparecerá una ventana emergente, mostrada en la Figura 163.

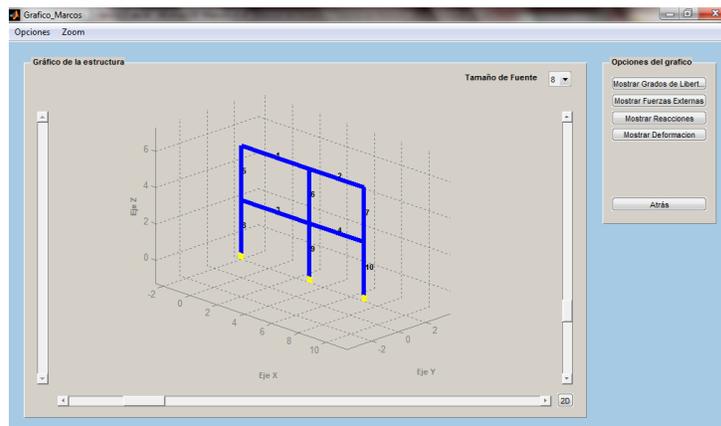


Figura 163. Ventana emergente para visualizar gráfico del marco

A continuación se muestran las opciones que esta ventana permite:

- Visualizar del gráfico a escala de la estructura.

El grafico a escala aparece cuando se abre la ventana, el color usado para la visualización de los elementos de la estructura es el azul, para cambiar de perspectiva existen barras deslizantes y un botón nombrado 2D, también existe otra barra deslizante para aumentar o disminuir la deformación de la estructura. Otro elemento para la visualización del grafico es el menú para cambiar el tamaño de la fuente de los textos dentro del gráfico. Estos elementos son mostrados en la Figura 164.

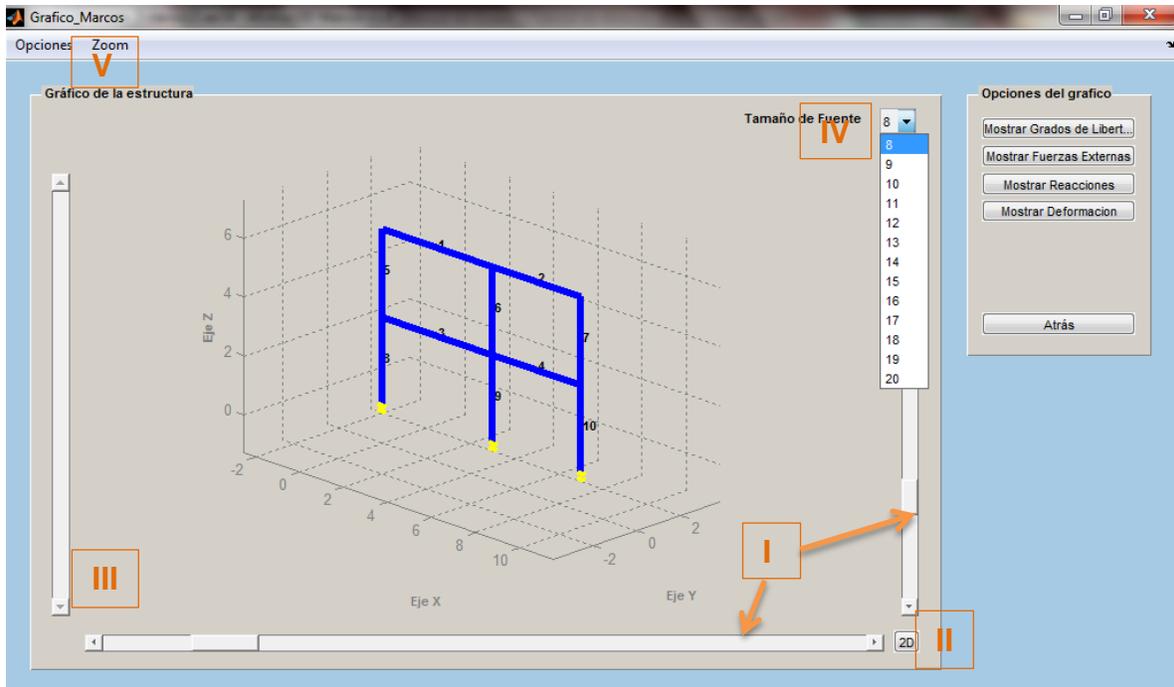


Figura 164. Elementos para la visualización de la estructura.

- I. Barras deslizables para cambiar la perspectiva del gráfico.
- II. Botón 2D, destinado para mostrar en un plano en dos dimensiones el gráfico de la estructura.
- III. Barra deslizable para aumentar o disminuir la deformación, esta barra solamente se activara si está siendo mostrando la deformación de la estructura.
- IV. Menú desplegable para cambiar el tamaño de la fuente de los textos dentro del gráfico. Este menú tiene las opciones de cambiar el tamaño de la fuente entre los tamaños del 8-20.
- V. Barra menús presenta las opciones de proyección, es decir cambiar la vista entre sentidos ortogonales y perspectiva y de opciones para cambiar el color de los ejes y la cuadrícula del gráfico, estos pueden ser visualizados en colores negro, blanco y gris usando los comandos Ctrl+1, Ctrl+2, Ctrl+3, respectivamente o bien desde la barra mostrada en la Figura 165 (a).

Además la barra de presenta la opción de acercamiento en el menú zoom visualizado en la Figura 165 (b), el cual al activarlo se podrá acercar o alejar cualquier detalle requerido del gráfico, al ejecutar esta función se activara el "Zoom In" o acercamiento dando clic en cualquier punto pero se podrá usar el alejamiento presionando la tecla "Shift" y dando clic sobre cualquier punto dentro del gráfico. También esta función puede ser ejecutada con el comando "Ctrl+Z".

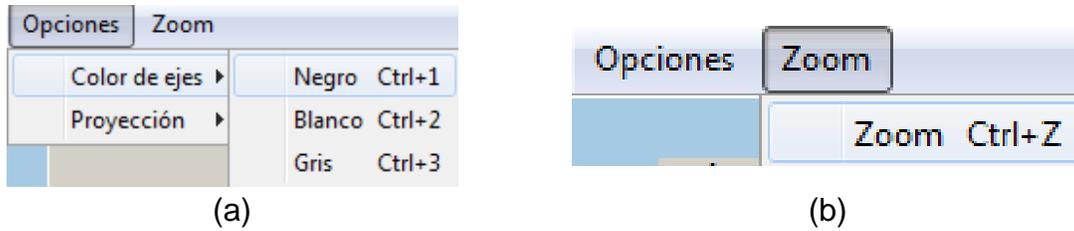


Figura 165. Barra de menús de ventana emergente de gráfico

- Observar la condición de apoyo de la estructura.

La condición de apoyo será mostrada cuando se abre la ventana. Estos apoyos serán mostrados en color amarillo tal y como se aprecia en la Figura 166.

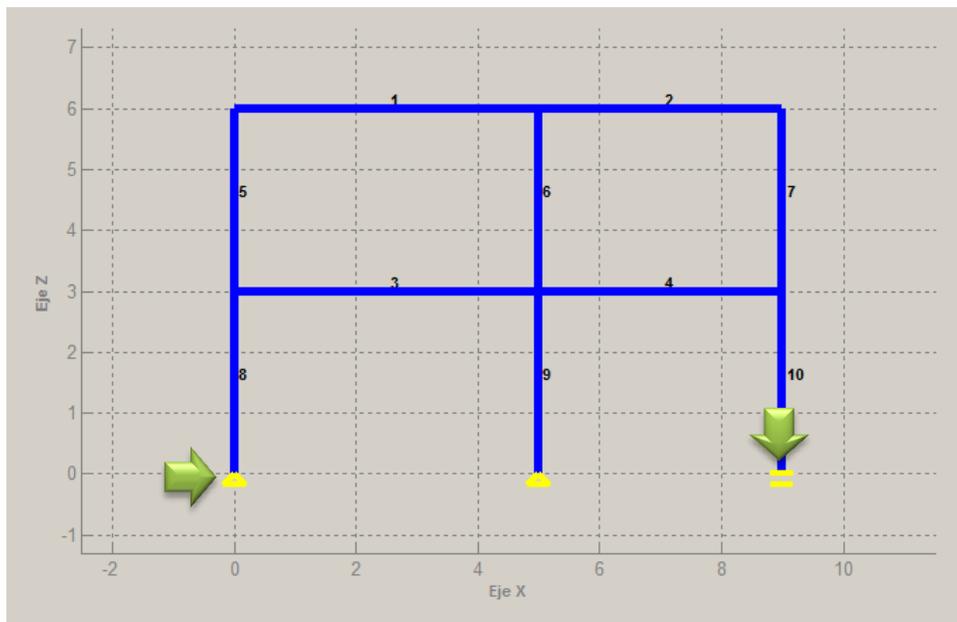


Figura 166. Tipos de apoyos de marcos.

- Apreciar la numeración asignada a cada elemento.

El número asignado a cada elemento será mostrado en la parte media del elemento con un color de fuente negro, el tamaño de la fuente podrá ser editado con el menú desplegable usado para tal fin.

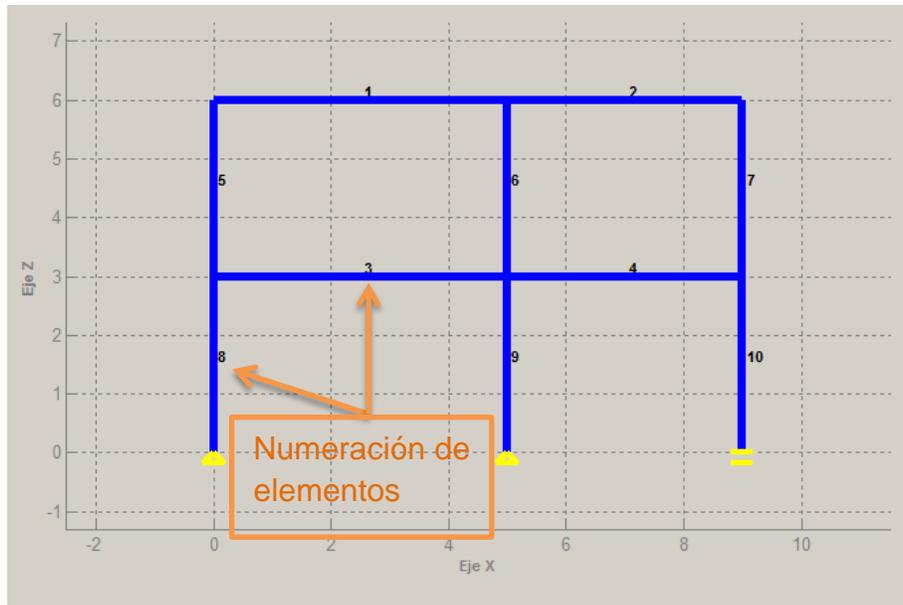


Figura 167. Numeración de elementos de la estructura

- Distinguir los índices de grados de libertad para cada nodo de la estructura.

En el panel de opciones de gráfico ubicado en la esquina superior derecha de la ventana se encuentra situado el botón para mostrar los grados de libertad de los nodos, tal y como lo muestra la Figura 168.

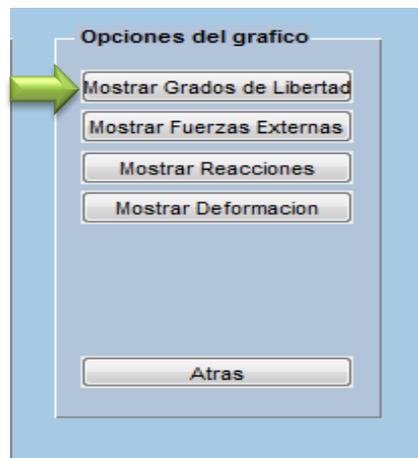


Figura 168. Botón para mostrar los grados de libertad de nodos

Al pulsar este botón se mostrarán los grados de libertad sobre el nodo correspondiente, de la forma mostrada en la Figura 169. A su vez si se vuelve a ejecutar este botón, se ocultarán los grados de libertad. A los índices de los grados de libertad se les podrá cambiar el tamaño de fuente con el menú de tamaño de fuente.

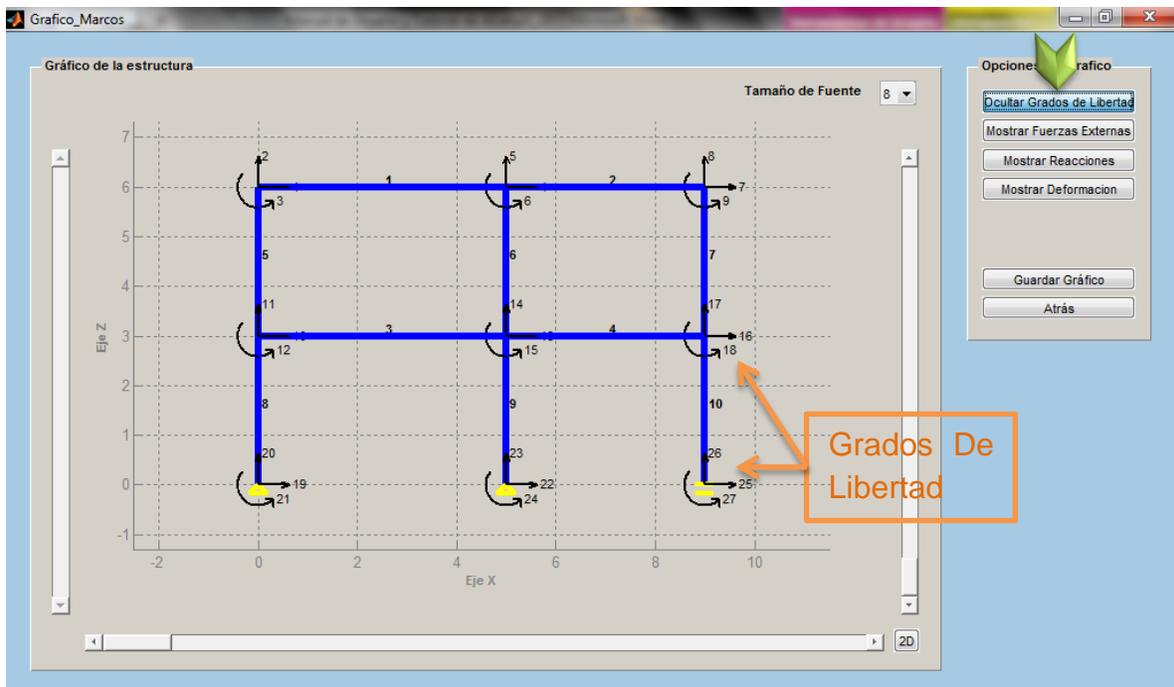


Figura 169. Grados de libertad de la estructura

- Ver las fuerzas externas aplicadas sobre la armadura.

La ventana de AEstruct2D destinada para mostrar el gráfico del marco, permite que el usuario observe las fuerzas externas exactamente en el punto donde son asignadas, estas fuerzas son representadas gráficamente con una flecha de color negro y un rotulo indicando la magnitud, para el caso de fuerzas puntuales, las cargas distribuidas son representadas con una continuidad de flechas, la forma dependerá del tipo de carga distribuida. A su vez si se vuelve a ejecutar este botón, se ocultaran estas cargas, es decir que el usuario puede hacer que las fuerzas aparezcan o desaparezcan presionando el botón que ejecuta esta opción. El tamaño del texto de este rotulo también podrá ser cambiado con el menú de tamaño de fuente.

La figura muestra un gráfico, indicando las fuerzas externas asignadas a un marco ilustrativo.

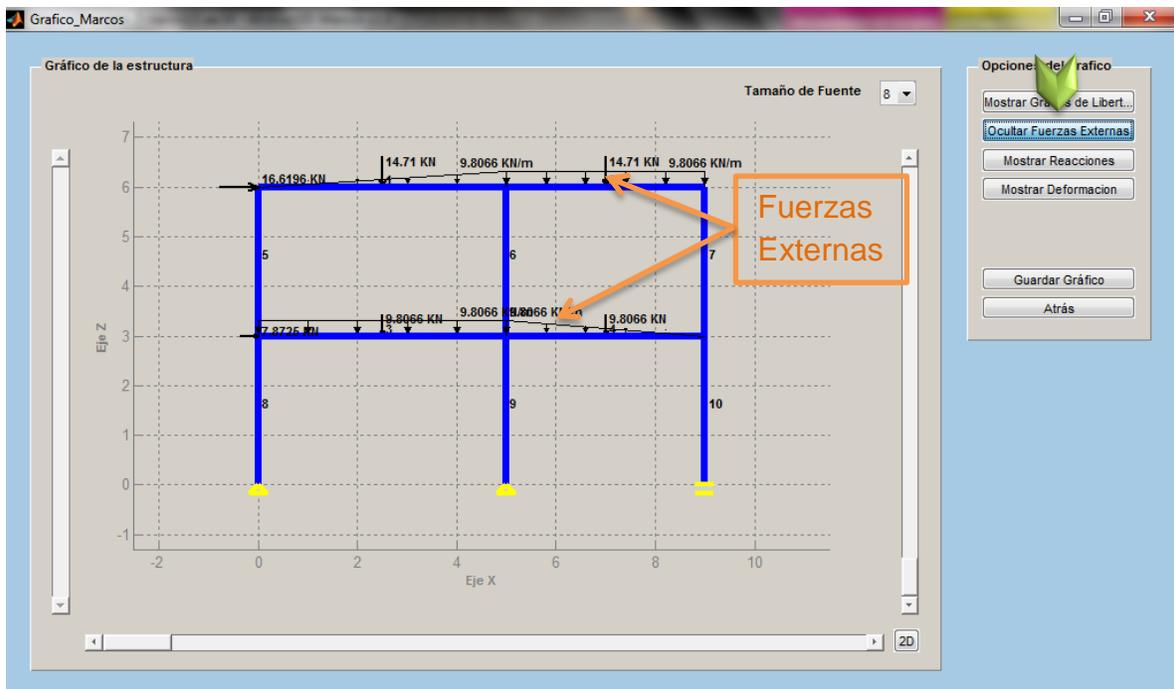


Figura 170. Fuerzas externas asignadas a la estructura

En la Figura 171, se puede apreciar la ventana que muestra el mensaje de error si el usuario no introduce fuerzas externas, y ordena que muestre las fuerzas externas.

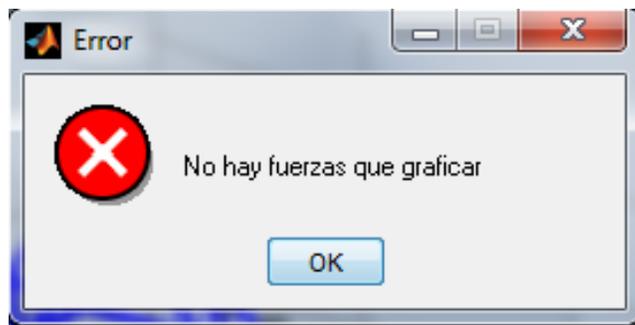


Figura 171. Mensaje de error al graficar fuerzas externas

- La visualización de las reacciones producidas por las cargas asignadas.

Dentro de las opciones de la ventana de AStruct2D destinada para mostrar el gráfico del marco bajo análisis, se permite que el usuario observe las reacciones en los apoyos producidas por las fuerzas externas asignadas, estas fuerzas son representadas gráficamente con color negro y un rotulo indicando la magnitud. Si se vuelve a pulsar este botón, se ocultaran estas fuerzas, es decir que el usuario puede hacer que las reacciones aparezcan o desaparezcan presionando el botón que ejecuta esta opción. El tamaño del texto de este rotulo también podrá ser cambiado con el menú de tamaño de fuente.

La figura muestra un gráfico, indicando las reacciones en los apoyos producidas por las fuerzas externas asignadas a un marco ilustrativo.

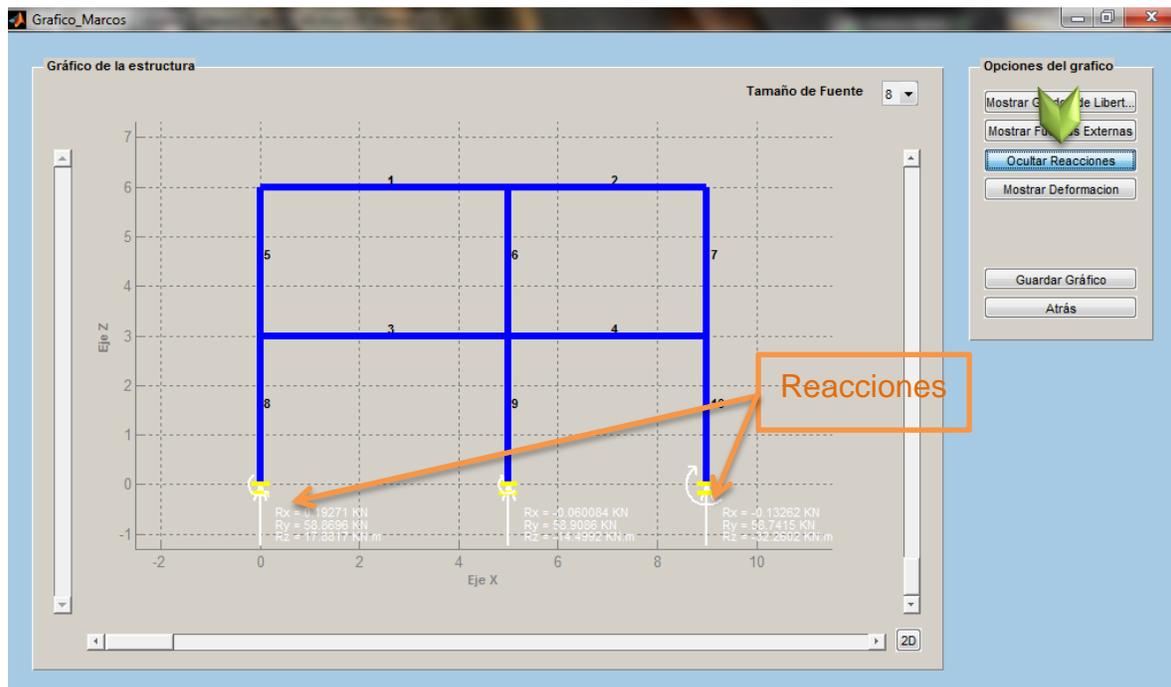


Figura 172.Reacciones inducidas por las fuerzas externas

En la Figura 173, se puede apreciar la ventana que muestra el mensaje de error si el usuario no introduce fuerzas externas, y ordena que muestre las reacciones de la estructura.

