

MANUAL DE MODELAMIENTO EN ANSYS + CIVILFEM PARA PORTICOS

IVAN JULIAN BADILLO MEJIA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2009

MANUAL DE MODELAMIENTO EN ANSYS + CIVILFEM PARA PORTICOS

IVAN JULIAN BADILLO MEJIA

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el titulo de
INGENIERO CIVIL**

**Director:
RICARDO A. CRUZ HERNANDEZ.
INGENIERO CIVIL Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

AGRADECIMIENTOS

Al director de proyecto, Ingeniero Ricardo Cruz Hernández, por su apoyo, colaboración y conocimiento que permitieron el desarrollo de este trabajo de investigación, trasmitiéndome toda su inmensa experiencia.

A mi familia por todo su apoyo incondicional en los momentos mas difíciles, por su paciencia y confianza, que es lo realmente importante en el objetivo de ser un gran ingeniero.

A la Universidad Industrial de Santander, por permitir crecer como una persona integral e inculcarme la ética y honestidad, para así poder desempeñarme como un verdadero profesional.

DEDICATORIA

A mis Padres Ángela Y Juan por su apoyo
por brindarme su amor y comprensión incondicional, por inculcarme el
sentido de responsabilidad.

A mi hermana Sandra por servirme de ejemplo.

A mi hijo Santiago que con su amor harán de mi
una mejor persona cada día.

A mi familia por acompañarme todos estos años.

A mis amigos por sus consejos y voz de aliento.

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

Iván Julián Badillo Mejía.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
2. GENERALIDADES DEL PROGRAMA ANSYS+CIVILFEM	3
3.2. ETAPA SOLUCIÓN.	54
3.3. ETAPA POSTPROCESO.	54
3.3.1 Postproceso en Ansys.	54
3.3.2. Postproceso en Civilfem.	58
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5. BIBLIOGRAFIA	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Ventana menú de utilidades.	5
Figura 2.2. Ventana de comandos.	5
Figura 2.3. Barra de acceso rápido.	6
Figura 2.4. Ventana menú principal.	6
Figura 2.5. Ventana de salida.	7
Figura 2.6. Ventana de gráficos.	7
Figura 3.1. Ventana de inicio.	8
Figura 3.2. Entorno gráfico Ansys+Civildfem.	9
Figura 3.3. Ventana de activación módulo CivilFEM.	9
Figura 3.4. Tabla de normas	10
Figura 3.5. Ventana Civilfem Setup Options.	11
Figura 3.6. CivilFEM Setup Options.	12
Figura 3.7. Ventana para definir nombre del modelo.	12
Figura 3.8. Ventana para adecuación de ejes coordenados.	13
Figura 3.9. Ventana para establecer parámetros del plano de trabajo.	14
Figura 3.10. Plano de trabajo.	14
Figura 3.11. Tabla de Keypoints.	15
Figura 3.12. Ingreso de Keypoints.	16

Figura 3.13. Ventana de creación de los Keypoints.	16
Figura 3.14. Distribución de los Keypoints.	17
Figura 3.15. Ventana Offset WP.	18
Figura 3.16. Rotación plano de trabajo.	19
Figura 3.17. Ventana de creación de los Keypoints.	20
Figura 3.18. Distribución de Keypoints en el Plano de trabajo.	20
Figura 3.19. Ventana Offset Wp.	21
Figura 3.20. Traslación Plano de trabajo.	22
Figura 3.21. Distribución de los Keypoints.	23
Figura 3.22. Ventana para la creación de líneas.	24
Figura 3.23. Vista modelo.	25
Figura 3.24. Ventana exploradora de materiales.	26
Figura 3.25. Ventanas para seleccionar el concreto.	27
Figura 3.26. Ventanas para seleccionar el acero de refuerzo.	28
Figura 3.27. Vista de los materiales definidos.	28
Figura 3.28. Esquema elemento Beam4	29
Figura 3.29. Ventana tipo de elementos.	30
Figura 3.30. Esquema sección transversal viga.	31
Figura 3.31. Esquema sección transversal columnas.	32
Figura 3.32. Ventana exploradora de secciones transversales.	33
Figura 3.33. Ventana definición forma y dimensiones de la sección.	33
Figura 3.34. Sección transversal para vigas definida.	34
Figura 3.35. Ventana para modificar secciones transversales.	35

Figura 3.36. Ventana para la seccion1.	35
Figura 3.37. Ventana propiedades de refuerzo superior.	36
Figura 3.38. Ventana para la sección1 modificada (refuerzo superior).	37
Figura 3.39. Ventana propiedades de refuerzo inferior.	38
Figura 3.40. Ventana para la seccion1 modificada.	38
Figura 3.41. Tabla de variables para modificar la sección en columnas.	39
Figura 3.42. Ventana de propiedades a nivel de pieza.	40
Figura 3.43. Ventana exploradora de propiedades a nivel de pieza.	41
Figura 3.44. Ventana propiedades a nivel de pieza para vigas.	42
Figura 3.45. Ventana propiedades de vigas definida.	44
Figura 3.46. Ventana propiedades a nivel de pieza para columnas.	44
Figura 3.47. Ventana propiedades de columnas definidas.	45
Figura 3.48. Ventana de constantes reales.	45
Figura 3.49. Ventana menú grafico de enmallado.	46
Figura 3.50. Ventana opciones de enmallado.	47
Figura 3.51. Pórtico con las opciones de enmallado establecidas.	47
Figura 3.52. Ventana 1 de atributos del enmallado.	48
Figura 3.53. Ventana 2 de atributos del enmallado.	49
Figura 3.54. Ventana control de numeración.	49
Figura 3.55. Pórtico enmallado y con numeración de elementos activa.	50
Figura 3.56. Ventana aplicación de restricciones de movimiento.	51
Figura 3.57. Vista pórtico con restricciones definidas.	51
Figura 3.58. Numeración de ejes del modelo.	52

Figura 3.59. Ventana de aplicación de cargas distribuidas.	52
Figura 3.60. Tabla asignación de cargas.	53
Figura 3.61. Modelo con la aplicación de cargas distribuidas.	53
Figura 3.62. Ventana proceso de solución en Ansys.	54
Figura 3.63. Ventana para dibujar deformación del pórtico.	55
Figura 3.64. Vista del pórtico deformado.	55
Figura 3.65. Ventana solución nodal para desplazamientos.	56
Figura 3.66. Lista resultados deformaciones.	56
Figura 3.67. Ventana solución nodal para rotaciones.	57
Figura 3.68. Vista modelo de deflexiones.	57
Figura 3.69. Lista resultados de deflexiones.	58
Figura 3.70. Vista modelo diagramas fuerzas cortantes.	59
Figura 3.71. Vista modelo diagramas momentos.	59
Figura 3.72. Ventana para seleccionar componente a graficar.	60
Figura 3.73. Vista modelo de chequeo de stress.	60
Figura 3.74. Ventana para graficar resultados del concreto reforzado "ELM_OK".	61
Figura 3.75. Vista modelo elementos OK y elementos no OK de fuerzas axiales y flexión.	62
Figura 3.76. Ventana para graficar resultados del concreto reforzado "CRT_TOT".	62
Figura 3.77. Vista modelo chequeo fuerzas axiales + flexión.	63
Figura 3.78. Ventana para generar lista de resultados.	63
Figura 3.79. Lista de resultados.	64

Figura 3.80. Ventana chequeo torsión.	65
Figura 3.81. Ventana para graficar resultados del concreto reforzado "CRTTC".	65
Figura 3.82. Vista modelo chequeo a torsión.	66
Figura 3.83. Ventana para chequeo cortante.	66
Figura 3.84. Ventana para graficar resultados del concreto reforzado "VC".	67
Figura 3.85. Vista modelo fuerzas cortantes.	67
Figura 3.86. Ventana para chequear fisuración.	68
Figura 3.87. Ventana para graficar resultados del concreto reforzado "ELM_OK".	68
Figura 3.88. Vista modelo elementos OK y elementos no OK de chequeos de fisuración.	69
Figura 3.89. Ventana de resultados de secciones transversales.	69
Figura 3.90. Vista resultados de stress de la sección transversal.	70
Figura 3.91. Ventana para definir espectro.	71
Figura 3.92. Ventana para obtener la solución modal.	72
Figura 3.93. Ventana para definir el rango del periodo.	72
Figura 3.94. Vista del espectro.	73
Figura 3.95. Vista modelo fuerzas axiales + flexión.	74
Figura 3.96. Vista modelo elementos OK y elementos no OK de fuerzas axiales + flexión.	74
Figura 3.97. Vista modelo Chequeo cortante.	75
Figura 3.98. Vista modelo Chequeo torsión.	75

Figura 3.99. Vista modelo elementos OK y elementos no OK de chequeo de fisuración.

RESUMEN

TITULO: MANUAL DE MODELAMIENTO EN ANSYS + CIVILFEM PARA PORTICOS.¹

AUTOR: BADILLO MEJIA, Iván Julián²

PALABRAS CLAVES: Elementos finitos, herramientas computacionales, estructuras, efectos de cargas.

DESCRIPCION:

La utilización de programas computacionales es de gran utilidad y ayuda en el campo de la investigación en ingeniería civil.