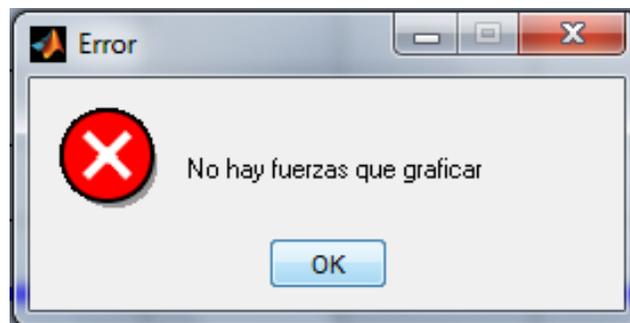


Figura 173.Mensaje de error al graficar reacciones

- Ver la deformación de la estructura.

El panel de opciones de gráfico se encuentra el botón “Mostrar Deformación”, el cual mostrara la estructura deformada superpuesta al gráfico de la estructura sin la acción de cargas, los elementos de la estructura deformada se mostraran con líneas del color rojo, la deformación al igual que los casos anteriores podrá ser mostrada y ocultada por el usuario usando el botón antes mencionado.

Al ejecutar la función para mostrar la deformación la barra deslizante ubicada en el lado izquierdo de la ventana se activara, con esta barra el usuario podrá aumentar o disminuir la deformación de la estructura para una mejor apreciación de esta.

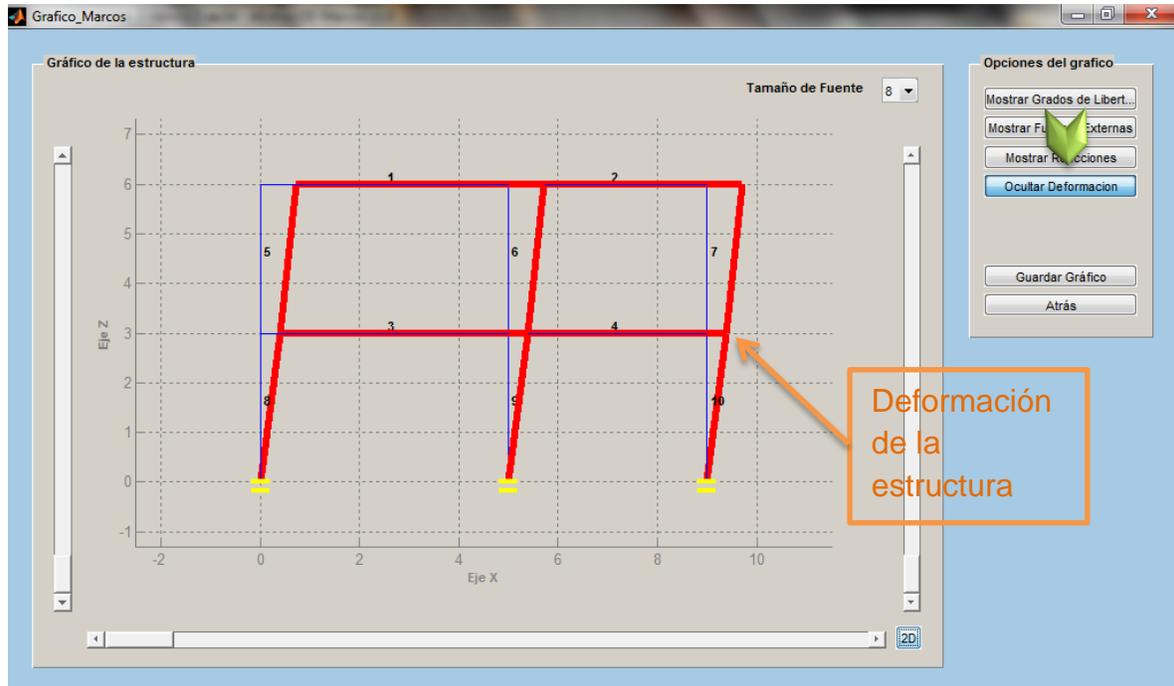


Figura 174. Deformación de la estructura provocada por las fuerzas externas

En la Figura 175, se puede apreciar la ventana que muestra el mensaje de error si el usuario no introduce fuerzas externas, y ordena que muestre la deformación de la estructura.

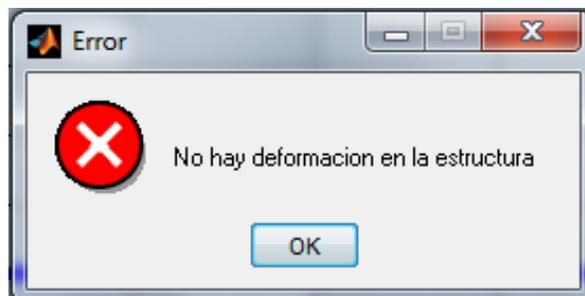


Figura 175. Mensaje de error al graficar deformación de la estructura

- Apreciar los desplazamientos para cada grado de libertad.

El usuario tendrá la opción de visualizar los desplazamientos, en los nodos de la estructura, al dar clic cerca del nodo del que desea conocer los desplazamientos, si no puede apreciar los desplazamientos del nodo puede ser que esté dando clic sobre algún elemento o muy distante del nodo. Los desplazamientos mostrados

estarán dados en la unidad de medida seleccionada en la ventana de análisis para marcos de AEstruct2D.

La Figura 176, muestra la forma en que el usuario puede apreciar los desplazamientos de la estructura en la ventana emergente de gráfico.

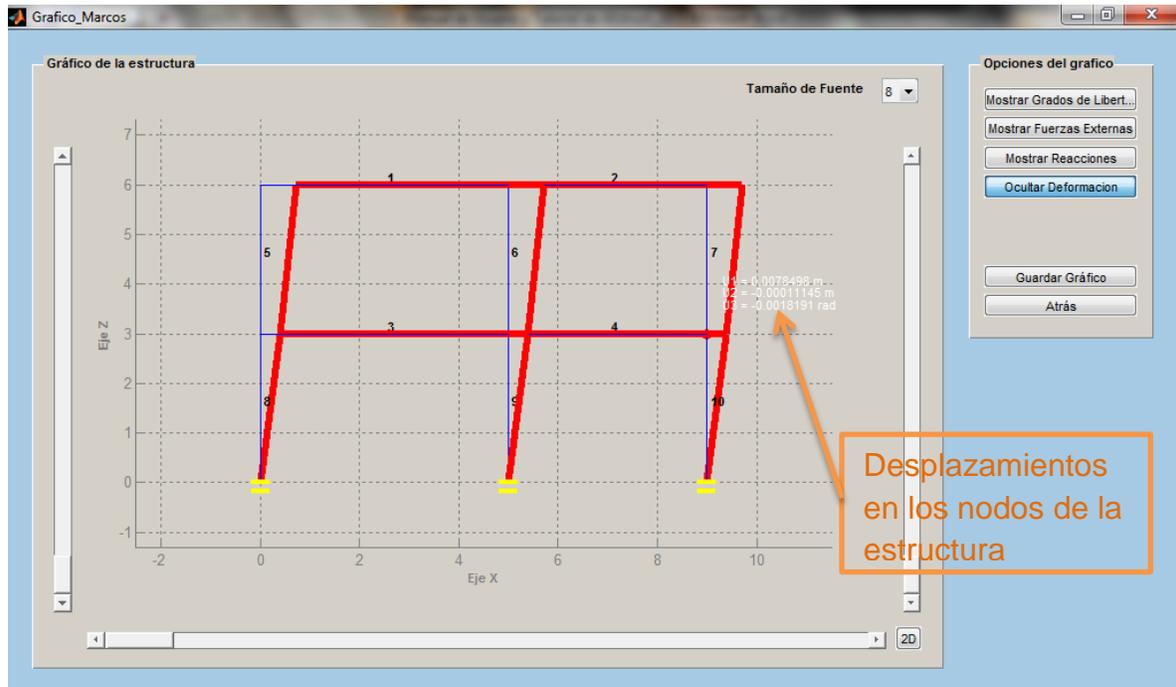


Figura 176. Desplazamientos nodales de la estructura

#### ■ Botón “Atrás”

Esta opción permitirá al usuario regresar la ventana para el análisis de marcos y cerrar la ventana para visualización del gráfico de la estructura.

### 2.5.15 Fuerzas Internas En Cada Elemento

Concerniente a la visualización de las fuerzas internas para cada elemento de la estructura, AEstruct2D presenta la opción de observar estos resultados en una ventana emergente. Luego de ingresar las reacciones sobre la estructura y de su inmediato análisis, se activara el botón “Diagrama de Fuerzas”, el cual al ser presionado mostrara la ventana que se aprecia en la Figura 177. En él se podrán ver los gráficos de fuerzas cortantes y momentos flexionantes para toda la longitud de cada elemento de la estructura.

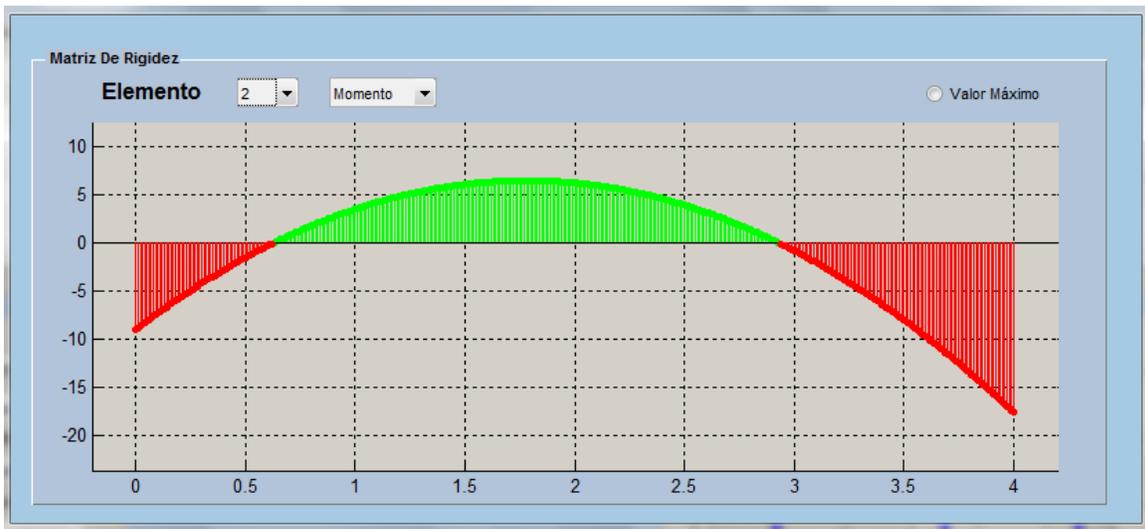


Figura 177. Visualizar fuerzas internas producidas en los elementos.

Los valores rojos que se aprecian en el diagrama indican valores negativos y los de color verde indican valores positivos tanto para momentos flexionantes como para fuerzas cortantes.

Esta ventana está constituida por las opciones:

- Selección del elemento

Para la selección del elemento del cual se pretende observar las fuerzas internas, se presenta un menú seleccionable, que presenta todos los elementos de la estructura, al abrir la ventana se visualizara el diagrama de cortante del elemento número uno. La Figura 178, muestra el menú antes referido.



Figura 178. Menú para selección de elemento

Una vez indicado el elemento se mostrara el diagrama seleccionado en el menú de selección del tipo de diagrama.

#### ■ Elección del tipo de diagrama

AStruct2D presenta la visualización de los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes para cada elemento, en esta ventana la selección del tipo de diagrama a observar se realiza mediante el empleo de un menú de selección mostrado en la Figura 179.



Figura 179. Menú para selección de tipo de diagrama

Una vez indicado el tipo de diagrama, se mostrara para el elemento seleccionado en el menú de selección de elementos, el diagrama indicado.

- Observar valores en cualquier punto sobre el elemento

La observación de los valores de cortante o momento a lo largo del elemento, se podrá llevar a cabo con solamente dando clic, sobre el espacio del gráfico, este clic deberá darse fuera del diagrama, mostrando dos líneas (vertical y horizontal) de color blanco indicando el punto sobre el diagrama, tal y como se aprecia en la Figura 180. Además en la parte superior derecha de la ventana aparecerá un texto indicando la magnitud del valor solicitado (cortante o momento) y la distancia del punto medida desde el nodo izquierdo para elementos horizontales o desde el nodo inferior para elementos verticales.



Figura 180. Apreciación de valores de fuerzas internas

- Visualización del máximo valor

Para localizar el valor máximo para el diagrama mostrado, en la ventana se ubica un botón seleccionable, el cual al ser presionado mostrara las líneas de color blanco, indicando el punto sobre el máximo valor en el gráfico. Además en la parte superior derecha de la ventana aparecerá un texto indicando la magnitud del valor máximo solicitado (cortante o momento) y la distancia del punto medida desde el nodo izquierdo para elementos horizontales o desde el nodo inferior para elementos verticales (ver Figura 181).

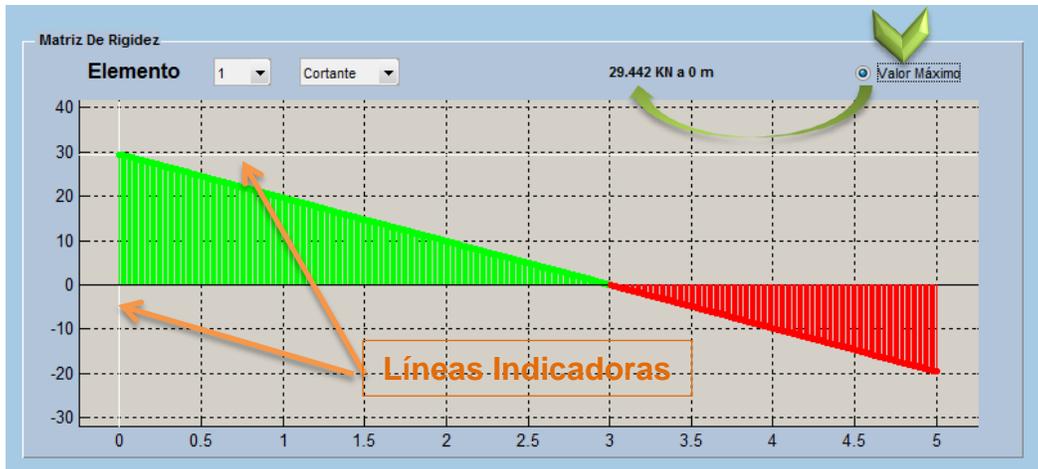


Figura 181. Visualización del máximo valor de cortante o momento

### 2.5.16 Opciones De Barra De Menús

A como se ha expuesto anteriormente, en la parte superior de la ventana principal de AEstruct2D en el módulo de análisis de marcos planas se encuentra una barra de menús (ver Figura 182), esta barra contiene opciones para el manejo de archivos, opciones para el análisis, apariencia del programa y una sección de ayuda.

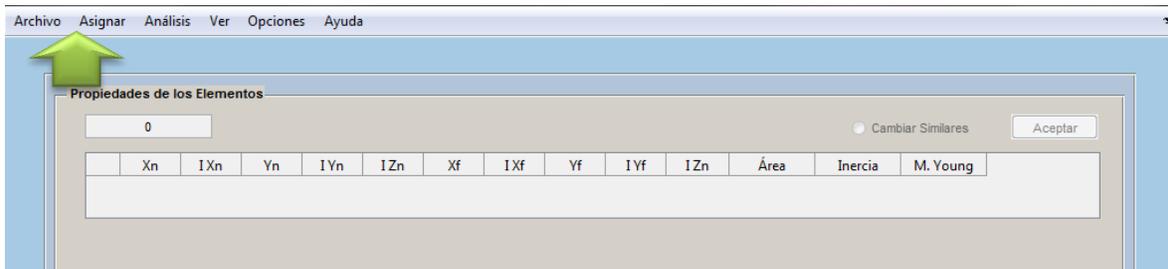


Figura 182.Ubicación de barra de menús

- Opciones para el manejo de archivo.

La Figura 183 muestra las opciones para el manejo de archivo ubicadas en la barra de menús del módulo para análisis de marcos planos de AEstruct2D.

Archivo	Asignar	Análisis	Ver	Opci
Nuevo				Ctrl+N
Abrir				Ctrl+O
Guardar				Ctrl+G
Guardar como				Ctrl+S
Exportar a Excel				
Regresar a ventana principal				
Salir				Ctrl+W

Figura 183.Opciones para el manejo de archivo

#### a) Nuevo Archivo

La función “Nuevo Archivo” estará inactiva cuando se abre la ventana para analizar marcos de AEstruct2D y se activara posteriormente a la introducción del Número de elementos, cuando esta función sea ejecutada aparecerá el cuadro de dialogo mostrado en la Figura 184.

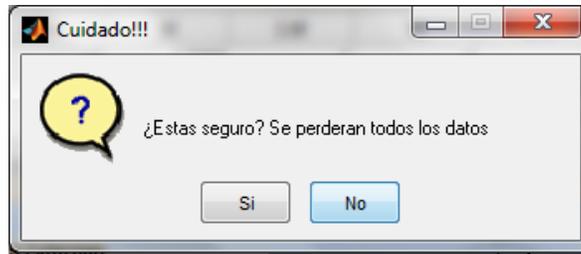


Figura 184. Cuadro de dialogo mostrado al ejecutar la función Nuevo Archivo

Si el usuario responde con la opción “SI”, entonces se borrarán todos los datos ingresados al programa hasta ese momento, en caso contrario, es decir que el usuario responda con la opción “NO” entonces, no ocurrirá ningún cambio en el análisis. Esta función también puede ser ejecutada presionando las teclas “Ctrl+N”.

#### b) Abrir archivo

Abrir, Regresar a la ventana principal y Salir son la únicas opciones, para el manejo de archivo, que aparecerán activa cuando se abra la ventana para analizar marcos de AStruct2D, cuando esta sea ejecutada la función “Abrir” permitirá cargar un archivo, previamente guardado por el usuario, la ventana que aparecerá es mostrada en la figura. Esta función también puede ser ejecutada presionando la tecla “Ctrl+O”.

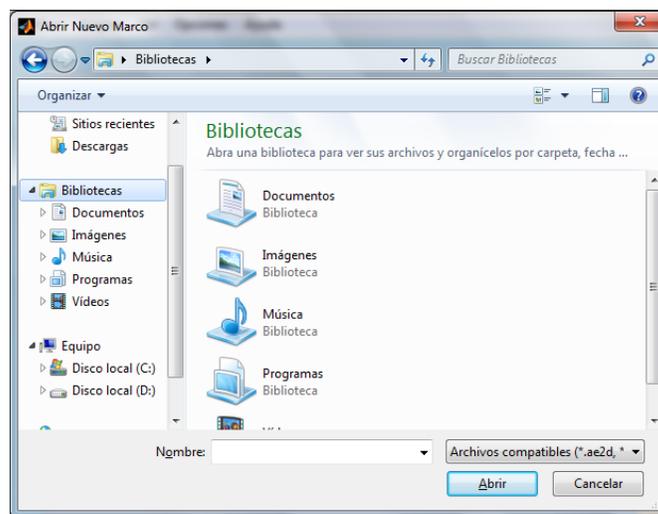


Figura 185. Cuadro para Abrir Nuevo Marco

En esta ventana el usuario podrá introducir la dirección donde se encuentra ubicado el archivo, seleccionar el formato del archivo, como criterio de búsqueda e introducir el nombre del archivo que pretende abrir. Este cuadro también tiene la opción de cancelar la acción abrir.

Si el usuario tiene un archivo abierto y ejecuta la función “Abrir”, aparecerá el cuadro de dialogo que se muestra en la Figura 186, preguntando si el usuario desea guardar el archivo antes de continuar con la operación.

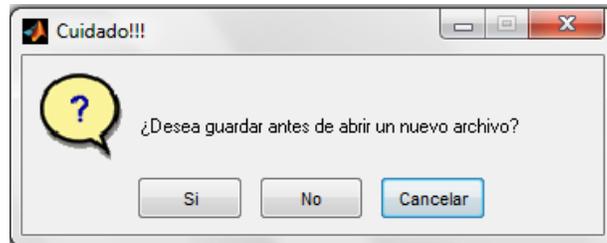


Figura 186. Cuadro de dialogo para abrir un nuevo archivo

Si el usuario responde “Si” se ejecutara la función “Guardar como”, de la cual se abordara posteriormente, si responde “No” perderá los datos asignados y si indica la opción “Cancelar” no perderá los datos asignados y continuara con el análisis.

Los formatos \*.txt, \*.mat, \*.ae2d, estos archivos deben tener una configuración interna especifica si el archivo es editado inadecuadamente o el archivo no posee la configuración especifica AStruct2D no podrá cargar el archivo y se mostrar el mensaje mostrado en la Figura 187.

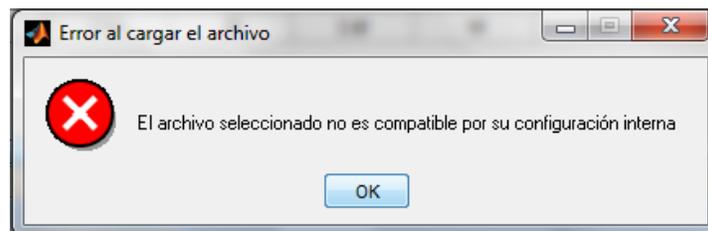


Figura 187. Error al cargar archivo

Otros posibles errores que pueden ocurrir al intentar abrir un archivo son:

- El archivo seleccionado posea valores no numéricos, es decir que este error ocurrirá si el archivo posee textos en lugar de un número.



Figura 188. Error al cargar archivo con valores no numéricos

- b. Uno o más de los índices de los grados de libertad del archivo que intenta cargar es negativo.

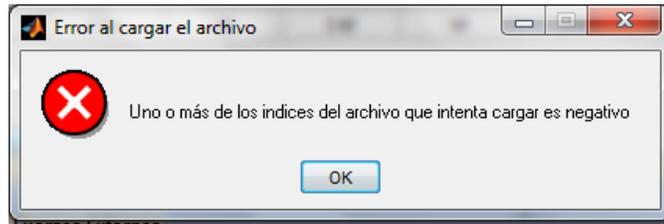


Figura 189. Error al cargar valores de grados de libertad

- c. En los datos de las Áreas o Módulos de Elasticidad se encuentren valores negativos.

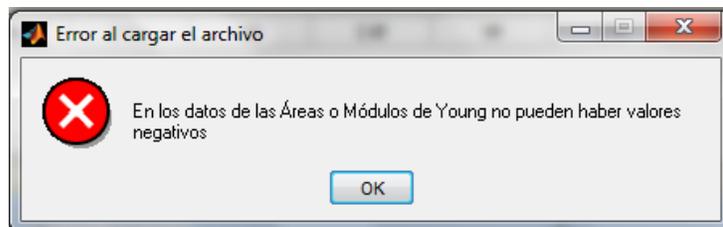


Figura 190. Error al cargar valores de Áreas o Módulos de Elasticidad

- c) Guardar archivo

La opción de guardar se activara cuando se inserten todos los datos de geometría de la estructura, Esta función también puede ser ejecutada presionando el comando "Ctrl+G". Al guardar un archivo en la esquina inferior izquierda de la ventana aparecerá un mensaje indicando la ubicación y el nombre del archivo.

Esta función guardara los cambios efectuados a un archivo existente, en el caso de que el análisis no se haya guardado se ejecutara la función "Guardar como", expuesta a continuación.

- d) Guardar como

Esta función también puede ser ejecutada presionando las teclas "Ctrl+S" y permitirá guardar un archivo en los formatos \*.txt, \*.mat, \*.ae2d, estos archivos tendrán una configuración interna específica, la cual contendrá los datos de geometría de la estructura. La figura muestra el cuadro de dialogo que aparecerá al ejecutar la función "Guardar como".

En esta ventana el usuario podrá introducir la dirección donde ubicara el archivo, seleccionar el formato del archivo, e introducir el nombre del archivo que pretende guardar. Este cuadro también tiene la opción de cancelar la acción.

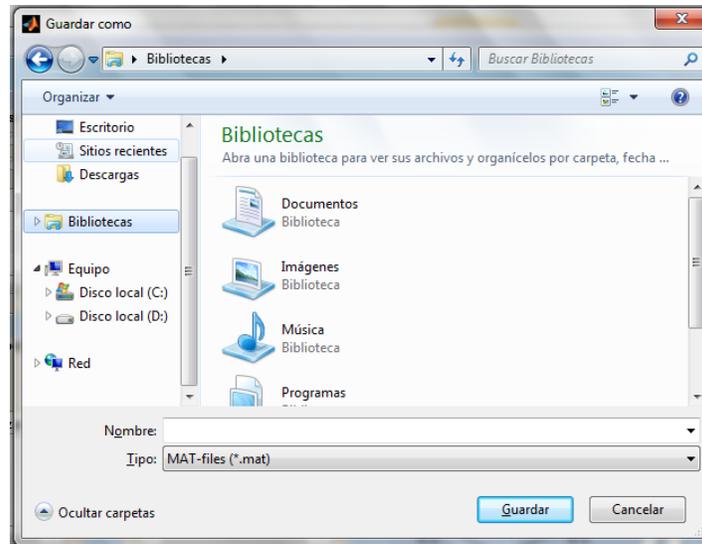


Figura 191. Cuadro guardar marco en análisis

## e) Exportar a Excel

Esta función se activará una vez sean introducidas las restricciones en la estructura, la cual al ser ejecutada creará un archivo con extensión \*.xlsx. El archivo tendrá contenidas las matrices de rigidez de cada elemento, la matriz de Rigidez Global de la estructura, los desplazamientos y reacciones de la estructura para cada grado de libertad y las fuerzas internas de cada elemento. Además de crear el archivo esta función abrirá el archivo al ser ejecutada. Este archivo será nombrado por el usuario y además este podrá ubicarlo dentro de su ordenador en la dirección que desee solo tendrá que especificar estos datos en un cuadro de diálogo similar al cuadro de la función “Guardar como”.

## f) Regresar a la ventana principal

Como su nombre lo indica esta opción permitirá regresar a la ventana principal de AEstruct2D y cerrar el módulo de análisis de marcos planos.

## g) Salir

Ejecutada también por el comando “Ctrl+W”, la función salir permitirá que el usuario cierre la ventana de AEstruct2D para análisis de marcos, si el usuario estableció el número de elementos de la estructura, entonces aparecerá el cuadro de diálogo mostrado en la Figura 192, si se presiona la opción “SI” se ejecutará la opción “Guardar como” y cuando finalice el guardado se cerrará el programa, en caso contrario el programa se cerrará sin guardar los avances hasta ese momento.

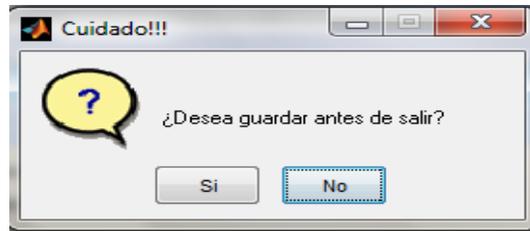


Figura 192. Cuadro de dialogo al ejecutar la función salir

### ■ Menú “Asignar”

La barra de menús presenta el menú “Asignar” con las opciones mostradas en la Figura 193, esta opciones abarcan la asignación de datos en los elementos, nodos y la activación del análisis sísmico por el Método Estático Equivalente.

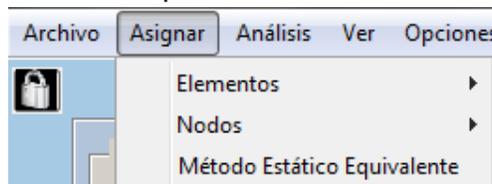


Figura 193. Menú Asignar

La asignación de datos a los elementos presenta las opciones de establecer Propiedades, asignar cargas puntuales, distribuidas, y momentos flexionantes sobre los elementos.

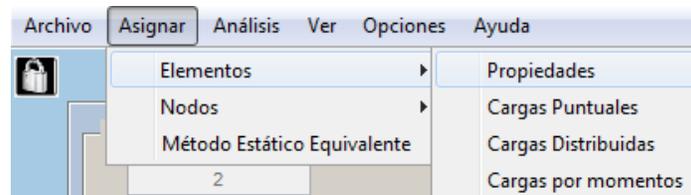


Figura 194. Asignación de datos a los elementos de la estructura

- Propiedades de elementos, esta opción ejecuta la función de “Asignar Propiedades A Elementos Del Marco”, para información de esta función se deberá referir al inciso 2.5.3 de este documento.
- Cargas Puntuales, esta opción ejecuta la función de “Inserción De Cargas Puntuales Sobre Los Elementos”, para información de esta función se deberá referir al inciso 2.5.8 de este documento.
- Cargas Distribuidas, esta opción ejecuta la función de “Asignación De Cargas Distribuidas Sobre Los Elementos”, para información de esta función se deberá referir al inciso 2.5.9 de este documento.
- Cargas por momento, esta opción ejecuta la función de “Asignación De Momentos Puntuales Sobre Los Elementos”, para información de esta función se deberá referir al inciso 2.5.10 de este documento.

La asignación de datos a los nodos presenta las opciones de establecer Restricciones, asignar fuerzas y desplazamientos en el nodo.

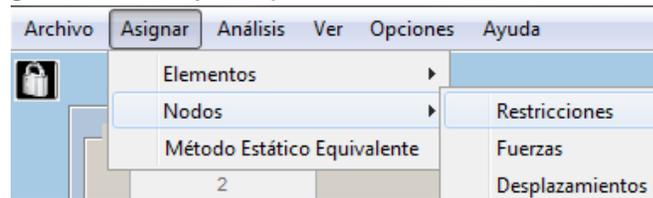


Figura 195. Asignación de datos a los nodos de la estructura

- La opción Restricciones ejecutara la función “Asignación De Restricciones En Los Nodos” para obtener información sobre esta función revisar el inciso 0.
- La opción Fuerzas ejecutara la función “Asignación De Fuerzas Puntuales Sobre Nodos” para obtener información sobre esta función revisar el inciso 2.5.6.
- La opción Desplazamientos ejecutara la función “Introducción De Desplazamientos En Nodos” para obtener información sobre esta función revisar el inciso 2.5.7.

La última opción presentada por el menú “Asignar”, es la activación del Método Estático Equivalente, esta función permitirá activar el botón que ejecuta el Análisis Sísmico, donde se asignan los datos para el cálculo de fuerzas laterales debidas a sismo. Para más información ver el apartado 2.5.11 de este documento.

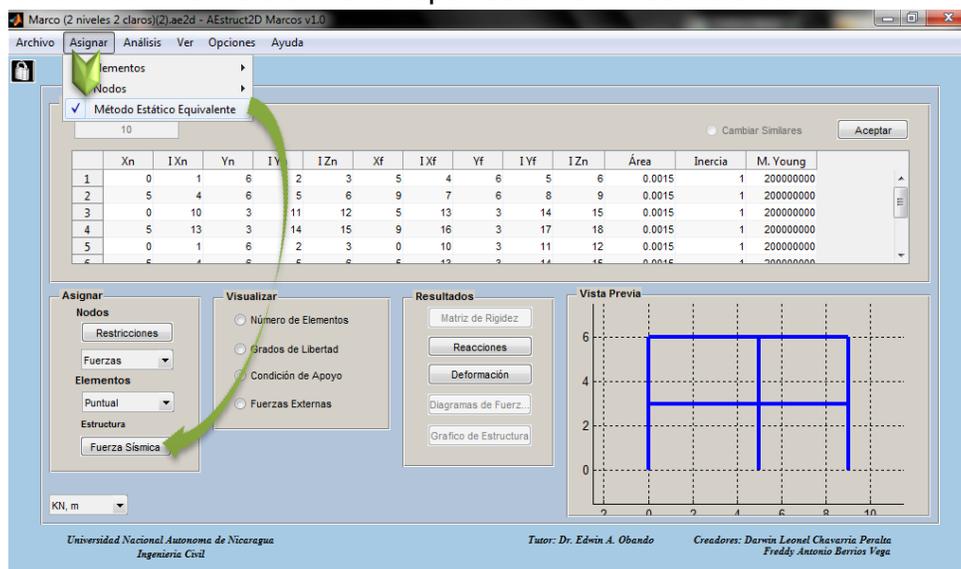


Figura 196. Activación del Método Estático Equivalente

### ■ Menú “Análisis”

Este menú ejecutara la función descrita en el inciso 2.5.12 de este manual.

### ■ Menú “Ver”

También la barra de menús presenta el menú “Ver” con las opciones mostradas en la Figura 197, esta opciones abarcan la visualización de la matriz de rigidez de la estructura, el grafico de la estructura y diagramas de los elementos.

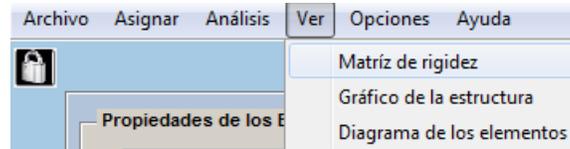


Figura 197.Opciones del menú Ver

- La opción Matriz de rigidez ejecutara la función “Obtención De Matriz De Rigidez” para obtener información sobre esta función revisar el apartado 2.5.13.
- La opción Grafico de la estructura ejecutara la función “Visualización Del Gráfico De La Estructura” para obtener información sobre esta función revisar el inciso 2.5.14.
- La opción Diagrama de los elementos ejecutara la función “Fuerzas Internas En Cada Elemento” para obtener información sobre esta función revisar el inciso 2.5.15.

### ■ Menú “Opciones”

Esta función permitirá el cambio de la apariencia de la ventana de AEstruct2D tanto para el módulo de análisis de armaduras como el de marcos, es decir que los cambios efectuados repercutirán en la apariencia de ambos módulos. Esta función presenta el menú mostrado.

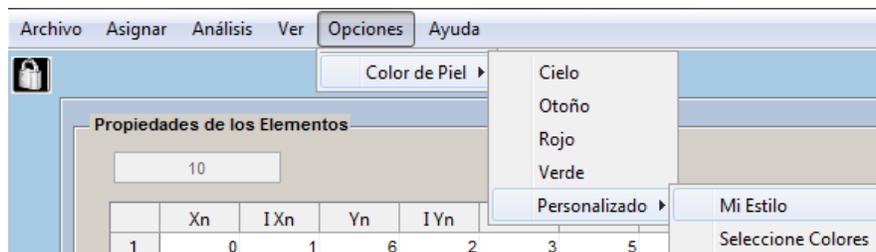


Figura 198.Menú para el cambio de apariencia de AEstruct2D

Los elementos que componen este menú son estilos para la ventana definidas por los creadores del programa pero el usuario podrá manipular la apariencia con la opción “Personalizado” creando un estilo con la función seleccione colores que desplegará el cuadro mostrado en la Figura 199.



Figura 199. Selección de colores de ventana

En este cuadro se seleccionara el color del primer, segundo y tercer plano, botones y tablas, es decir que este cuadro aparecerá cinco veces e inmediatamente se seleccione el color de las tablas cambiara la apariencia de la ventana.

La apariencia de la ventana seleccionada en esta opción aparecerá cada vez que sea ejecutado el programa, siempre y cuando no se haya cambiado antes.

#### ■ Sección de ayuda.

La Figura 200 muestra las opciones para auxiliar al usuario al momento de manipular la herramienta AStruct2D.

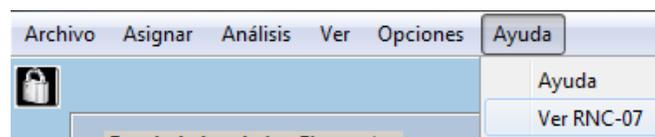


Figura 200. Opciones para sección de ayuda

La sección de ayuda tiene las siguientes opciones:

#### a) Ayuda

La opción de ayuda, muestra este documento para que el usuario pueda guiarse al momento de realizar un análisis. Si el usuario no tiene instalado un lector de archivos con la extensión \*.pdf no podrá visualizar el archivo.

b) Ver RNC-07

Esta opción permitirá visualizar el Reglamento Nacional de Construcción de Nicaragua (RNC-07), el cual será abierto por un lector de archivos con la extensión \*.pdf. Esto con la finalidad de auxiliar al usuario al momento de realizar el análisis por fuerza sísmica.

## UNIDAD 3: TUTORIAL

Este tutorial pretende ayudar a los usuarios a familiarizarse con AEstruct2D v1.0. Cuatro estructuras (dos armaduras planas y dos marcos planos) se presentan para guiar a los usuarios a través de las diversas características de AEstruct2D. Es recomendado que los ejemplos sean seguidos en el orden que aparece en el manual de instrucciones.

### 3.1 Ejemplo De Análisis De Armaduras Planas.

En esta sección se mostrara la resolución, paso a paso, de análisis estructurales a dos armaduras planas las cuales se encuentran indicadas en el libro de Análisis Estructural R. C. Hibbeler (Tercera edición).

#### 3.1.1 Armadura I

##### Descripción De La Estructura

Se realizara el análisis a la armadura plana (*Ejercicio 9 – 27 R.C.Hibbeler*) mostrada en la Figura 201, pretendiendo encontrar las fuerzas en cada miembro de la estructura. El área transversal de cada miembro se indica en la figura.  $E = 29(10^3)Ksi$ . Suponiendo que los miembros están articulados en los extremos.

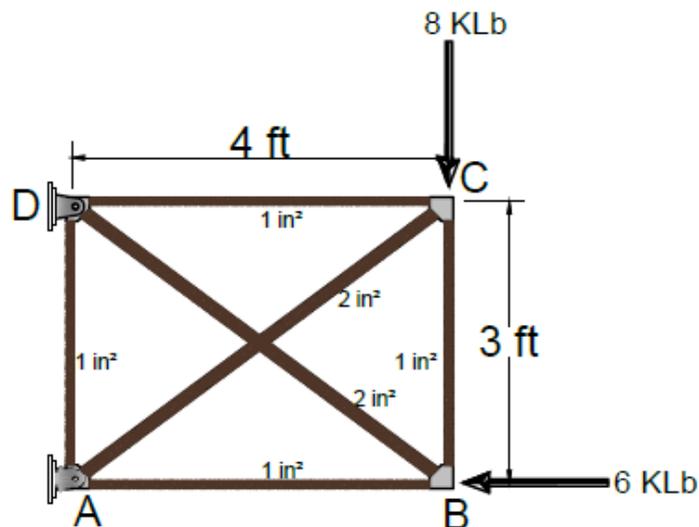


Figura 201. Armadura I – Grafico

### Datos De Entrada

Aquí se presentan los datos requeridos por el método de rigidez para analizar la armadura;

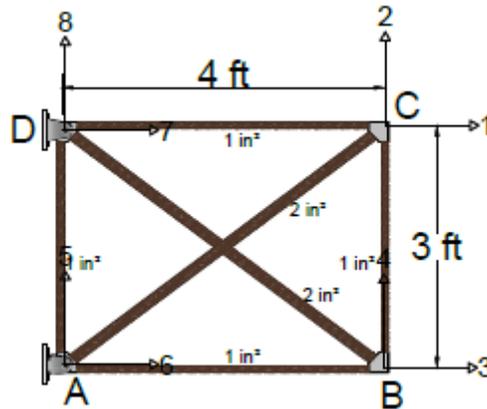


Figura 202. Armadura I - Grados de libertad y sentidos de análisis

Tabla 1 Armadura I - Datos de geometría de los elementos

Número de Elementos	E 2.90e+04 ksi				Área (plg <sup>2</sup> )
Elemento	Coordenadas de los nodos de cada elementos				Área (plg <sup>2</sup> )
	Nodo cercano		Nodo lejano		
	x(plg)	y(plg)	x(plg)	y(plg)	
(1) AD	0	0	0	36	1
(2) DC	0	36	48	36	1
(3) CB	48	36	48	0	1
(4) BA	0	0	48	0	1
(5) AC	0	0	48	36	2
(6) DB	0	36	48	0	2

Tabla 2 Armadura I - Datos de nodos

Nodo	Grados de libertad	
A	6	5
B	1	2
C	3	4
D	7	8

Tabla 3 Armadura I – Desplazamientos y fuerzas

Desplazamientos conocidos		
Sentido	Magnitud (plg)	
6	0	
7	0	
8	0	
Fuerzas Externas		
Sentido	Magnitud (Klbs)	
1	-6	
4	-8	

### Inserción de datos en AEstruct2D

Luego de echar a andar AEstruct2D y seleccionar Armaduras como tipo de estructura a analizar, se le recomienda al usuario escoger las unidades de medidas en las cuales se ingresaran los datos. En este caso se seleccionara las unidades *Klbs.plg (Kip.in)*.

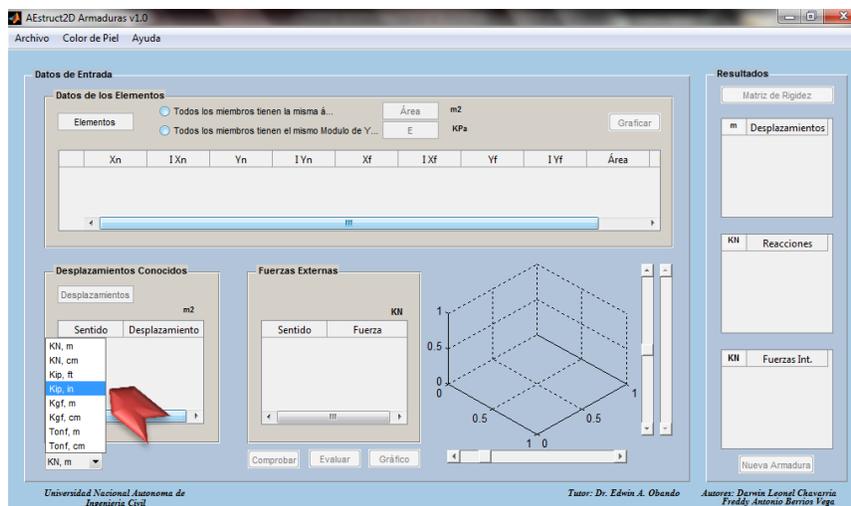


Figura 203. Armadura I - Definición de unidades

- Asignación del número de elementos de la estructura

El número de miembros de la armadura es igual a 6, valor que será ingresado a como se visualiza en la Figura 204.

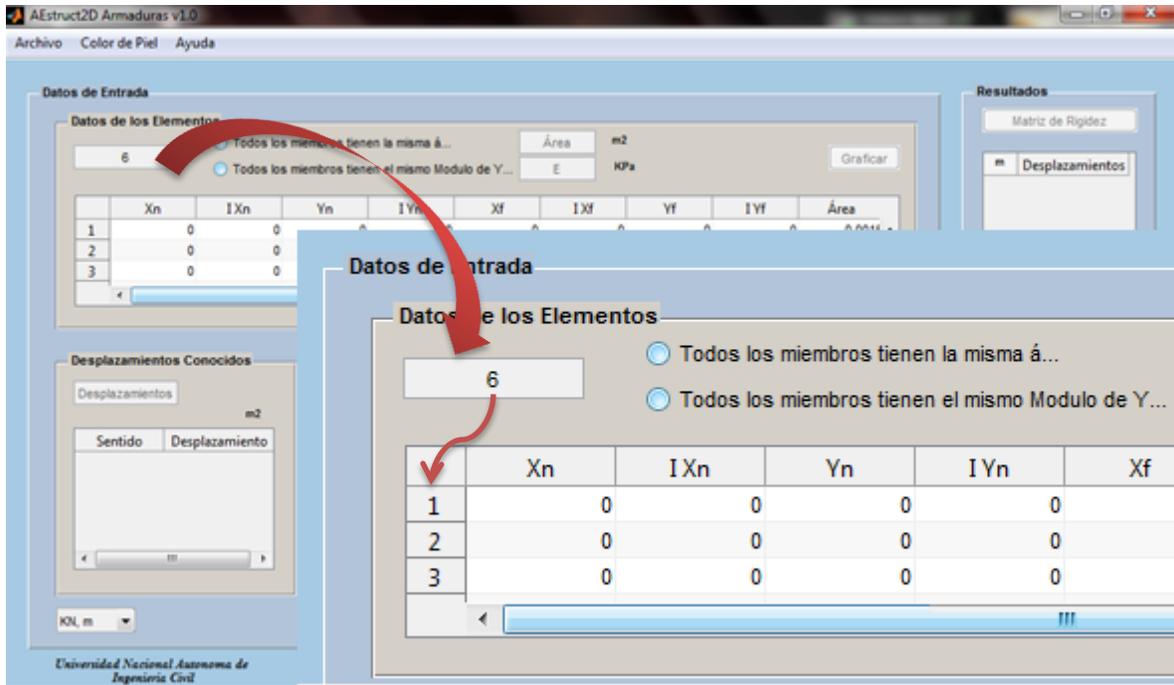


Figura 204. Armadura I – Número de miembros

#### ■ Datos de geometría de los elementos

Posterior a la introducción del número de elementos de la armadura, se procederá a introducir las coordenadas de los nodos, índices de grados de libertad, área y Módulo de elasticidad de cada miembro, esto se realizara tal y como se menciona en el Manual.

Como el Módulo de elasticidad de los miembros es el mismo entonces se indicara usando los ayudantes del llenado de la matriz de geometría, tal y como se muestra en la Figura 205.