Tener conocimiento del comportamiento de las estructuras, bajo los efectos de cargas que actúan sobre ellas, es de vital importancia para el diseño de cada uno de los elementos que hacen parte de estas estructuras. Para la elaboración de estos diseños nos basamos en métodos convencionales, y gracias al avance tecnológico contamos con el apoyo de herramientas computacionales que permiten obtener modelos de las estructuras que se asemejan a la realidad en su comportamiento estructural.

El objetivo de esta investigación es el desarrollo de un manual para el modelamiento de pórticos con la utilización como herramienta computacional Ansys+Civildem, programa basado en el método de elementos finitos.

Ansys + Civilfem es un programa diseñado a la medida de ingenieros y arquitectos, el cual permite determinar todos los diferentes tipos de variables necesarias, como son la implementación de diferentes normas técnicas, la definición de tipos de materiales del modelo, especificar propiedades geométricas y estructurales de los elementos, acceder a graficas y tablas para la visualización de los resultados obtenidos entre otras. Con este manual se facilita el entendimiento, comprensión y aprendizaje de los procedimientos indispensables en la elaboración de diferentes proyectos.

¹ Tesis de Grado.

² Facultad De Ingenierías Físico Mecánicas. Ingeniería Civil. ING. RICARDO ALFREDO CRUZ HERNANDEZ.

SUMMARY

TITLE: MANUAL OF MODEL IN ANSYS + CIVILFEM FOR PORTICOS¹

AUTOR: BADILLO MEJIA Iván Julián²

KEY WORDS: Finite elements, computational tools, structures, effects of loads.

DESCRIPTION:

The use of computational programs is of great utility and it helps in the field of the investigation in civil engineering.

To have knowledge of the behavior of the structures, under the effects of loads that act on them, is of vital importance for the design of each one of the elements that make part of these structures. For the elaboration of these designs we base ourselves on conventional methods, and thanks to the technological advance we have the support of computational tools that allow obtaining models of the structures that resemble each other to the reality in their structural behavior.

The objective of this investigation is the development of a manual for the model of porticos with the use like computational tools Ansys+Civlfem, programs based in the method of finite elements.

Ansys + Civilfem is a designed program to the measure of engineers and architects, which allows to determine all the different types of necessary variables, like are the implementation of different technical norms, the definition of types of materials of the pattern, to specify geometric and structural properties of the elements, to accede to graphics and charts for the visualization of the obtained results among others. This manual provided us understanding, comprehension and learning of the indispensable procedures in the elaboration of different projects.

¹- Thesis of degree.

²- Faculty of physique mechanic engineering. Civil engineering. Engineer RICARDO ALFREDO CRUZ HERNANDEZ.

1. INTRODUCCION

El Análisis Estructural es la parte del proceso de proyecto que comprende el diseño, cálculo y comprobación de la estructura. Es esta una disciplina técnica y científica que permite establecer las condiciones de idoneidad de la estructura, respecto a su cometido o finalidad. Por tanto, tiene establecido su objeto en la estructura y su finalidad en el cálculo como comprobación de lo diseñado.

Una de las teorías de modelamiento de estructuras es el método de elementos finitos, el cual se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo.

Actualmente existen una gran variedad de programas para diseñar y resolver modelos estructurales como: SAP200, COSMOS, ATIR, ADINA, ALGOR, entre muchos otros. Siendo ANSYS+CIVILEM, un software que utilizando el método de elementos finitos permite el fácil manejo en los algoritmos numéricos, rapidez en los cálculos y precisión en la respuesta hace que este a la vanguardia de los demás programas.

Ansys+Civildem es un Programa basado en el método de Elementos Finitos, el cual esta diseñado para desarrollar cálculos y análisis estructurales de gran ayuda en la ingeniería civil, Arquitectura, como también en el campo de la geotecnia.

Ansys+Civildem es una herramienta indispensable hoy por hoy, ya que el programa incluye análisis lineales, no lineales, parametrización y optimización de cualquier variable, análisis estáticos y dinámicos de acuerdo con los

requerimientos y necesidades de la Industria de la Construcción y Minera. Además cuenta con módulos específicos para cálculos de puentes, estructuras pretensadas y cálculos geotécnicos.

Con Ansys+Civildem se pueden realizar una gran cantidad de proyectos como son: edificios, estadios, puentes, cálculos sísmicos, túneles, presas, estructuras marinas, análisis geotécnicos, además se pueden realizar controles de calidad y análisis de patología en la construcción.

En el presente libro se ilustra paso a paso como se modela un pórtico mediante el programa Ansys+Civildem, desde una breve descripción de su entorno grafico, así como una explicación detallada de cada una de las etapas que componen el método de elementos finitos. Etapa de preproceso, etapa de solución y por último la etapa de postproceso.