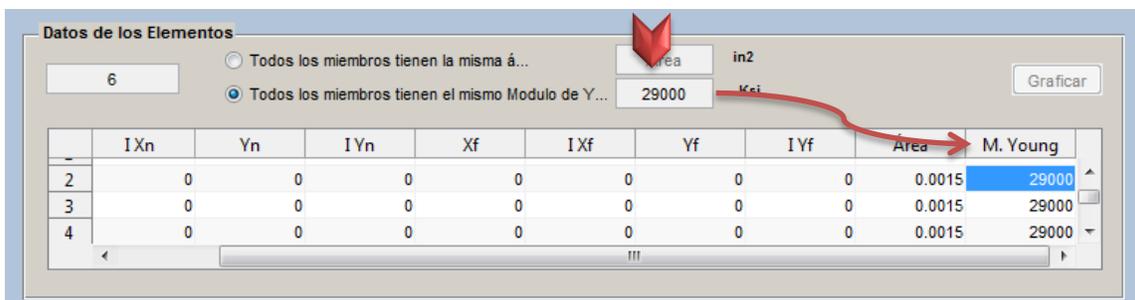


Figura 205. Armadura I – Módulo de Elasticidad

Al finalizar la inserción de datos se tendrá la matriz;

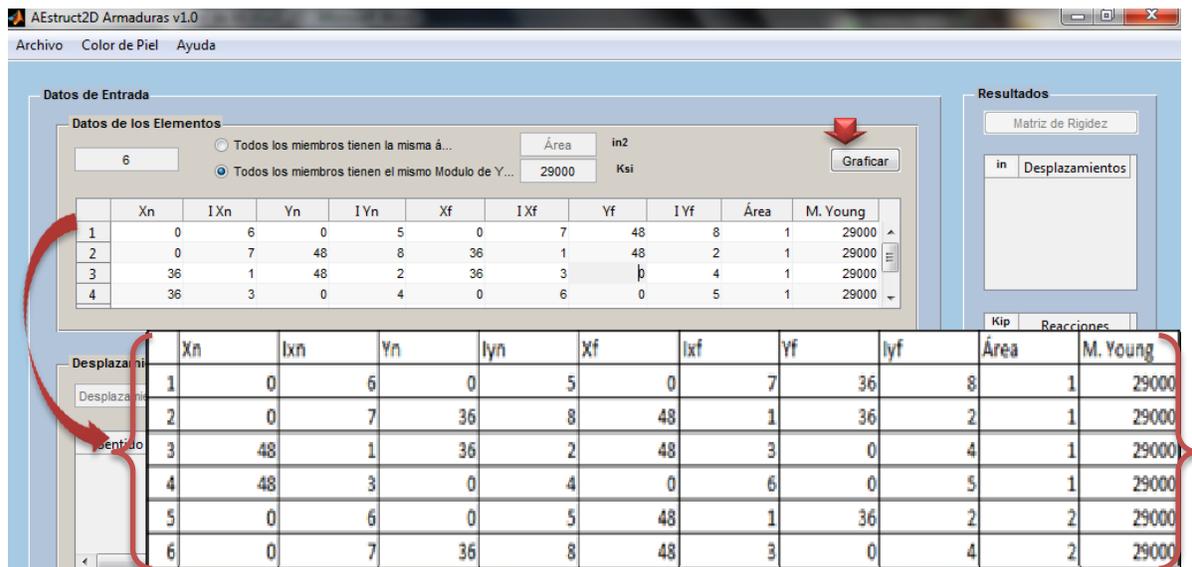


Figura 206. Armadura I – Datos de geometría de los miembros

#### ■ Visualizar estructura en AEstruct2D

Luego de la introducción de los datos de geometría se activa el botón “Graficar”, este permitirá observar en el cuadro de vista previa el grafico de la estructura.

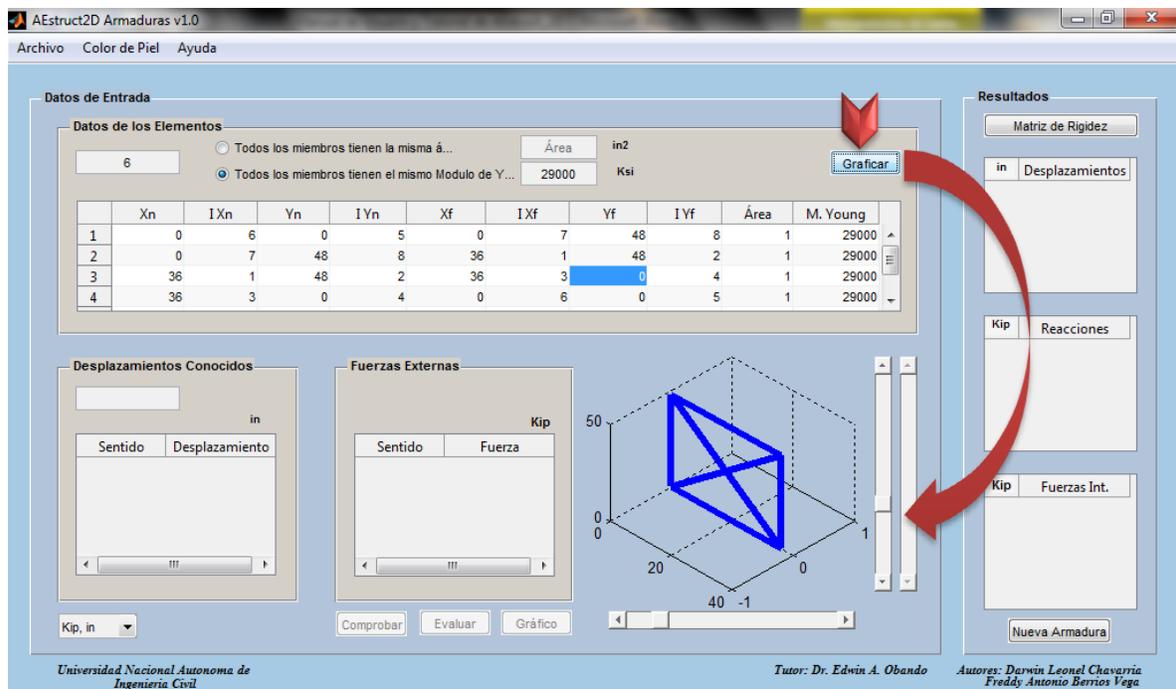


Figura 207. Armadura I – Graficar la armadura

### ■ Asignación de desplazamientos conocidos

Al presionar el botón “Graficar” se activara el cuadro para la inserción del número de desplazamientos conocidos, el cual para este caso es de 3.

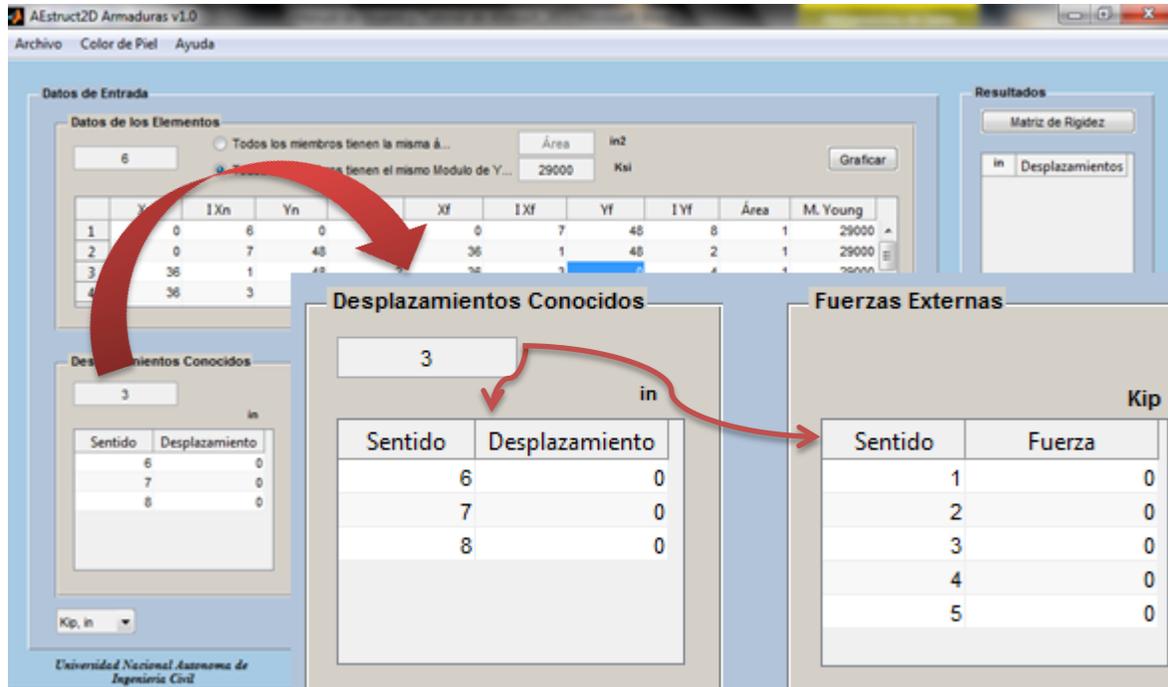


Figura 208. Armadura I – Número de desplazamientos conocidos

Al ingresar el número de desplazamientos conocidos se activaran las tablas para inserción de desplazamientos conocidos y de fuerzas externas. En la tabla para la inserción de desplazamientos conocido se cargaran desplazamientos en los sentidos de los grados de libertad de mayores índices, gracias al establecer los grados de libertad se siguió con las recomendaciones del método de rigidez los sentidos cargados por AEstruct2D coinciden con los sentidos de los desplazamientos conocidos para la estructura en análisis.

Para este caso los desplazamientos son iguales a cero por tanto se procederá a la introducción de las fuerzas externas.

### ■ Introducir Fuerzas Externas

A como se mencionó al ingresar el número de desplazamientos conocidos serán cargados sentidos de Fuerzas externas en los grados de libertad de menor índice. Siguiendo con la resolución del análisis se asignaran fuerzas de  $-6\text{ Klbs}$  y  $-8\text{ Klbs}$  en los grados de libertad 2 y 3 respectivamente

		Kip
Sentido	Fuerza	
1	0	
2	-8	
3	-6	
4	0	
5	0	

Figura 209.Armadura I – Fuerzas externas

- Comprobación y evaluación de los datos introducidos

Luego de insertar el número de desplazamientos desconocidos se activó el botón “Comprobar”, sobre el cual se debe dar clic posteriormente a la inserción de las fuerzas externas que actúan sobre la estructura. Al dar clic sobre “Comprobar”, se activara el botón “Evaluar”, a como se aprecia en la Figura 210.

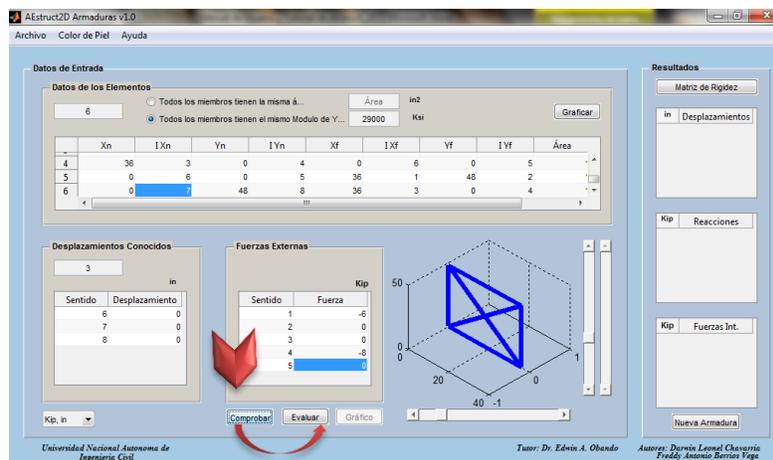


Figura 210.Armadura I – Comprobación de Datos introducidos

Al comprobar los datos, el siguiente paso es realizar la evaluación o análisis de las condiciones introducidas. Esto se hará pulsando el botón “Evaluar”, inmediatamente los resultados serán mostrados en el panel de resultados de la ventana y además en la vista previa del grafico se mostrara la deformación de la estructura.

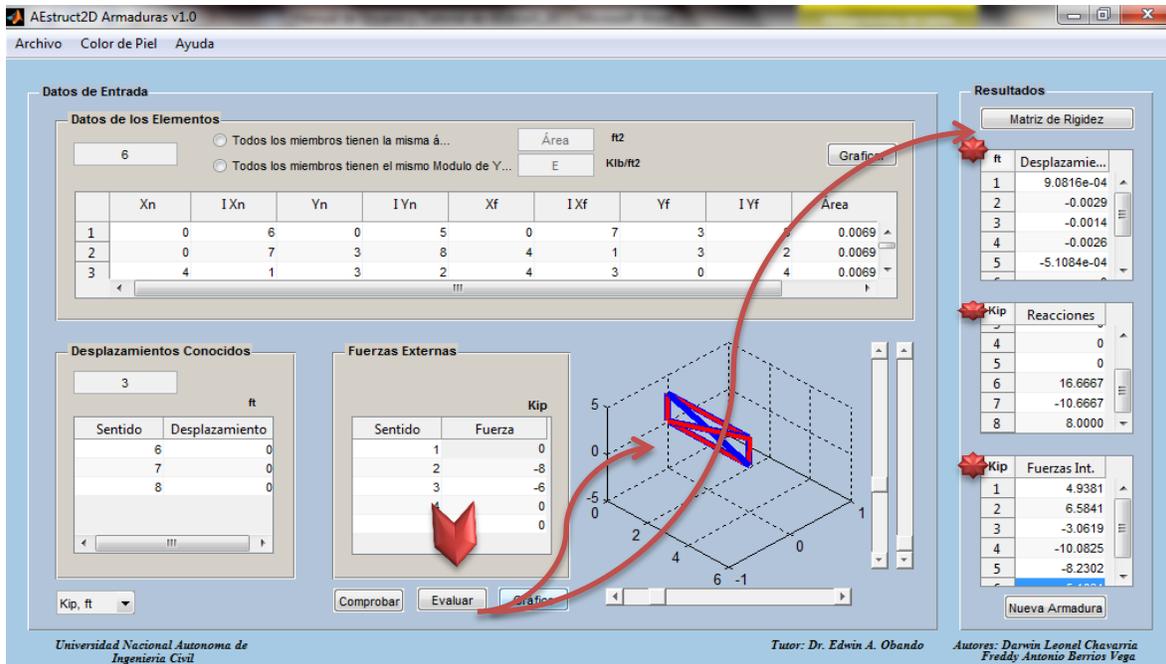


Figura 211. Armadura I – Evaluación

## Visualización de Resultados

La matriz de rigidez de la estructura podrá ser visualizada presionando el botón “Matriz de rigidez”, para mayor información de sobre la obtención de la matriz de rigidez el usuario puede revisar el inciso 2.4.9 del Manual.

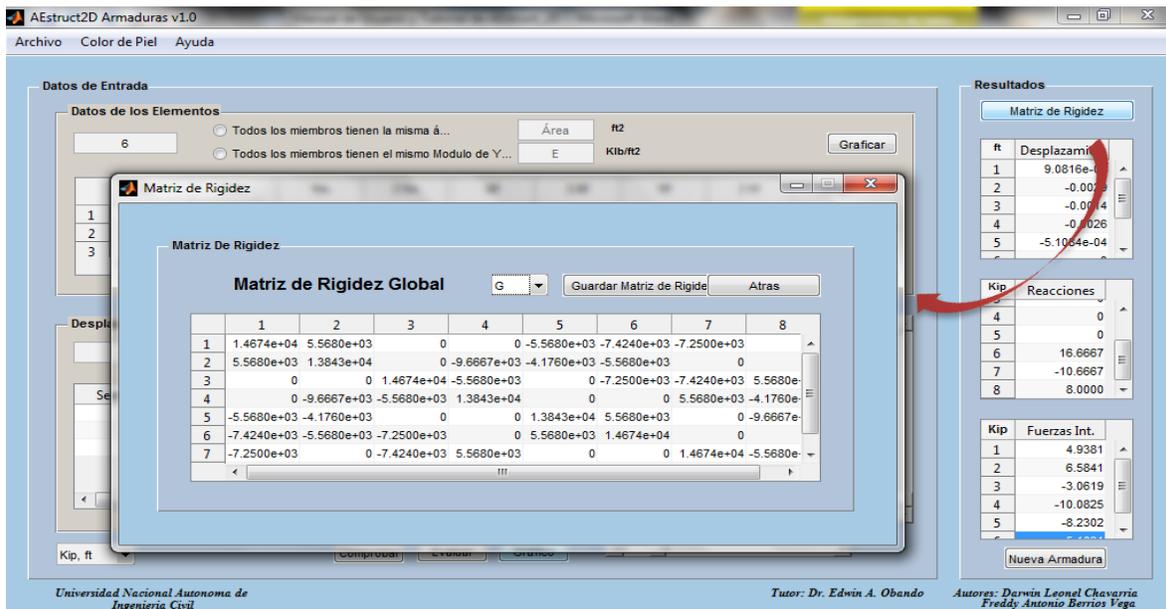


Figura 212. Armadura I – Matriz de rigidez

Las tablas del panel de resultados permiten la visualización de los desplazamientos en los nodos de la estructura, reacciones en los apoyos y fuerzas internas en los elementos. En la Tabla 4 se muestran los desplazamientos y reacciones obtenidas y la Tabla 5 muestra las fuerzas externas en los elementos;

Tabla 4 Armadura I - Desplazamientos y Reacciones obtenidas

SENTIDO (gdl)	DESPLAZAMIENTOS (plg)	REACCIONES (Klbs)
1	9.08E-04	0
2	-0.0029	0
3	-0.0014	0
4	-0.0026	0
5	-5.11E-04	0
6	0	16.6667
7	0	-10.6667
8	0	8

Tabla 5 Armadura I – Fuerzas Internas obtenidas

ELEMENTO	MAGNITUD (Klbs)
(1) AD	4.9381
(2) DC	6.5841
(3) CB	-3.0619
(4) BA	-10.0825
(5) AC	-8.2302
(6) DB	5.1031

Las tablas mostradas fueron extraídas del panel de resultados mostrado en la Figura 213.

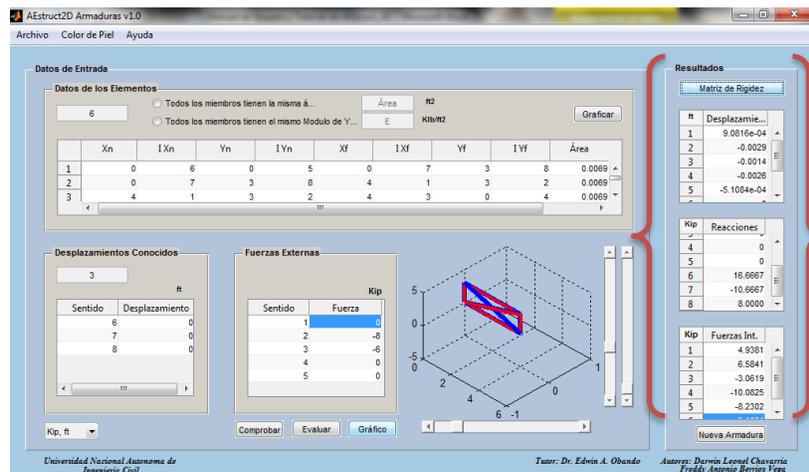


Figura 213. Armadura I - Resultados obtenidos

Finalmente se presenta el grafico de la armadura, presionando el botón “Gráfico” a como se muestra en la Figura 214. Para mayor información revisar el inciso 2.4.10 del Manual.

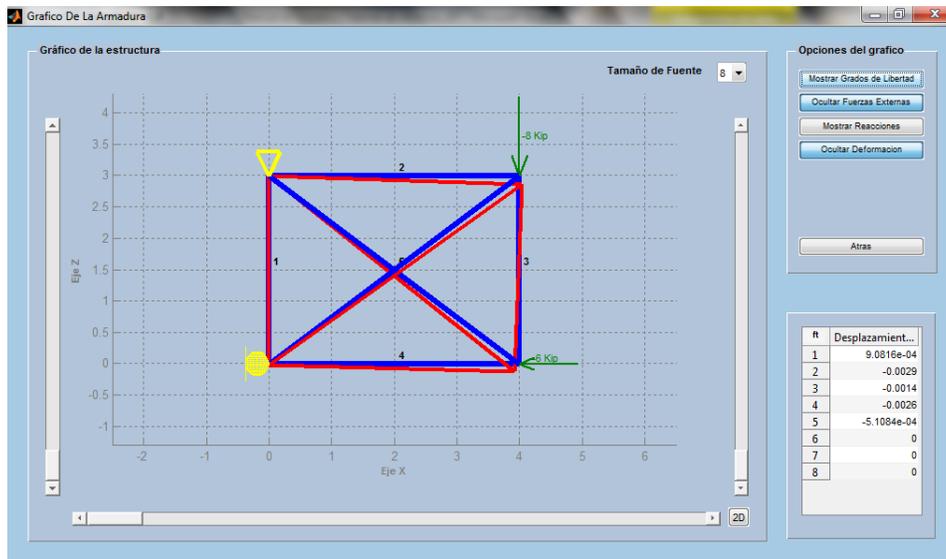


Figura 214. Armadura I – Gráfico de la armadura

Recuerde que puede guardar el análisis con la función “Guardar como”, que puede ser ejecutada con el comando “Ctrl+S”.

### Comprobación De Resultados

Como es de interés, en este caso específico, la obtención de las Fuerzas internas en los elementos entonces se compararan los resultados obtenidos con AEstruct2D con los proporcionados por el libro (Análisis Estructural, Hibbeler 3ra edición. Pag 722).

Tabla 6 Armadura I - Comparación de resultados

FUERZAS INTERNAS			
ELEMENTO	AEstruct2D	R.C. Hibbeler	Diferencia porcentual
(1) AD	4.9381	4.94	0.0385
(2) DC	6.5841	6.58	0.0623
(3) CB	-3.0619	-3.06	0.0621
(4) BA	-10.0825	-10.1	0.1736
(5) AC	-8.2302	-8.23	0.0024
(6) DB	5.1031	5.1	0.0607
<b>Promedio</b>			<b>0.0666</b>

El porcentaje de error promedio del análisis derivado de la comparación de los resultados es de 0.0666%, este error es atribuido a las cifras significativas usadas por el libro para mostrar los resultados.

### 3.1.2 Armadura II

#### Descripción De La Estructura

Se realizara el análisis a la armadura plana (*Ejercicio 14 – 3 R.C.Hibbeler*) mostrada en la Figura 215, pretendiendo encontrar las fuerzas en cada miembro de la estructura. Considerando  $A = 0.5 \text{ plg}^2$  y  $E = 29(10^3) \text{ Ksi}$  para cada miembro.

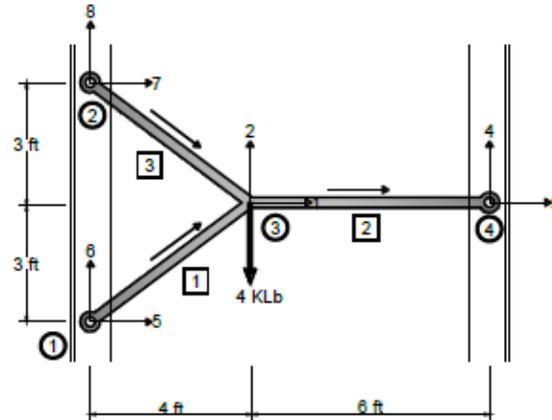


Figura 215. Armadura I – Grafico

#### Datos De Entrada

Aquí se presentan los datos requeridos por el método de rigidez para analizar la armadura;

Tabla 7 Armadura II - Datos de geometría de los elementos

Número de Elementos	3	E	2.90E+04	ksi	
Coordenadas de los nodos de cada elementos					
Elemento	Nodo cercano		Nodo lejano		Área (plg <sup>2</sup> )
	x(plg)	y(plg)	x(plg)	y(plg)	
(1) 1-3	-48	-36	0	0	0.5
(2) 3-4	0	0	72	0	0.5
(3) 2-3	-48	36	0	0	0.5

Tabla 8 Armadura II - Datos de nodos

Nodo	Grados de libertad	
1	5	6
2	7	8
3	1	2
4	3	4

Tabla 9 Armadura II – Desplazamientos y fuerzas

Desplazamientos conocidos	
Sentido	Magnitud (plg)
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
Fuerza Externa	
Sentido	Magnitud (Klbs)
2	-4

### Inserción de datos en AEstruct2D

Luego de echar a andar AEstruct2D y seleccionar Armaduras como tipo de estructura a analizar, se le recomienda al usuario seleccionar las unidades de medidas en las cuales se ingresarán los datos. En este caso se seleccionara las unidades *Klbs.plg (Kip.in)*.

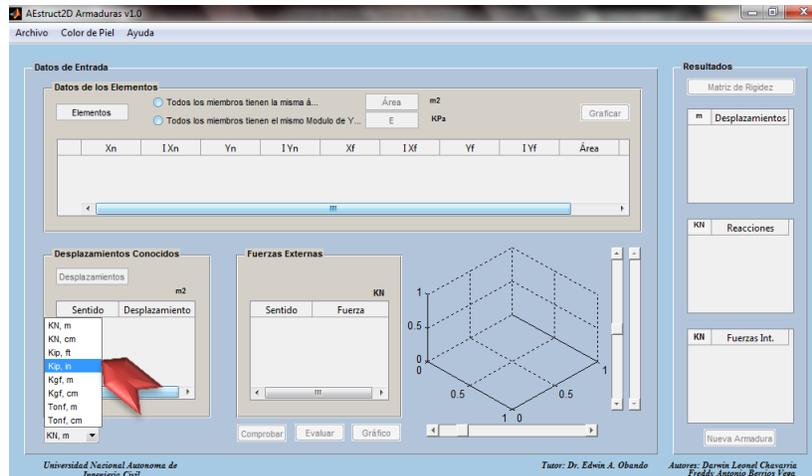


Figura 216. Armadura I - Definición de unidades

- Asignación del número de elementos de la estructura

El número de miembros de la armadura es igual a 3, valor que será ingresado a como se visualiza en la Figura 217.

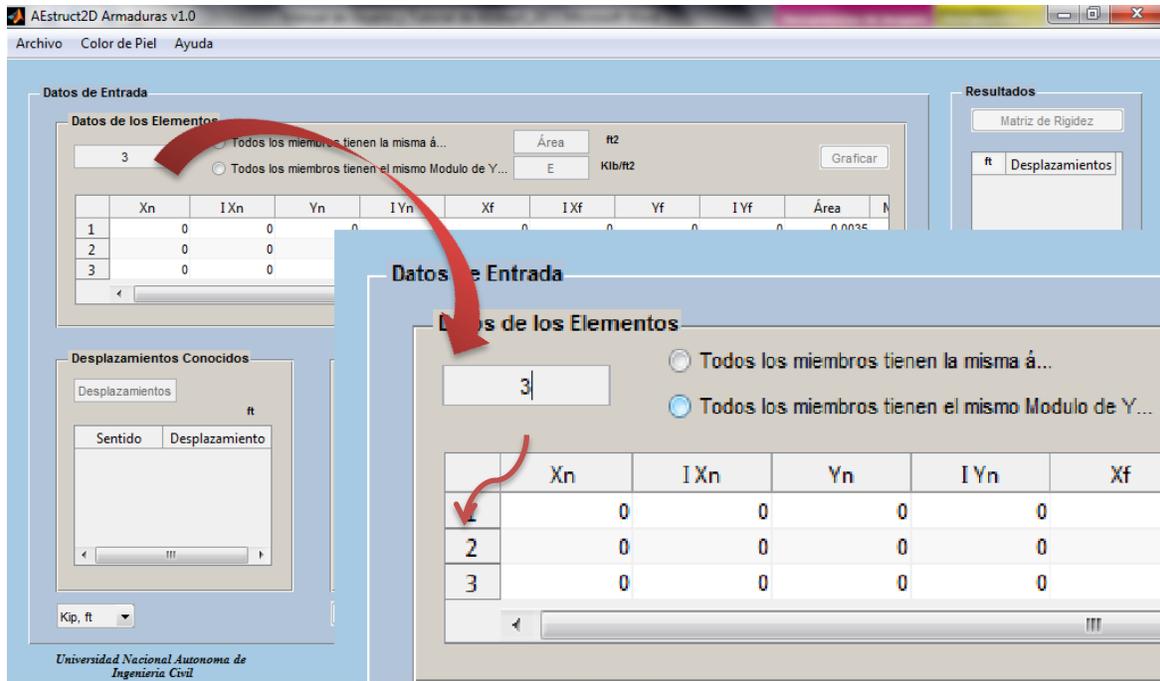


Figura 217. Armadura I – Número de miembros

#### ■ Datos de geometría de los elementos

Posterior a la introducción del número de elementos de la armadura, se procederá a introducir las coordenadas de los nodos, índices de grados de libertad, área y Módulo de elasticidad de cada miembro, esto se realizara tal y como se menciona en el Manual.

Como el área y Módulo de elasticidad de los miembros es el mismo entonces se indicaran en los ayudantes del llenado de la matriz de geometría, tal y como se muestra en la Figura 218.

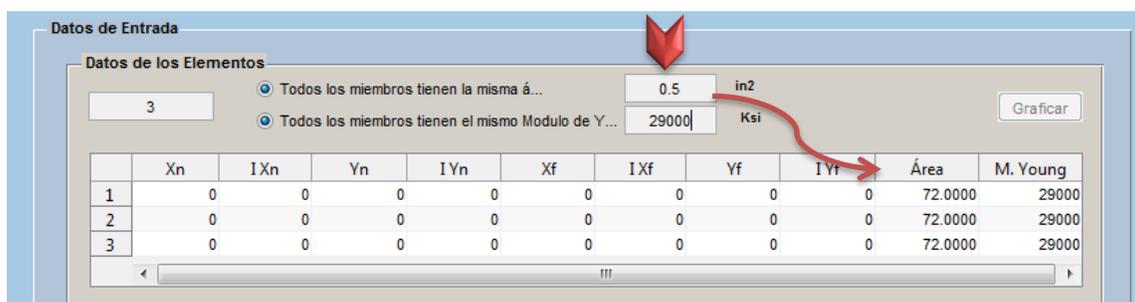


Figura 218. Armadura I – Área y Modulo de Elasticidad

Al finalizar la inserción de datos se tendrá la matriz;

**Datos de Entrada**

**Datos de los Elementos**

3  Todos los miembros tienen la misma á... 0.5 in2

Todos los miembros tienen el mismo Modulo de Y... 29000 Ksi

	Xn	IXn	Yn	IYn	Xf	IXf	Yf	IYf	Área	M. Young
1	-48	5	-36	6	0	1	0	2	0.5000	29000
2	0	1	0	2	72	3	0	4	0.5000	29000
3	-48	7	36	8	0	1	0	2	0.5000	29000

Figura 219.Armadura II – Datos de geometría de los miembros

### ■ Visualizar estructura en AEstruct2D

Luego de la introducción de los datos de geometría se activa el botón “Graficar”, este permitirá observar en el cuadro de vista previa el grafico de la estructura.

AEstruct2D Armaduras v1.0

Archivo Color de Piel Ayuda

**Datos de Entrada**

**Datos de los Elementos**

3  Todos los miembros tienen la misma á... 0.5 in2

Todos los miembros tienen el mismo Modulo de Y... 29000 Ksi

	Xn	IXn	Yn	IYn	Xf	IXf	Yf	IYf	Área	M. Young
1	-48	5	-36	6	0	1	0	2	0.5000	29000
2	0	1	0	2	72	3	0	4	0.5000	29000
3	-48	7	36	8	0	1	0	2	0.5000	29000

**Desplazamientos Conocidos**

in

Sentido	Desplazamiento

**Fuerzas Externas**

Kip

Sentido	Fuerza

Kip, in

**Resultados**

in Desplazamientos

Kip Reacciones

Kip Fuerzas Int.

Universidad Nacional Autónoma de Ingeniería Civil Tutor: Dr. Edwin A. Obando Autores: Darwin Leonel Chavarria Freddy Antonio Berrios Vega

Figura 220.Armadura II – Graficar la armadura

### ■ Asignación de desplazamientos conocidos

Al presionar el botón “Graficar” se activara el cuadro para la inserción del número de desplazamientos conocidos, el cual en este caso es de 6.

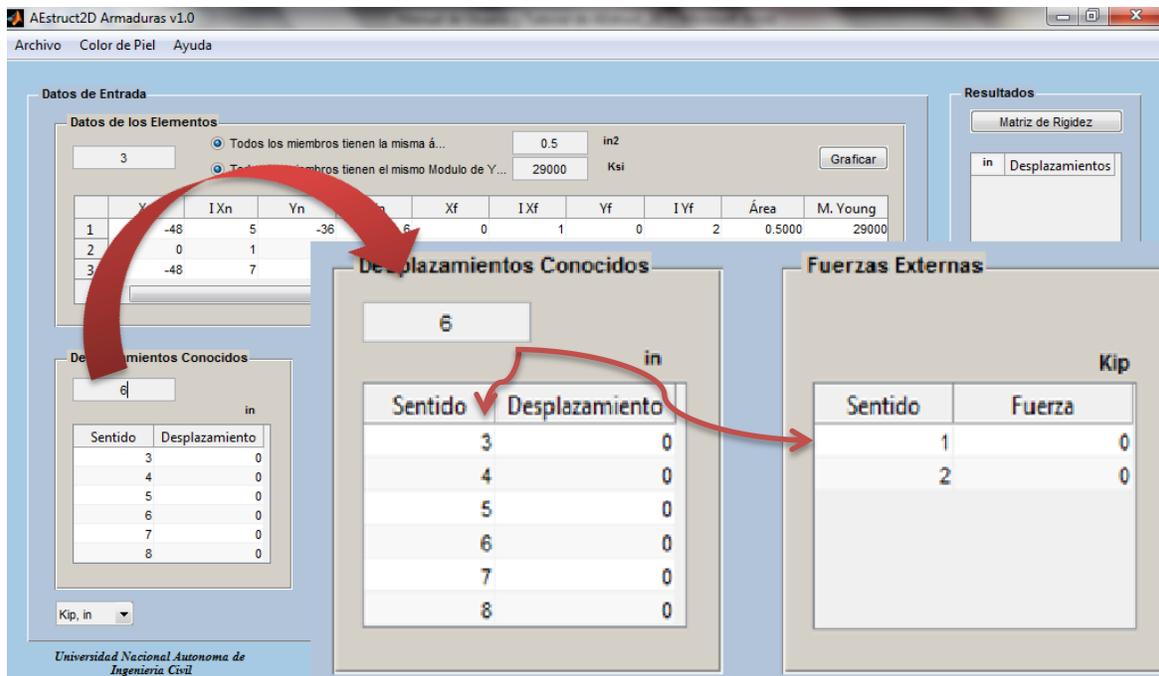


Figura 221. Armadura II – Número de desplazamientos conocidos

Al ingresar el número de desplazamientos conocidos se activarán las tablas para inserción de desplazamientos conocidos y de fuerzas internas. En la tabla para la inserción de desplazamientos conocido se cargarán desplazamientos en los sentidos de los grados de libertad de mayores índices, como al asignar los grados de libertad se siguió con las recomendaciones del método de rigidez los sentidos cargados por AEstruct2D coinciden con los sentidos de los desplazamientos conocidos.

Para este caso los desplazamientos son iguales a cero por tanto se procederá a la introducción de las fuerzas externas.

#### ■ Introducir Fuerzas Externas

A como se mencionó al ingresar el número de desplazamientos conocidos serán cargados sentidos de Fuerzas externas en los grados de libertad de menor índice. Siguiendo con la resolución del análisis se asignará la fuerza de  $-4 \text{ Klbs}$  en el grado de libertad 2.

		Kip
Sentido	Fuerza	
1	0	
2	-4	

Figura 222.Armadura II – Fuerzas externas

### ■ Comprobación y evaluación de los datos introducidos

Luego de insertar el número de desplazamientos conocidos se activó el botón “Comprobar”, sobre el cual se debe dar clic posteriormente a la inserción de las fuerzas externas que actúan sobre la estructura. Al dar clic sobre “Comprobar”, se activara el botón “Evaluar”, a como se aprecia en la Figura 223.

**Datos de Entrada**

Datos de los Elementos

Todos los miembros tienen la misma área... 0.5 in<sup>2</sup>

Todos los miembros tienen el mismo Modulo de Y... 29000 Ksi

3

	Xn	I Xn	Yn	I Yn	Xf	I Xf	Yf	I Yf	Área	M. Young
1	-48	5	-36	6	0	1	0	2	0.5000	29000
2	0	1	0	2	72	3	0	4	0.5000	29000
3	-48	7	36	8	0	1	0	2	0.5000	29000

**Desplazamientos Conocidos**

6

Sentido	Desplazamiento
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0

**Fuerzas Externas**

Sentido	Fuerza
1	0
2	-4

**Resultados**

Matriz de Rigidez

in Desplazamientos

Kip Reacciones

Kip Fuerzas Int.

Nueva Armadura

Universidad Nacional Autónoma de Ingeniería Civil

Tutor: Dr. Edwin A. Obando

Autores: Darwin Leonel Chavarria, Freddy Antonio Berrios Vega

Figura 223.Armadura II – Comprobación de Datos introducidos

Al comprobar los datos, el siguiente paso es realizar la evaluación o análisis de las condiciones introducidas. Esto se hará pulsando el botón “Evaluar”, inmediatamente los resultados serán mostrados en el panel de resultados de la ventana y además en la vista previa del gráfico se mostrara la deformación de la estructura.

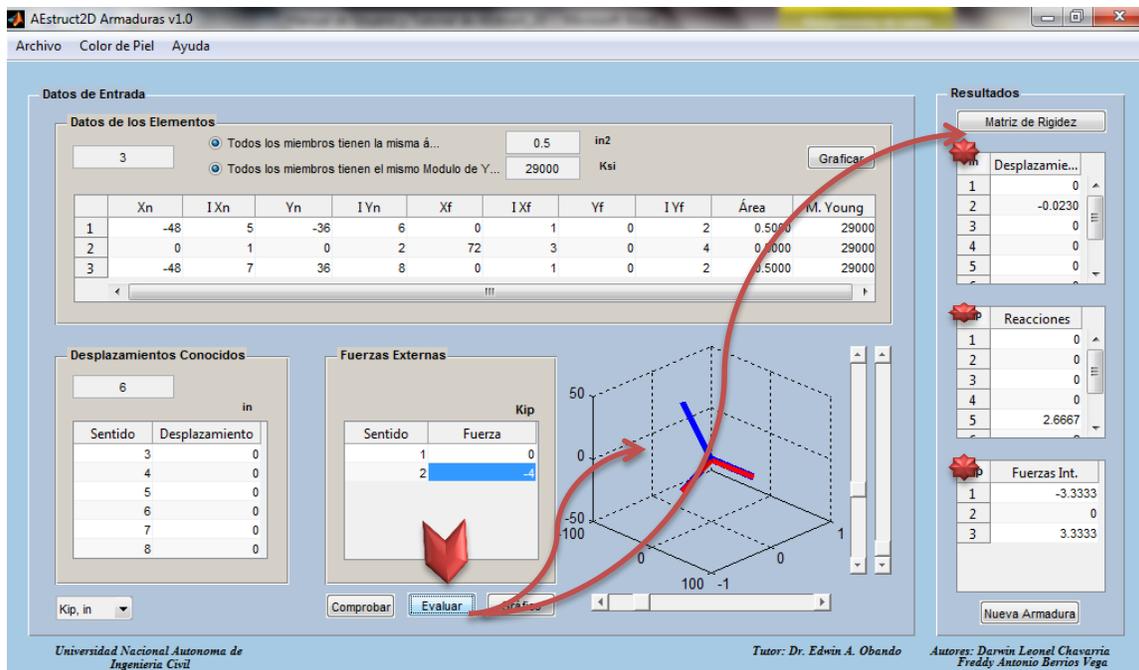


Figura 224.Armadura II – Evaluación

## Visualización de Resultados

La matriz de rigidez de la estructura podrá ser visualizada presionando el botón “Matriz de rigidez”, para mayor información de sobre la obtención de la matriz de rigidez el usuario puede revisar el inciso 2.4.9 del Manual.

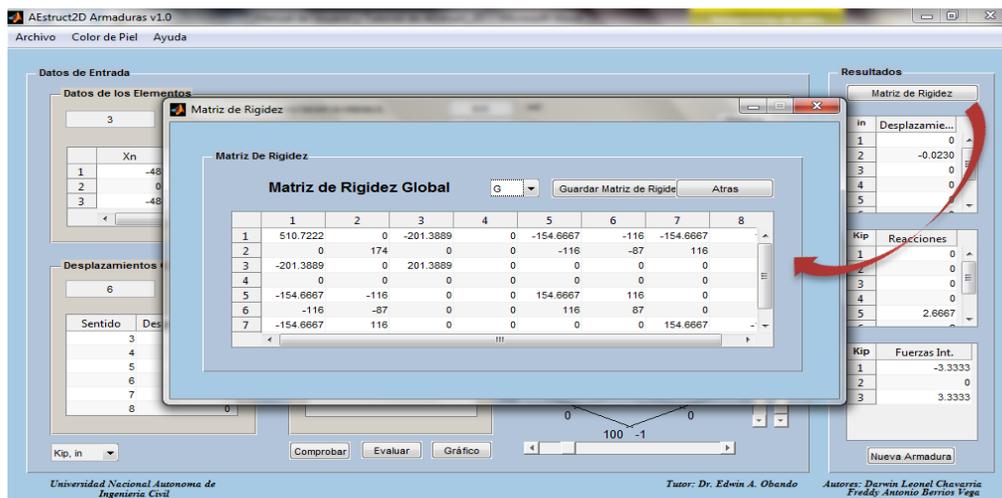


Figura 225.Armadura II – Matriz de rigidez

Las tablas del panel de resultados permiten la visualización de los desplazamientos en los nodos de la estructura, reacciones en los apoyos y fuerzas internas en los elementos. En la Tablas siguientes se muestran los

desplazamientos y reacciones obtenidas además de las fuerzas internas en los elementos;

Tabla 10 Armadura II Desplazamientos y reacciones en los nodos

SENTIDO (gdl)	DESPLAZAMIENTOS	REACCIONES
1	0	0
2	-0.023	0
3	0	0
4	0	0
5	0	2.6667
6	0	2
7	0	-2.6667
8	0	2

Tabla 11 Armadura II – Fuerzas Internas obtenidas

ELEMENTO	MAGNITUD (Klbs)
(1) 1-3	-3.3333
(2) 3-4	0
(3) 2-3	3.3333

Las tablas mostradas fueron extraídas del panel de resultados mostrado en la Figura 226.

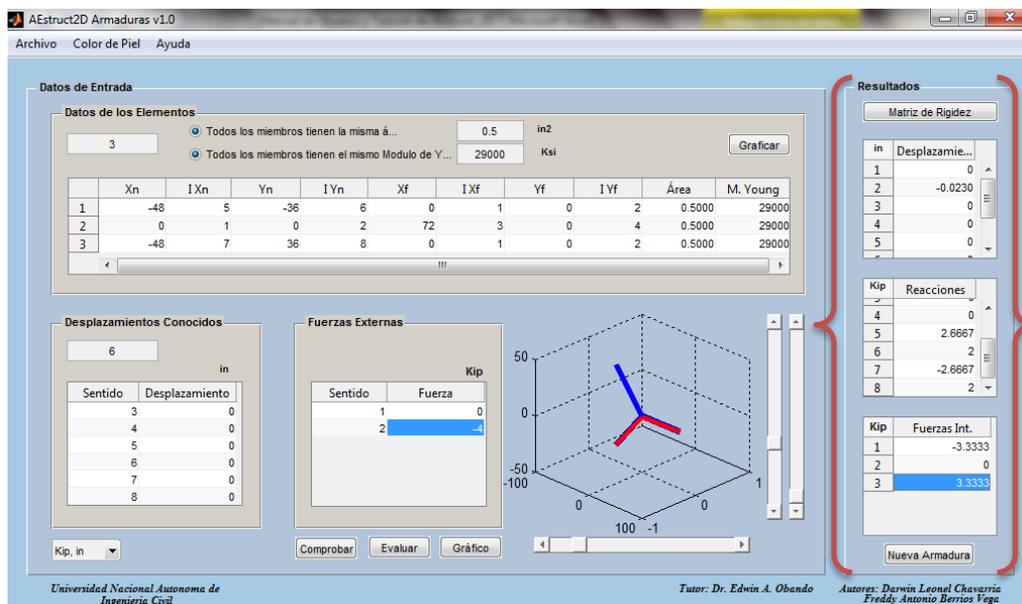


Figura 226. Armadura II - Resultados obtenidos

Finalmente se presenta el gráfico de la armadura, presionando el botón “Gráfico” a como se muestra en la Figura 227. Para mayor información revisar el inciso 2.4.10 del Manual.

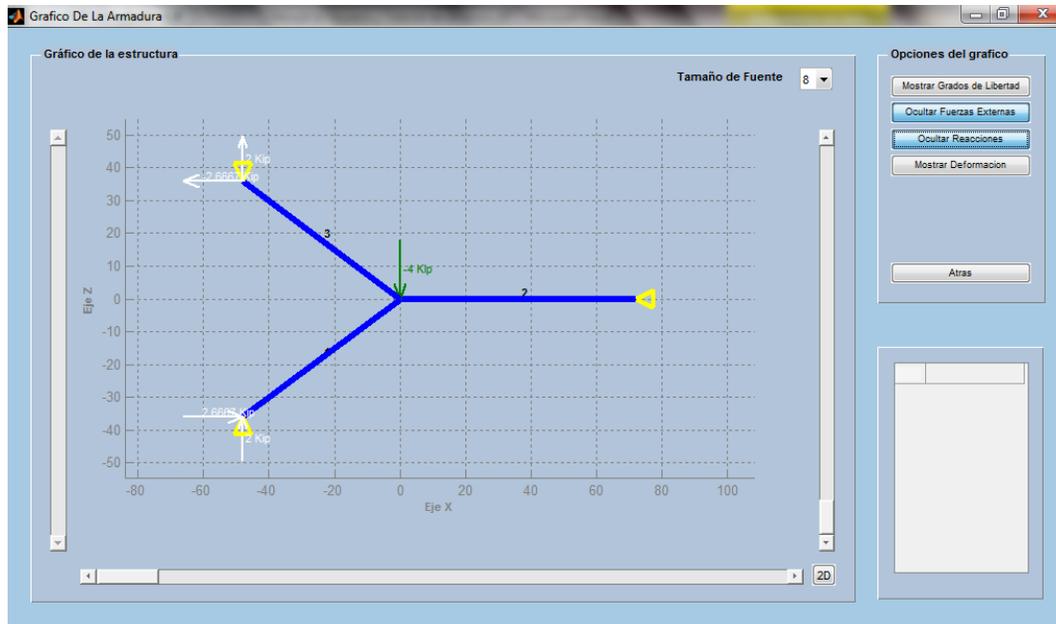


Figura 227. Armadura II – Gráfico de la armadura

Recuerde que puede guardar el análisis con la función “Guardar como”, que puede ser ejecutada con el comando “Ctrl+S”.

### Comprobación De Resultados

Como es de interés, en este caso específico, la obtención de las Fuerzas internas en los elementos entonces se compararan los resultados obtenidos con AEstruct2D con los proporcionados por el libro (Análisis Estructural, Hibbeler 3ra edición. Pag 724).

Tabla 12 Armadura II – Comparación de fuerzas internas

ELEMENTO	AEstruct2D	R.C. Hibbeler	Diferencia porcentual
(1) 1-3	-3.3333	-3.33	0.0990
(2) 3-4	0	0	0.0000
(3) 2-3	3.3333	3.33	0.0990
<b>Promedio</b>			<b>0.0660</b>

El porcentaje de error promedio del análisis derivado de la comparación de los resultados es de 0.0666%, error atribuido al número de cifras significativas usadas por el libro para mostrar los resultados.

## 3.2 Ejemplo De Análisis De Marcos Planos

### 3.2.1 Marco I

#### Descripción De La Estructura

En el siguiente análisis se retoma el ejercicio 15 – 15 del libro de Análisis Estructural R. C. Hibbeler (Tercera edición), dónde se calculara las reacciones en los soportes 1 y 4. Considerando  $E = 29 (10^3) Ksi$ ,  $I = 700 \text{ plg}^4$  y  $A = 15 \text{ plg}^2$  para cada miembro. Los nodos 2 y 3 son rígidos.

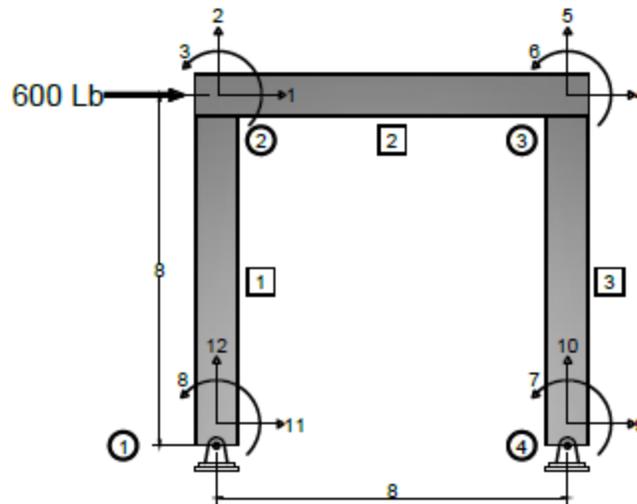


Figura 228.Marco I – Grafico

#### Datos De Entrada

Aquí se presentan los datos requeridos por el método de rigidez para analizar la estructura;

Tabla 13 Marco I - Datos de geometría de los elementos

Número de Elementos	3				E	2.90E+04 ksi	
Elemento	Coordenadas de los nodos de cada elementos				Área (plg <sup>2</sup> )	Inercia (plg <sup>4</sup> )	
	Nodo cercano		Nodo lejano				
	x(pies)	y(pies)	x(pies)	y(pies)			
(1) 1-2	0	0	0	8	15	700	
(2) 2-3	0	8	8	8	15	700	
(3) 3-4	8	8	8	0	15	700	

Tabla 14 Marco I - Datos de nodos

Nodo	Grados de libertad		
	x	y	z
1	1	2	3
2	4	5	6
3	11	12	8
4	9	10	7

Tabla 15 Marco I – Restricciones y fuerzas

Restricciones	
Nodo	Tipo
3	Articulación
4	Articulación
Fuerzas Externas En Nodos	
Sentido	Magnitud (Lbs)
1	600

### Inserción De Datos En AEstruct2D

Luego de echar a andar AEstruct2D y seleccionar Marcos como tipo de estructura a analizar, se le recomienda al usuario escoger las unidades de medidas en las cuales se ingresaran los datos. En este caso se seleccionara las unidades *Klbs.plg (Kip.in)*.

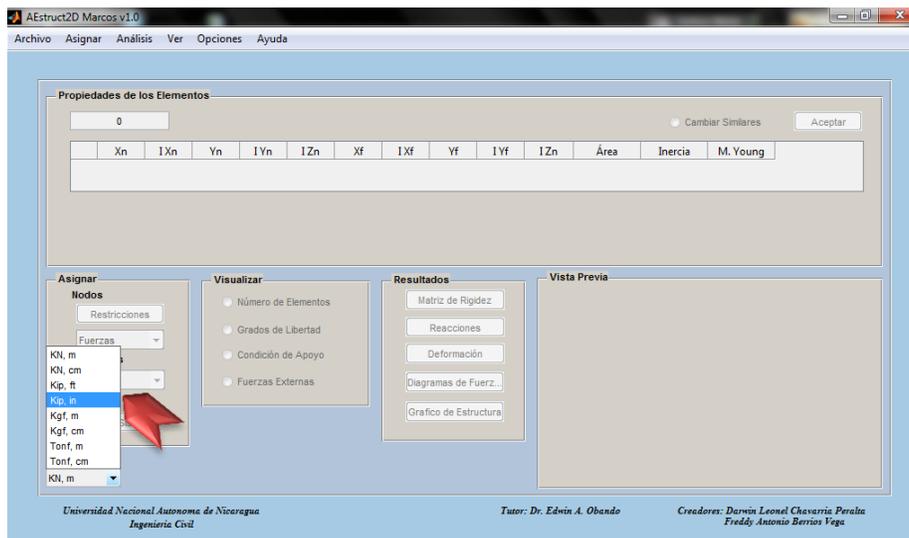


Figura 229. Marco I - Definición de unidades

- Asignación del número de elementos de la estructura

El número de miembros del marco es igual a 3, valor que será ingresado a como se visualiza en la Figura 230.

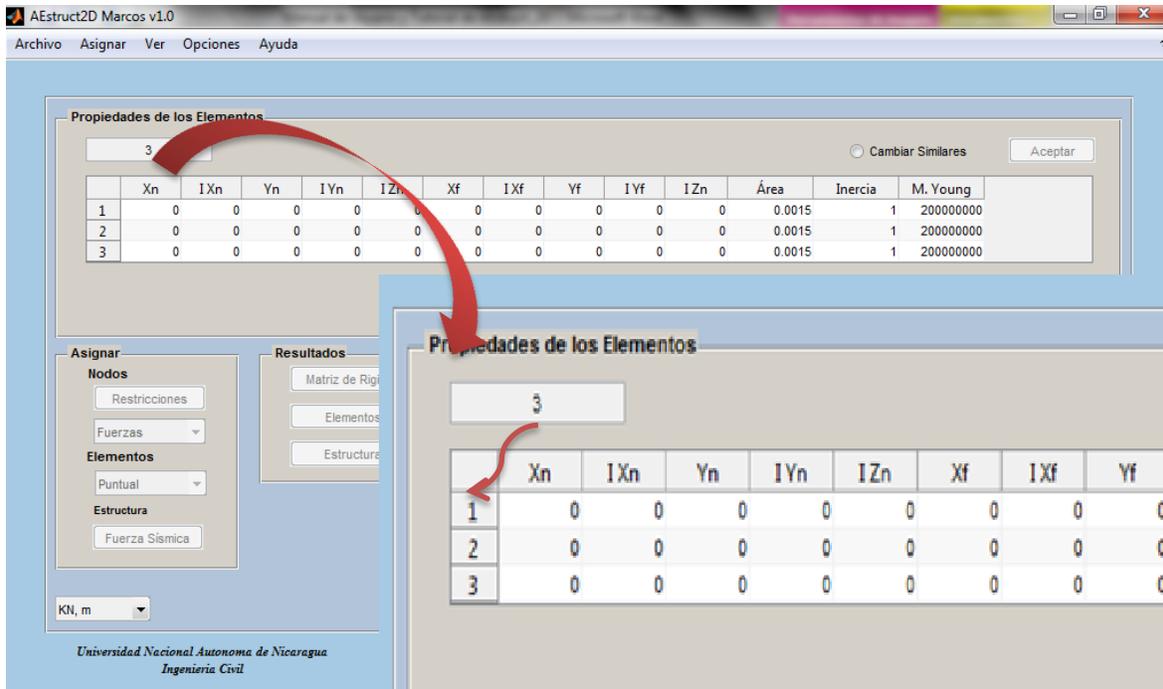


Figura 230. Marco I – Número de miembros

#### ■ Datos de geometría de los elementos

Posterior a la introducción del número de elementos de la estructura, se procederá a introducir las coordenadas de los nodos, índices de grados de libertad, área y Módulo de elasticidad de cada miembro, esto se realizara tal y como se menciona en el Manual.

Como el área, inercia y Módulo de elasticidad de los miembros es el mismo entonces se indicara auxiliándonos del botón “Cambiar similares”, tal y como se muestra en la Figura 231.

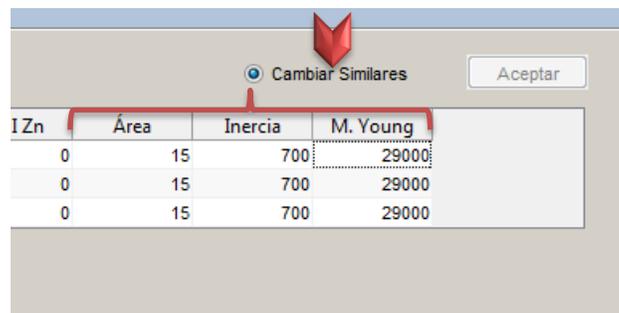


Figura 231. Marco I – Área, Inercia y Modulo de Elasticidad

Al finalizar la inserción de datos se tendrá la matriz;

	Xn	IXn	Yn	IYn	IZn	Xf	IXf	Yf	IYf	IZn	Área	Inercia	M. Young
1	0	11	0	12	8	0	1	96.0000	2	3	15	700	29000
2	0	1	96.0000	2	3	96.0000	4	96.0000	5	6	15	700	29000
3	96.0000	4	96.0000	5	6	96.0000	9	0	10	7	15	700	29000

Figura 232.Marco I – Datos de geometría de los miembros

### ■ Visualizar estructura en AEstruct2D

Luego de la introducción de los datos de geometría se activa el botón “Aceptar”, este permitirá observar, en el cuadro de vista previa, el grafico completo de la estructura, sin embargo desde que el usuario introduce correctamente los grados de libertad del marco podrá visualizar el grafico y este se actualizara en cada cambio (Figura 233).

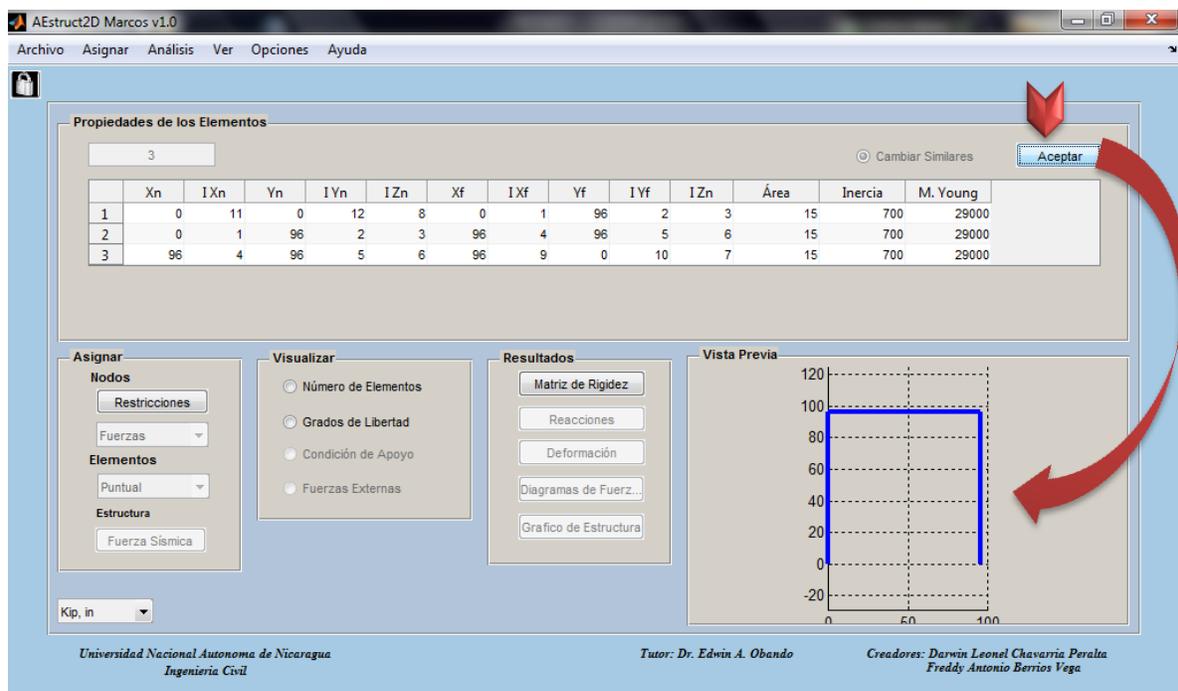


Figura 233.Marco I – Graficar el marco

### ■ Asignación de restricciones

Al presionar el botón “Aceptar” se activara el botón para la inserción de restricciones en los nodos libres de la estructura, al dar clic sobre el botón “Restricciones” aparecerá la ventana apreciada en la Figura 234, en la cual se cargan las coordenadas de los nodos libres y el menú para ingresar el tipo de restricción del nodo, en este menú seleccionaremos “Articulación” para ambos nodos ya que este es el tipo de apoyo de la estructura bajo análisis. Para más información sobre esta función referirse al Manual, inciso 0.

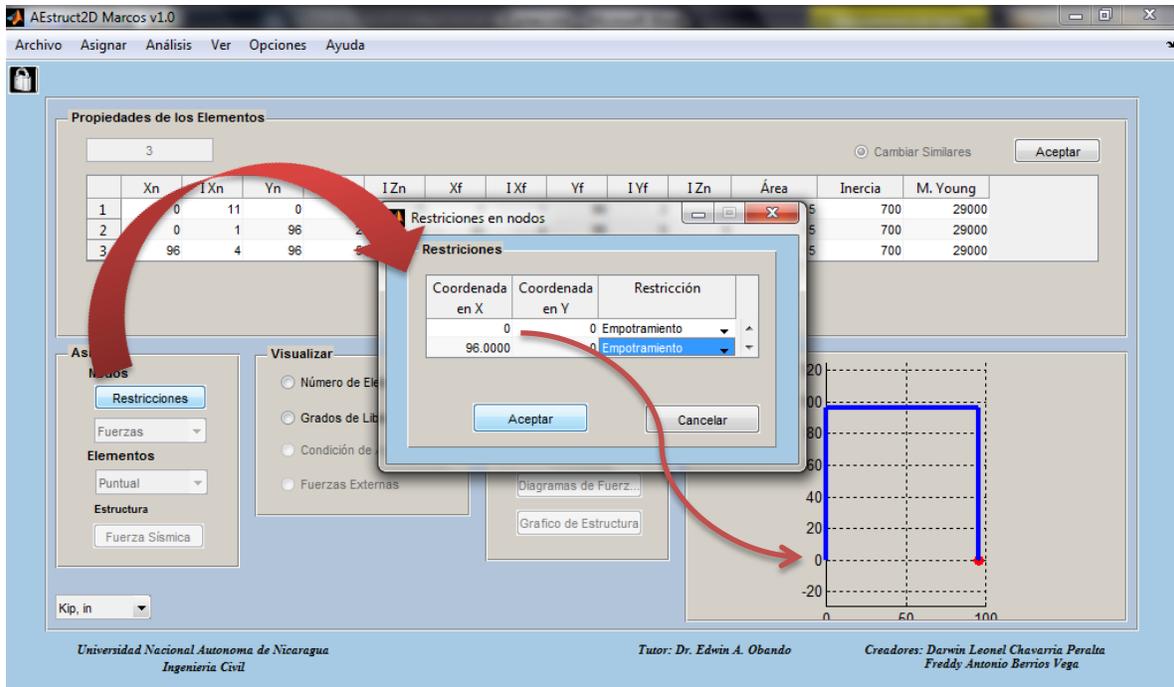


Figura 234. Marco I – Restricciones en los nodos

Al ingresar las reacciones en los nodos de la estructura se activaran las opciones de inserción de cargas sobre los miembros.

#### ■ Introducir Fuerzas Externas

A como se mencionó al ingresar las reacciones en los nodos de la estructura se activaran las opciones de inserción de cargas sobre los nodos y elementos. En este caso solo existe una fuerza externa ubicada en el nodo 2, fuerza que actúa horizontalmente y que tiene una magnitud de  $600 \text{ lbs} = 0.600 \text{ Klbs}$ , por tanto se procederá a la asignación de esta en el sentido del grado de libertad número 2, a como se aprecia en la figura.

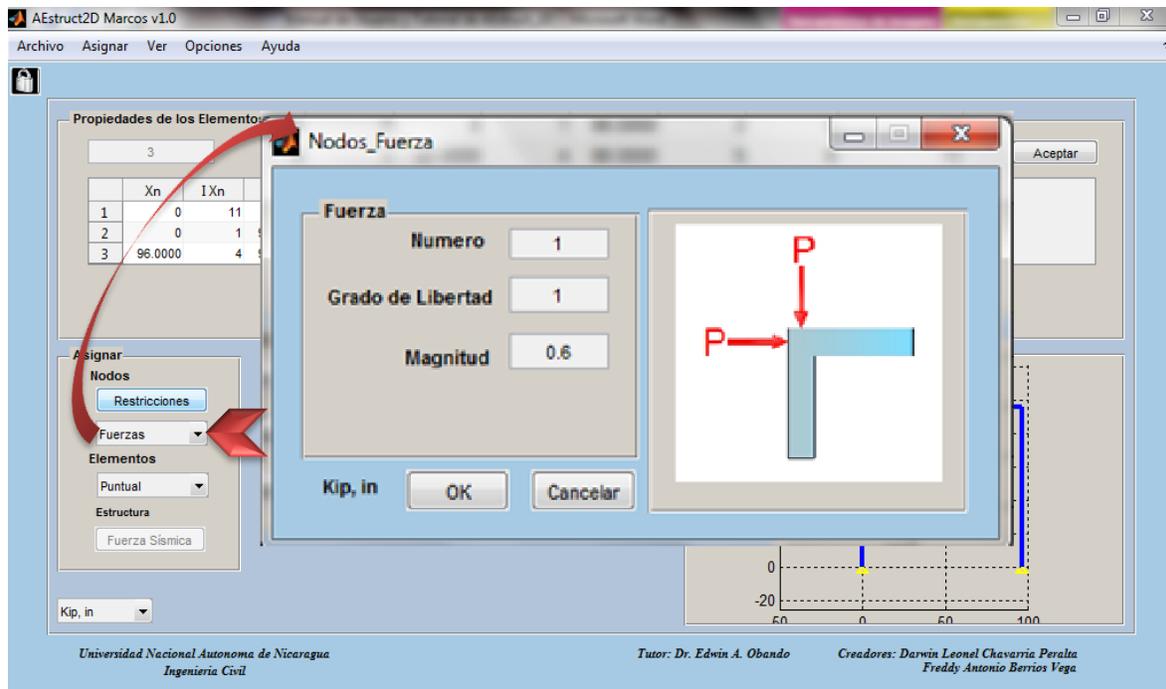


Figura 235. Marco I – Fuerzas en Nodo

En este análisis no se requiere la inserción de otro tipo de carga, si el usuario necesita ingresar otro tipo de carga sobre la estructura puede revisar el Manual de AEstruct2D, desde la página 194 en adelante o bien revisar el análisis al Marco II en el acápite 3.2.2337.

- Evaluación de los datos introducidos

Luego de ingresar la fuerza se realizara el análisis del marco usando el comando "Ctrl+R" o bien desde el menú "Analizar" de la barra de menús de AEstruct2D, posteriormente a esto se calcularon Desplazamientos, Reacciones y Fuerzas Internas. Estos resultados pueden se visualizados gráficamente o bien exportados a un documento de Excel.

- Visualización de Resultados

La matriz de rigidez de la estructura podrá ser visualizada presionando el botón "Matriz de rigidez", para mayor información de sobre la obtención de la matriz de rigidez el usuario puede revisar el inciso 2.5.13 del Manual.

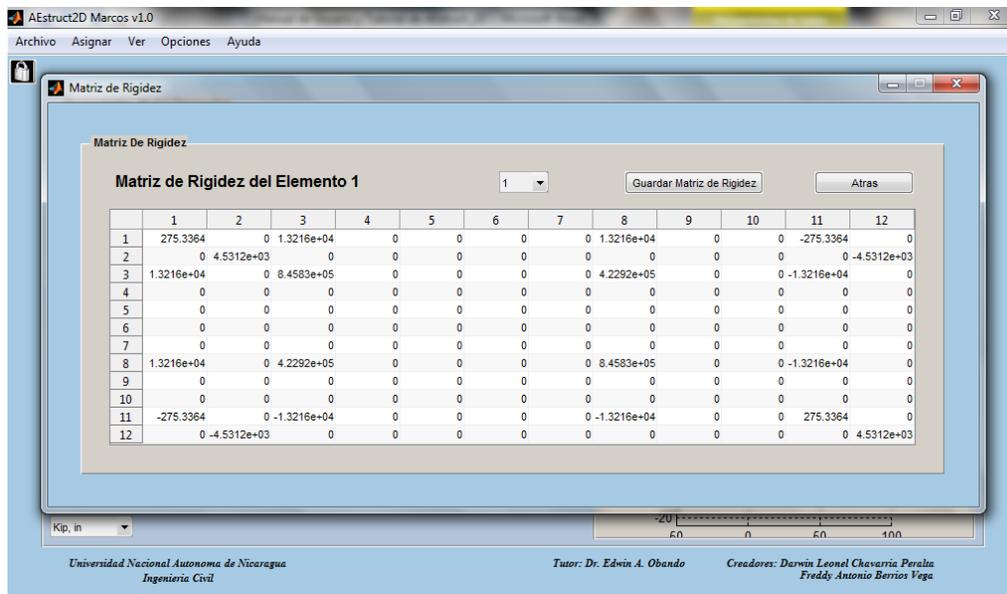


Figura 236. Marco I – Matriz de rigidez

Gráficamente se pueden visualizar las reacciones y desplazamientos desde la ventana emergente para la visualización del gráfico de la estructura, en la figura se muestra las reacciones obtenidas (flechas color blanco), los desplazamientos en el nodo número 2 (texto color blanco) y la deformación del marco (líneas color rojo). Para mayor información sobre las opciones de esta ventana revisar el inciso 2.5.14 del Manual.

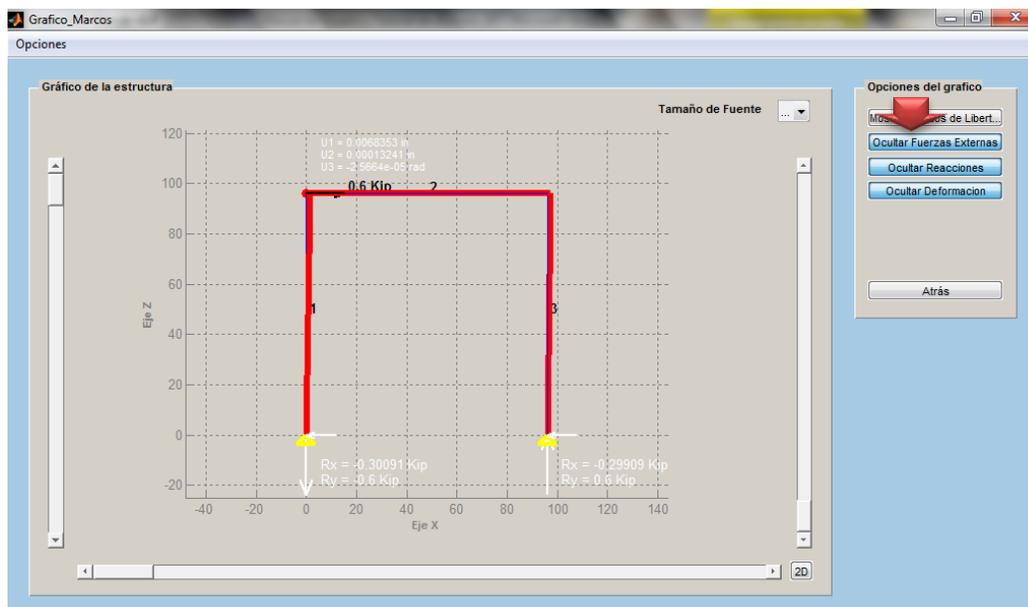


Figura 237. Marco I – Visualización grafica de los resultados

Para visualizar las fuerzas internas en los elementos se debe presionar el botón Diagrama de Elementos ubicado en la ventana de análisis de marcos planos,

mostrándose consecuentemente la ventana ostentada en la figura, donde se aprecia el diagrama de momento del miembro número 2 de la estructura.

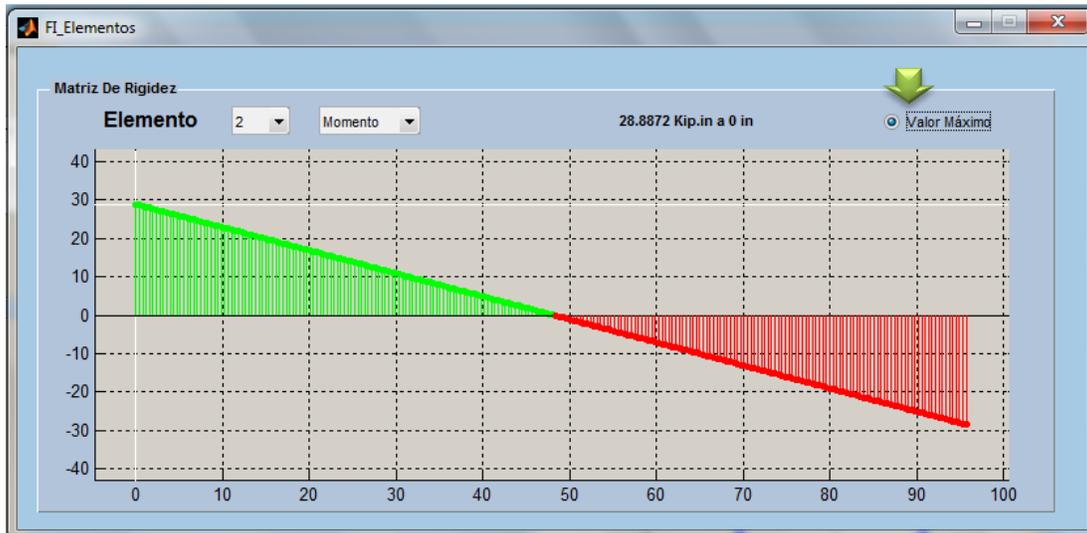


Figura 238. Marco I – Visualización grafica de fuerzas internas

La otra opción de obtener los resultados del análisis es exportando los datos a un archivo de Excel, a como se mencionó anteriormente esta función es ejecutada desde la barra de menús exactamente desde el menú para el manejo de archivos (ver pag.303), este permitirá la visualización de la matrices de rigidez de los elementos y de la estructura, los desplazamientos en los nodos de la estructura, reacciones en los apoyos y fuerzas internas en los elementos. En la Tabla 16 se muestran los desplazamientos y reacciones obtenidas y la Tabla 17 muestra las fuerzas externas en los elementos;

Tabla 16 Marco I - Desplazamientos y Reacciones obtenidas

Grado de Libertad	Desplazamiento (plg)	Reacciones (Klbs)
1	0.00683529	0
2	0.00013241	0
3	-2.5664E-05	0
4	0.00676928	0
5	-0.00013241	0
6	-2.5252E-05	0
7	-9.3144E-05	0
8	-9.3969E-05	0
9	0	-0.2990913
10	0	0.6
11	0	-0.3009087
12	0	-0.6

Tabla 17 Marco I – Fuerzas Internas obtenidas

Elementos	1	2	3
<b>xn'</b>	-0.6	0.2990913	0.6
<b>yn'</b>	0.3009087	-0.6	0.2990913
<b>zn'</b>	0	-28.887235	28.712765
<b>xf'</b>	0.6	-0.2990913	-0.6
<b>yf'</b>	-0.3009087	0.6	-0.2990913
<b>zf'</b>	28.887235	-28.712765	0

Recuerde que puede guardar el análisis con la función “Guardar como”, que puede ser ejecutada con el comando “Ctrl+S”.

### Comprobación De Resultados

Como es de interés, en este caso específico, la obtención de las Reacciones en los apoyos entonces se compararan los resultados obtenidos con AEstruct2D con los proporcionados por el libro (Análisis Estructural, Hibbeler 3ra edición. Pag 725).

Tabla 18 Marco I - Comparación de resultados

REACCIONES (Klbs)			
Sentido	AEstruct2D	R.C. Hibbeler	Diferencia Porcentual
<b>9</b>	-0.2990913	-0.3	0.30381944
<b>10</b>	0.6	0.6	1.5913E-12
<b>11</b>	-0.3009087	-0.3	0.30198447
<b>12</b>	-0.6	-0.6	1.6098E-12
<b>Promedio</b>			<b>0.1514</b>

El porcentaje de error promedio del análisis derivado de la comparación de los resultados es de 0.1514%, este error es atribuido al número de cifras significativas usadas por el libro para mostrar los resultados.

### 3.2.2 Marco II

#### Descripción De La Estructura

En el siguiente análisis se retomara la estructura mostrada en el Ejercicio 15 – 21 del libro de Análisis Estructural Russell Hibbeler tercera edición, sin embargo se cambiaran las cargas asignadas por cargas distribuidas sobre los elementos horizontales, con el fin de asignar fuerzas laterales debido a sismo. Además se le asignaran secciones de Concreto de 3000 *Psi* a los miembros que componen el marco.

Según las consideraciones del RNC-07, la estructura está situada en la zona C y corresponde al grupo de estructuras de normal importancia. Además será desplantada sobre suelos moderadamente blandos, es una estructura regular y el factor de reducción por Ductilidad se considera igual a 4.

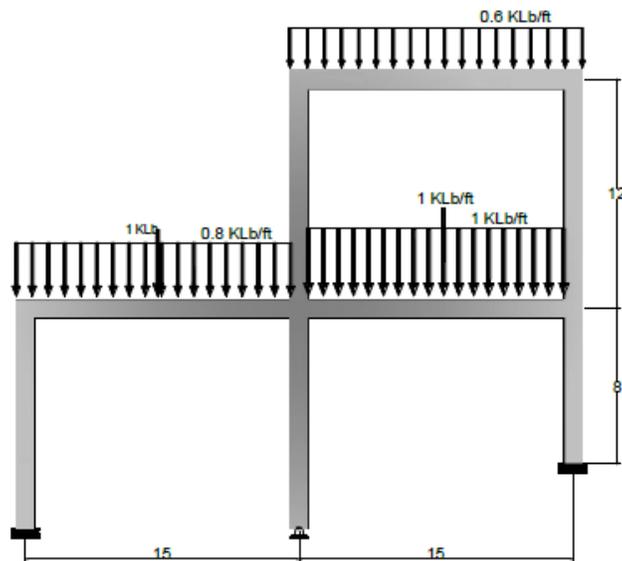


Figura 239.Marco II – Grafico

### Datos De Entrada

Aquí se presentan los datos requeridos por el método de rigidez para analizar la estructura;

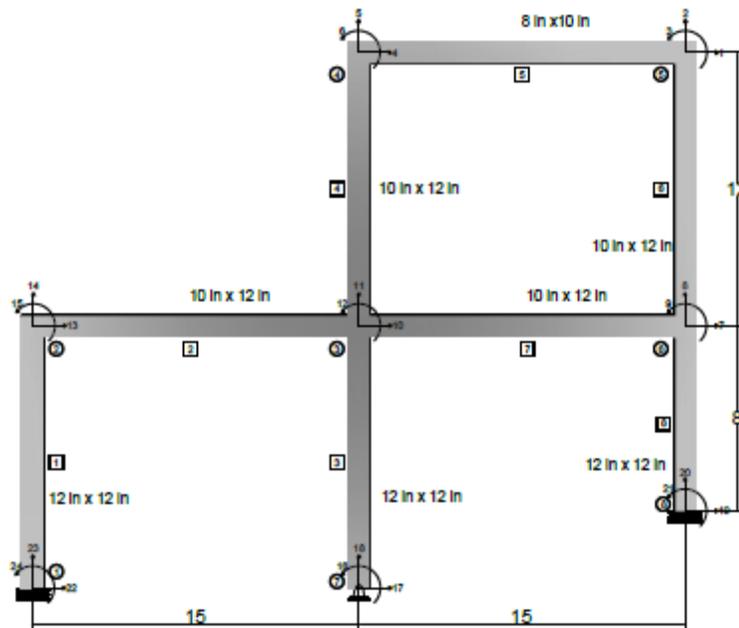


Figura 240. Marco II - Grados de libertad y secciones de los elementos

Tabla 19 Marco II - Datos de geometría de los elementos

Número de Elementos	8	Material	Concreto	3000 Psi	
Coordenadas de los nodos de cada elemento					
Elemento	Nodo cercano		Nodo lejano		Sección (plg)
	x(pies)	y(pies)	x(pies)	y(pies)	
1	15	24	30	24	8*10
2	0	12	15	12	10*12
3	15	12	30	12	10*12
4	15	12	15	24	10*10
5	30	12	30	24	10*10
6	30	12	10	4	12*12
7	15	12	15	0	12*12
8	0	12	0	0	12*12

Tabla 20 Marco II - Datos de nodos

Nodo	Grados de libertad			
	X	y	z	
1	22	23	24	
2	13	14	15	
3	10	11	12	
4	4	5	6	
5	1	2	3	
6	7	8	9	
7	17	18	16	
8	19	20	21	

Tabla 21 Marco II – Restricciones y fuerzas

Nodo	Tipo
1	Empotramiento
7	Articulación
8	Empotramiento

**Fuerzas Externas En Elementos**

Elementos	Distribuida (Klbs/pie)	Puntual (Centro del claro)
1	-0.60	0
2	-0.80	-1
3	-1.00	-1

Tabla 22 Marco II - Parámetros para análisis sísmico por el Método Estático Equivalente

<b>Zona Sísmica</b>	C
<b>Grupo de Estructura</b>	B
<b>Tipo de suelo</b>	III
<b>Factor de reducción ductilidad</b>	4.0
<b>Condición de regularidad</b>	Estructura Regular

### Inserción De Datos En AEstruct2D

Luego de echar a andar AEstruct2D y seleccionar Marcos como tipo de estructura a analizar, se le recomienda al usuario seleccionar las unidades de medidas en las cuales se ingresaran los datos. En este caso se seleccionara las unidades *Klbs.plg (Kip.in)*.

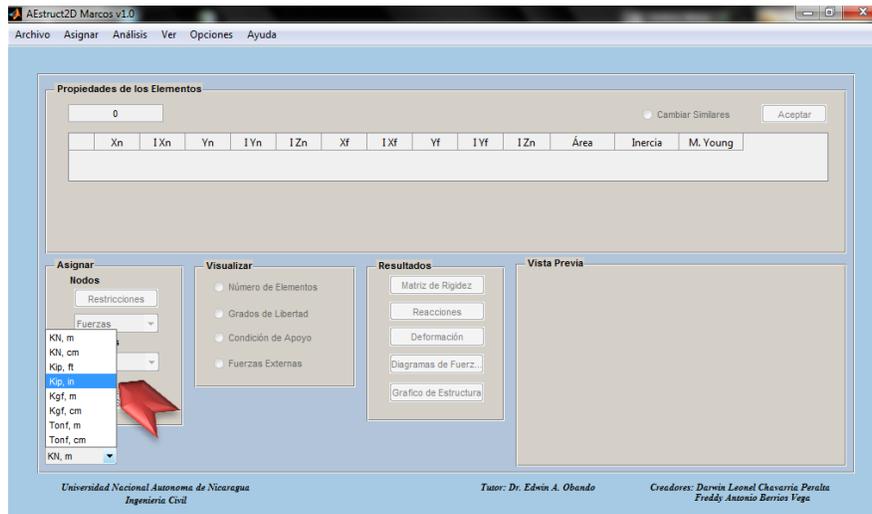


Figura 241. Marco II - Definición de unidades

#### ■ Asignación del número de elementos de la estructura

El número de miembros del marco es igual a 8, valor que será ingresado a como se visualiza en la Figura 242.

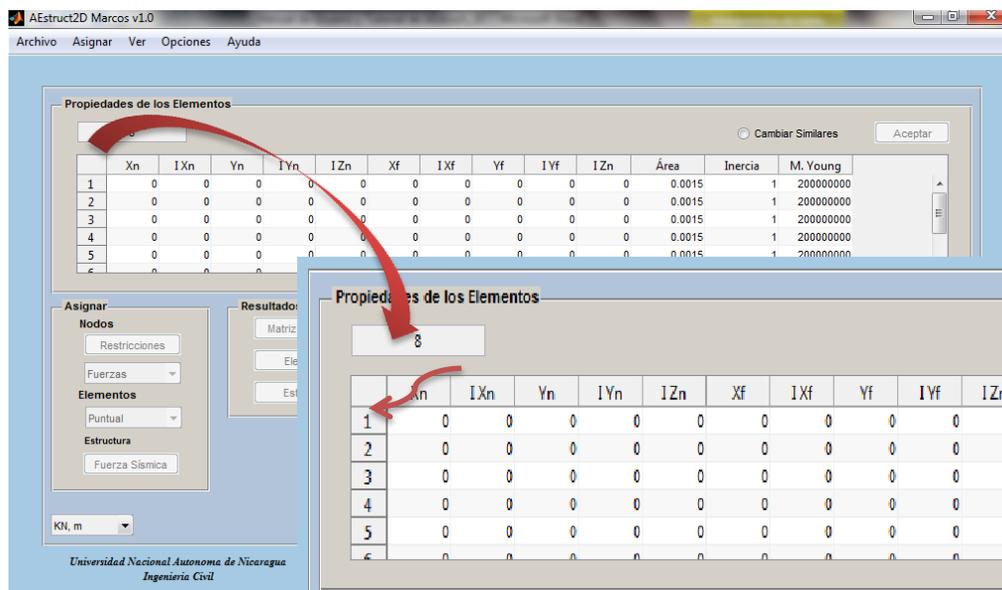


Figura 242. Marco II – Número de miembros

## ■ Datos de geometría de los elementos

Posterior a la introducción del número de elementos de la estructura, se procederá a introducir las coordenadas de los nodos, índices de grados de libertad y secciones de cada miembro, esto se realizara tal y como se menciona en el Manual.

Para asignar secciones a los miembros se debe ir a la barra de menús, en el menú “Asignar”, y seleccionar asignar propiedades a los elementos e inmediatamente aparecerá la ventana para la asignación de secciones, como las secciones rectangulares propuestas para el ejercicio no están en el menú de tipo de secciones, se deberán crear para ello se debe dar clic en el botón “Crear secciones”, para crear las secciones. Aquí se deben nombrar la sección, introducir los datos de altura y base de la sección y posteriormente dar clic en el botón “Agregar”, tal y como se muestra en la Figura 243. Al terminar de crear todas las secciones se debe presionar al botón listo.

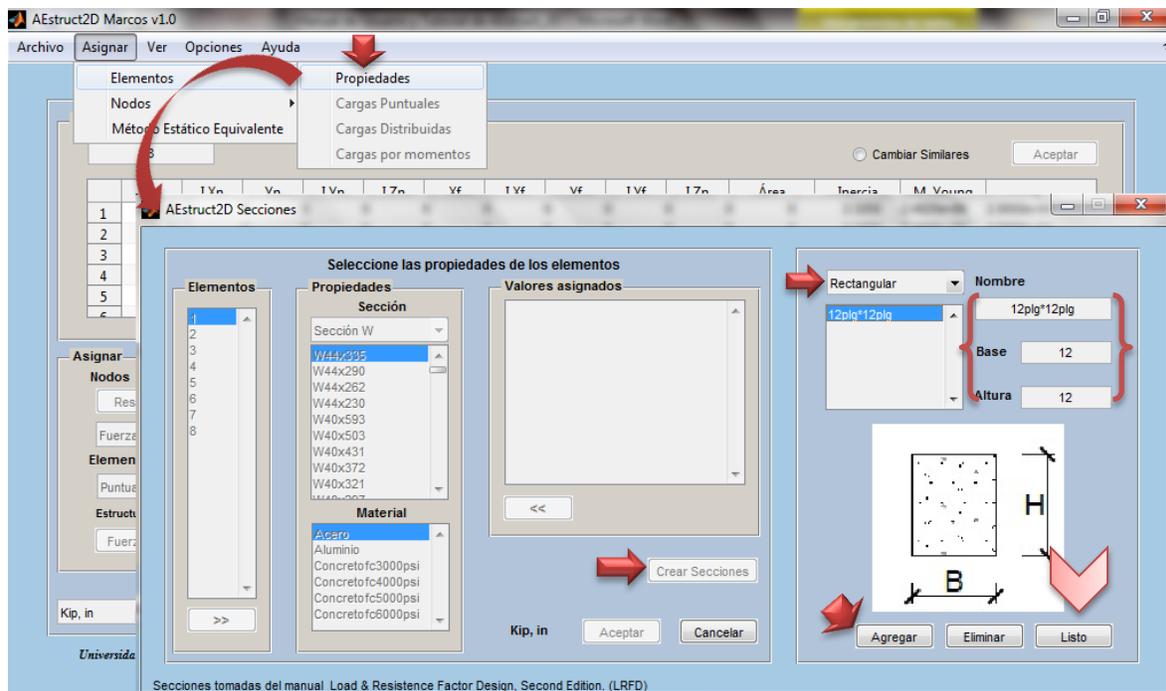


Figura 243. Marco II – Creación de secciones

Al terminar la creación de secciones se les deben asignar a los elementos, además del material, que en este caso es concreto con resistencia a la compresión de 3000 *Psi*, para ello se debe seguir con los pasos mostrados en la Figura 244. Las secciones creadas se pueden visualizar seleccionando en el menú de secciones la última opción llamada “Mis Secciones”

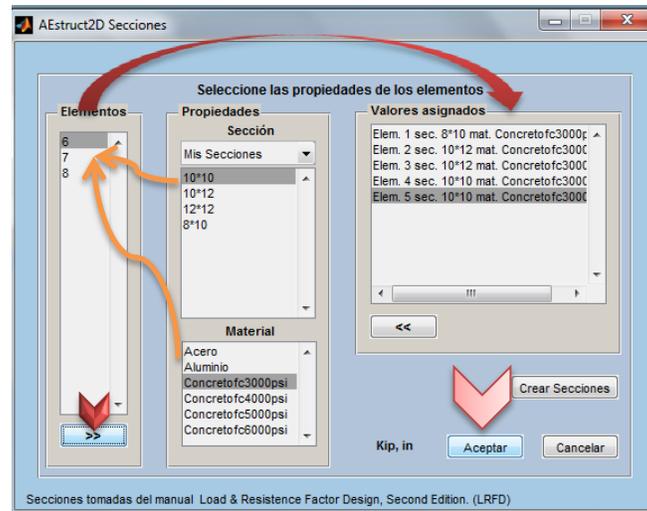


Figura 244. Marco II - Asignación de y material

Al terminar con la operación los datos de área, inercia y módulo de elasticidad de la tabla de inserción de datos serán asignados para cada elemento según las secciones y material seleccionados. Al finalizar la inserción de datos (coordenadas y grados de libertad de los nodos de cada elemento) se tendrá la matriz;

Tabla 23 Marco II - Datos de elementos

	Xn	Ixn	Yn	Iyn	Izn	Xf	Ixf	Yf	Iyf	Izf	Área	Inercia	M. Young
1	180	4	288	5	6	360	1	288	2	3	80	666.6667	29000
2	0	13	144	14	15	180	10	144	11	12	120	1.44E+03	29000
3	180	10	144	11	12	360	7	144	8	9	120	1.44E+03	29000
4	180	10	144	11	12	180	4	288	5	6	100	833.3333	29000
5	360	7	144	8	9	360	1	288	2	3	100	833.3333	29000
6	360	7	144	8	9	360	19	48	20	21	144	1.73E+03	29000
7	180	10	144	11	12	180	17	0	18	16	144	1.73E+03	29000
8	0	13	144	14	15	0	22	0	23	24	144	1.73E+03	29000

Quedando de esta forma;

	Xn	Ixn	Yn	Iyn	Izn	Xf	Ixf	Yf	Iyf	Izf	Área	Inercia	M. Young
1	180	4	288	5	6	360	1	288	2	3	80.0000	666.6667	29000
2	0	13	144	14	15	180	10	144	11	12	120.0000	1.4400e+03	29000
3	180	10	144	11	12	360	7	144	8	9	120.0000	1.4400e+03	29000
4	180	10	144	11	12	180	4	288	5	6	100.0000	833.3333	29000
5	360	7	144	8	9	360	1	288	2	3	100.0000	833.3333	29000
6	360	7	144	8	9	360	19	48	20	21	144.0000	1.7300e+03	29000
7	180	10	144	11	12	180	17	0	18	16	144.0000	1.7300e+03	29000
8	0	13	144	14	15	0	22	0	23	24	144.0000	1.7300e+03	29000

Figura 245. Marco II – Datos de geometría de los miembros

## ■ Visualizar estructura en AEstruct2D

Luego de la introducción de los datos de geometría se activa el botón “Aceptar”, este permitirá observar, en el cuadro de vista previa, el grafico completo de la estructura, sin embargo desde que el usuario introduce correctamente los grados de libertad del marco podrá visualizar el grafico y este se actualizara en cada cambio (Figura 248).

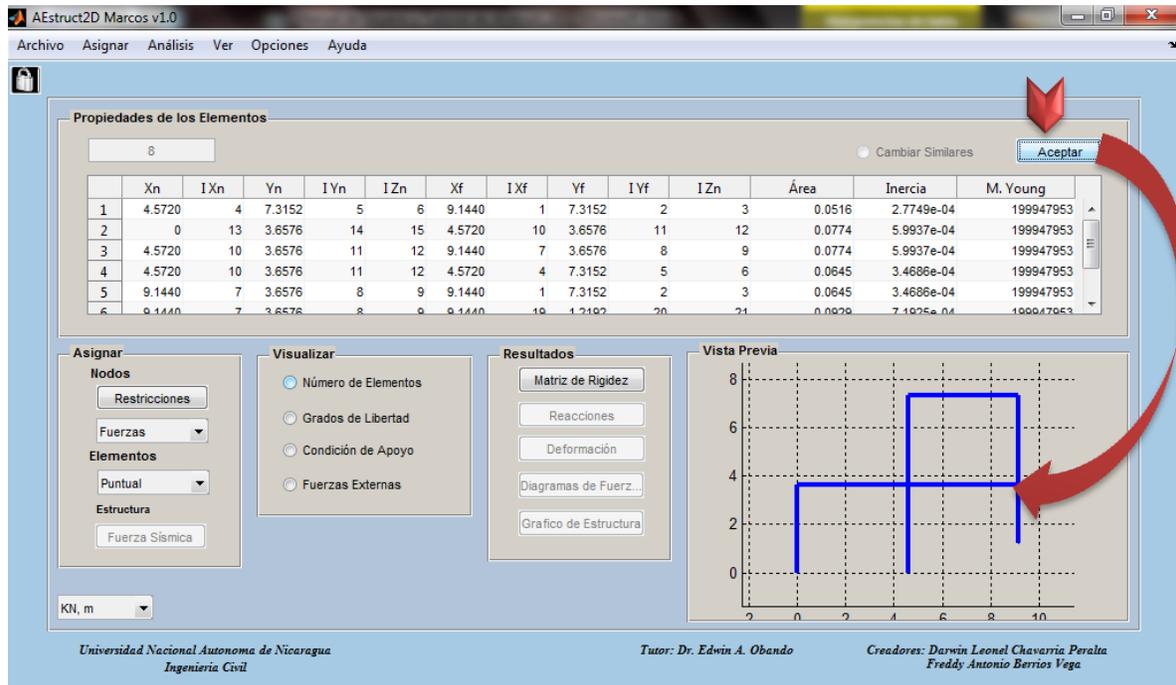


Figura 246. Marco II – Graficar el marco

## ■ Asignación de restricciones

Al presionar el botón “Aceptar” se activara el botón para la inserción de restricciones en los nodos libres de la estructura, al dar clic sobre el botón “Restricciones” aparecerá la ventana apreciada en la Figura 249, en la cual se cargan las coordenadas de los nodos libres y el menú para ingresar el tipo de restricción del nodo, en este menú seleccionaremos “Articulación” (Nodo 7) y “Empotramientos” (Nodos 1 y 8), ya que estos son el tipo de apoyo de la estructura bajo análisis. Para más información sobre esta función referirse al Manual.

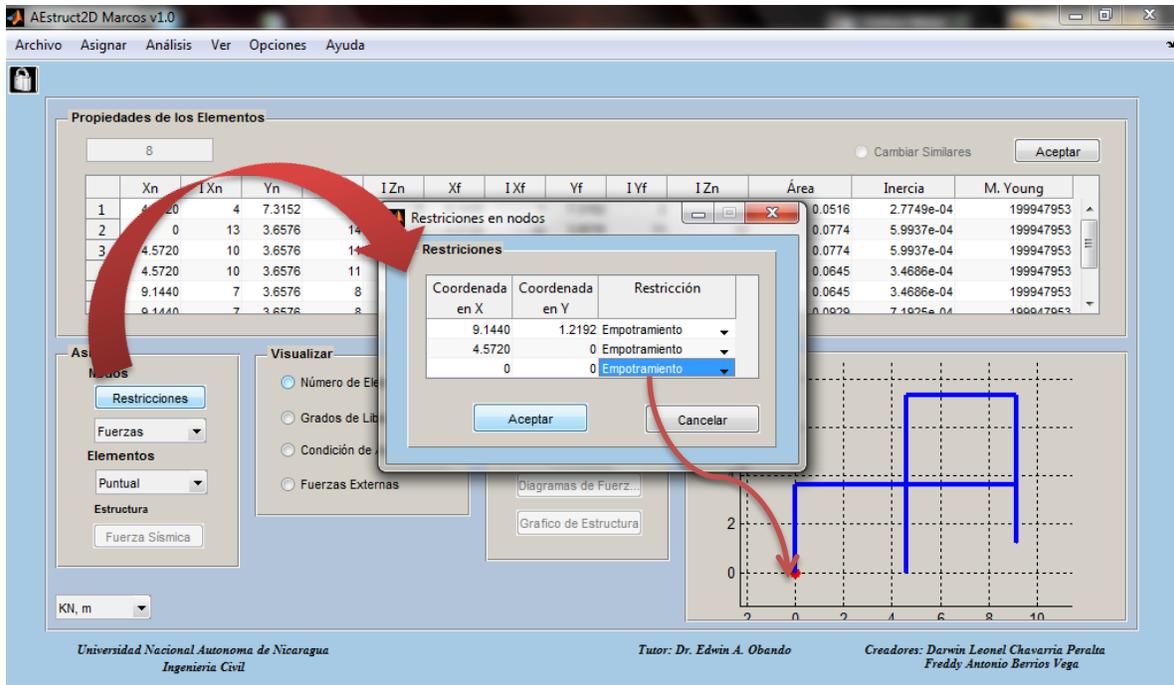


Figura 247. Marco II – Restricciones en los nodos

Al ingresar las reacciones en los nodos de la estructura se activaran las opciones de inserción de cargas sobre los miembros.

#### ■ Introducir Fuerzas Externas

A como se mencionó al ingresar las reacciones en los nodos de la estructura se activaran las opciones de inserción de cargas sobre los miembros. En este caso actúan cargas distribuidas y cargas puntuales, por tanto se procederá a la asignación de estas.

Las cargas distribuidas y las fuerzas puntuales se asignaran a como lo muestra la Figura 248 y 249, respectivamente. Los valores de  $k$  para las cargas puntuales, serán iguales a 0.5 ya que las cargas estarán al centro del claro, mientras que para las cargas distribuidas serán iguales a 0, debido a que las cargas actúan sobre todo el claro.

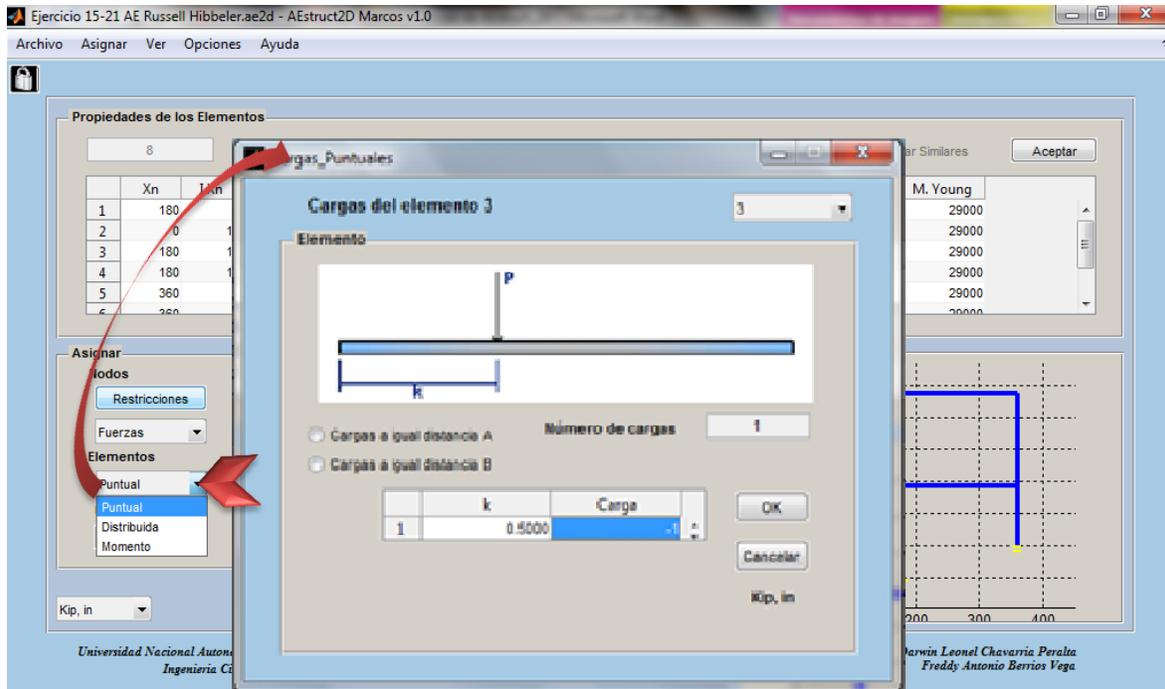


Figura 248.Marco II – Cargas puntuales

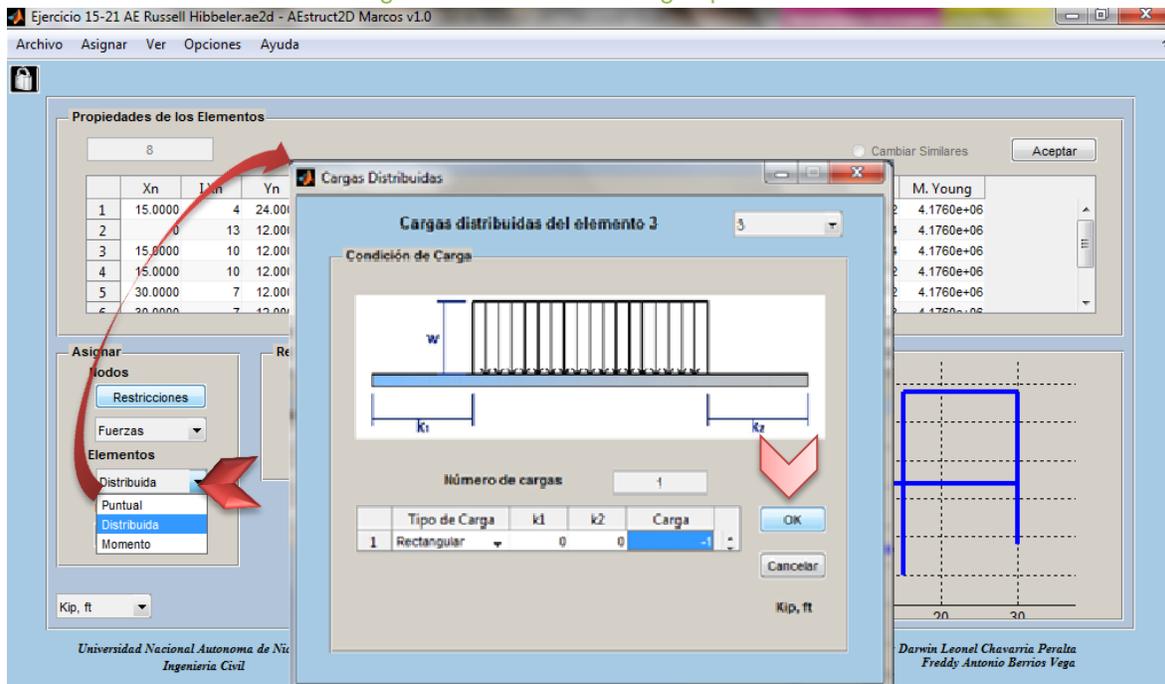


Figura 249.Marco II – Cargas distribuidas

En este análisis no se requiere la inserción de otro tipo de carga, si el usuario necesita ingresar otro tipo de carga sobre la estructura puede revisar el Manual de AEstruct2D, desde la página 194 en adelante.

## ■ Análisis de fuerzas laterales debidas a sismo

Luego de insertar las cargas que actúan sobre los miembros del marco, se procederá a realizar el análisis de fuerzas sísmicas usando el Método Estático Equivalente presentado por el RNC-07. Para ello, primeramente se deberá ir a la barra de menús y en el menú “Asignar” seleccionar la opción Método Estático Equivalente. Al hacer esto se activara el botón “Fuerza Sísmica” en el panel “Asignar”, entonces se deberá dar clic sobre este botón y se ostentara la ventana mostrada en la Figura 252. En esta ventana se deberán indicar los parámetros presentados en los datos de entada.

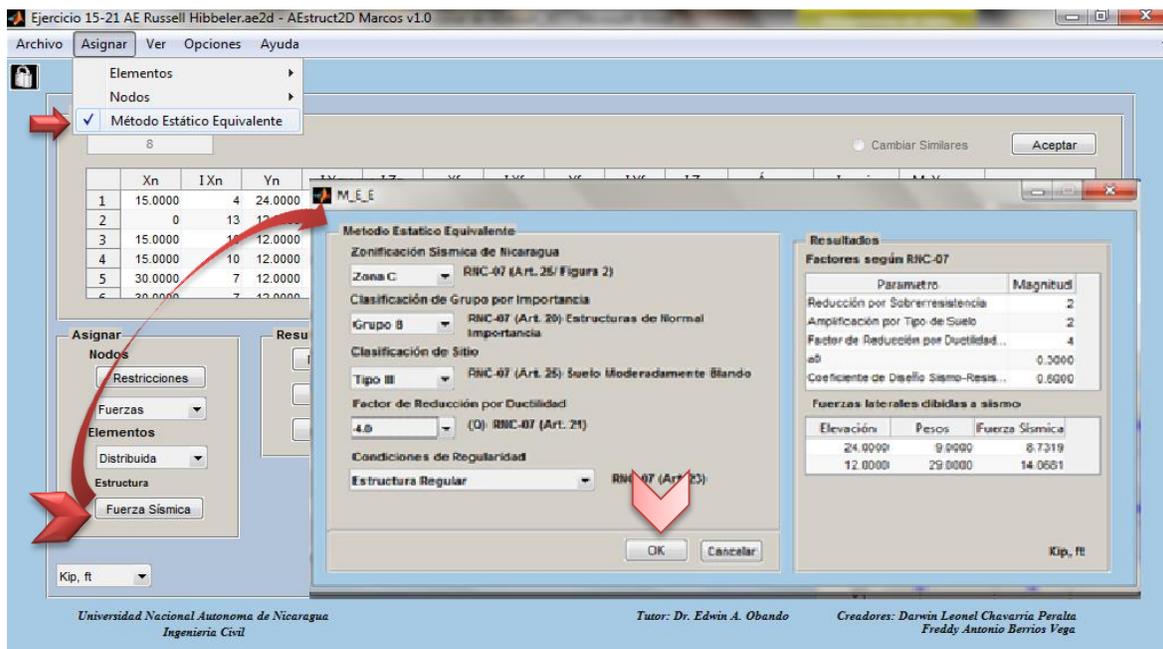


Figura 250. Marco II – Fuerzas sísmicas

Si se introducen correctamente los datos se deberán obtener para este caso los factores y las Fuerzas sísmicas mostradas en la Tabla 24.

Tabla 24 Marco II – Factores y Fuerzas Sísmicas calculadas

Factores calculados		
Reducción por Sobre-resistencia		2
Amplificación por Tipo de Suelo		2
Factor de Reducción por Ductilidad Reducido		4
a0		0.3
Coefficiente de Diseño Sismo-Resistente		0.6
Fuerzas laterales		
Elevación	Pesos	Fuerza Sísmica
24	9	8.7319
12	29	14.0681

### ■ Evaluación de los datos introducidos

Luego de ingresar las fuerzas se realizara el análisis del marco usando el comando Ctrl+R, calculando así Desplazamientos, Reacciones y Fuerzas Internas. Estos resultados pueden se visualizados gráficamente o bien exportados a un documento de Excel.

### ■ Visualización de Resultados

La matriz de rigidez de la estructura podrá ser visualizada presionando el botón “Matriz de rigidez”, para mayor información de sobre la obtención de la matriz de rigidez el usuario puede revisar el inciso 2.5.13 del Manual.

Gráficamente se pueden visualizar las reacciones y desplazamientos desde la ventana emergente para la visualización del gráfico de la estructura, en la figura se muestra las reacciones obtenidas (flechas color blanco), los desplazamientos en el nodo número 4 (texto color blanco) y la deformación del marco (líneas color rojo). Para mayor información sobre las opciones de esta ventana revisar el inciso 2.5.14 del Manual.

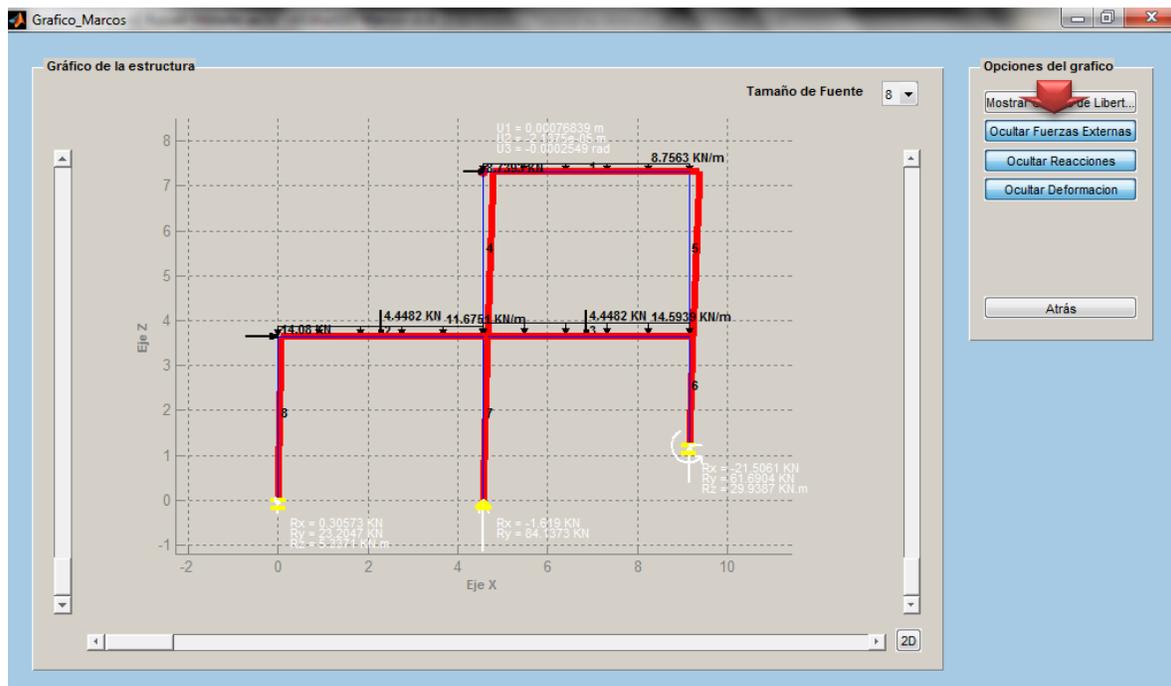


Figura 251. Marco II – Visualización grafica de los resultados

Para visualizar las fuerzas internas en los elementos se debe presionar el botón “Gráficos de Elementos” de la ventana de análisis de marcos planos, mostrándose consecuentemente la ventana ostentada en la Figura 252, donde se aprecia el diagrama de momento flexionante del elemento número 3 de la estructura.



Figura 252.Marco II – Visualización grafica de fuerzas internas

La otra opción para obtener los resultados del análisis es exportando los datos a un archivo de Excel, a como se mencionó anteriormente esta función es ejecutada desde la barra de menús exactamente desde el menú para el manejo de archivos (pag.303), este permitirá la visualización de la matrices de rigidez de los elementos y de la estructura, los desplazamientos en los nodos de la estructura, reacciones en los apoyos y fuerzas internas en los elementos. En la Tabla 25 se muestran los desplazamientos y reacciones obtenidas y la Tabla 26 muestra las fuerzas externas en los elementos;

Tabla 25 Marco II - Desplazamientos y Reacciones obtenidas

Grado de Libertad	Desplazamiento	Reacciones
1	0.00076453	0
2	-1.4641E-05	0
3	6.5666E-05	0
4	0.00076839	0
5	-2.1375E-05	0
6	-0.0002549	0
7	0.00025755	0
8	-8.098E-06	0
9	-6.305E-05	0
10	0.00026133	0
11	-1.6567E-05	0
12	-2.1244E-05	0

Tabla 26 Marco II – Fuerzas Internas obtenidas

Elem	1	2	3	4	5	6	7	8
xn'	8.7044	14.386	12.8017	16.957	23.0775	61.6904	84.1373	23.2047
yn'	16.9565	23.205	32.5587	0.0350	8.7044	21.5061	1.6190	-0.3057
zn'	4.3664	6.4553	22.1396	4.494	13.4779	22.5016	5.9218	-6.4553
xf'	-8.7044	-14.386	-12.8017	-16.956	-23.0775	-61.69	-84.137	-23.205
yf'	23.0775	34.622	38.6129	-0.0350	-8.7044	-21.506	-1.6190	0.3057
zf'	-18.359	-32.556	-35.9795	-4.366	18.3592	29.9387	0.0000	5.3371

Recuerde que puede guardar el análisis con la función “Guardar como”, que puede ser ejecutada con el comando “Ctrl+S”.