Así, el propósito de este libro es ser una guía para estudiantes e ingenieros que requieran conocer, estudiar o aplicar el software en el ejercicio de su vida profesional cuando sea necesario.

Objetivos del proyecto

- Crear secciones transversales en los elementos
- Realizar modificaciones en las secciones transversales de concreto, con el fin de adicionar los aceros de refuerzo.
- Definir las propiedades a nivel de pieza y propiedades de vigas según la norma que se esté utilizando.
- Realizar diseños sísmicos de las estructuras.

2. GENERALIDADES DEL PROGRAMA ANSYS+CIVILFEM

Elementos finitos.

Muchos de los problemas de ingeniería están gobernados por ecuaciones diferenciales o integrales. La complejidad de la geometría o de las condiciones de frontera halladas en muchos de los problemas del mundo real impide obtener una solución exacta del análisis considerado, por lo tanto se recurre a técnicas numéricas de solución de las ecuaciones que gobiernan los fenómenos físicos. El método de los elementos finitos es una de estas técnicas numéricas, muy apropiada para su implementación en computadores dada su facilidad en el manejo de algoritmos numéricos, rapidez en los cálculos y precisión en la respuesta.

En el método de elementos finitos, el dominio se divide en un número finito de formas simples denominadas elementos. Las propiedades y todas sus relaciones se asumen sobre estos elementos, y a su vez estos elementos se expresan matemáticamente en valores desconocidos en puntos específicos de los elementos denominados nodos. Estos nodos sirven de conexión entre elementos.¹ El método de los elementos finitos convierte las condiciones de equilibrio en un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales o no lineales en función de los desplazamientos nodales. Después de obtener la solución de las ecuaciones se pueden hallar las deformaciones y los esfuerzos en los elementos. A medida que se utiliza un mayor número de elementos para representar la estructura, los esfuerzos se acercan más al estado de equilibrio con cargas aplicadas. Por consiguiente un modelo de elementos finitos se aproxima a la solución real del problema a medida que se incrementan la densidad de elementos.

¹ www.estructuras.unal.edu.co. Maestría y especialización en estructuras.

La principal limitación de los métodos de elementos finitos radica en que la precisión de los resultados depende de la densidad de elementos utilizada. En análisis estructurales, cualquier región con alta concentración de esfuerzos debe ser cuidadosamente analizada mediante un enmallado suficientemente fino para obtener resultados confiables.¹

Las principales fuentes de error en una solución por elementos finitos son los errores de discretización, de formulación y los errores numéricos.

Los errores de discretización se generan de transformar el sistema físico en un modelo de elementos finitos y pueden estar relacionados a una pobre representación geométrica del elemento deseado o una simplificación excesiva del elemento presentado.

Los errores de formulación surgen del uso de elementos que no describen de forma precisa el comportamiento del problema físico. Los errores numéricos ocurren del resultado de los procedimientos numéricos de cálculo, incluyen errores de truncamiento y de redondeo, por lo tanto este error concierne más a los diseñadores del software que a los usuarios.

Todas las herramientas informáticas actuales que emplean el método de los Elementos Finitos tienen tres etapas bien diferenciadas.

- **Preprocesador:** funciona como un paquete; permite construir el modelo y añadir las cargas y las restricciones deseadas.
- **Solucionador:** permite ensamblar y resolver el sistema algebraico de ecuaciones que representan el sistema físico.

¹ www.uestructuras.unal.edu.co. Maestría y especialización en estructuras.

- **Postprocesador:** facilita la manipulación de los resultados numéricos, bien sea en forma de listas, tablas o en forma gráfica.

La solución de cualquier problema utilizando el método de elementos finitos contempla los siguientes pasos:

- a) Especificar la geometría. Esto puede hacerse dibujando la geometría directamente en el software o importando el modelo.
- b) Definir el tipo de elementos y las propiedades del material
- c) Enmallar el objeto
- d) Aplicar condiciones de frontera y cargas externas
- e) Generar la solución
- f) Postprocesamiento. Los datos obtenidos como resultado pueden visualizarse a través de graficas o dibujos¹.

El entorno gráfico de Ansys+Civildem se compone de seis ventanas:

- **Menú de utilidades (Ansys Menú):** contiene funciones de aplicación general como control de archivos, de selección, de gráficos y otros parámetros del programa.

Figura 2.1. Ventana menú de utilidades.



- **Ventana de comandos (Ansys Input):** muestra mensajes del programa y permite la introducción de comandos mediante el teclado.

Figura 2.2. Ventana de comandos.



¹ www.uestructuras.unal.edu.co. Maestría y especialización en estructuras.

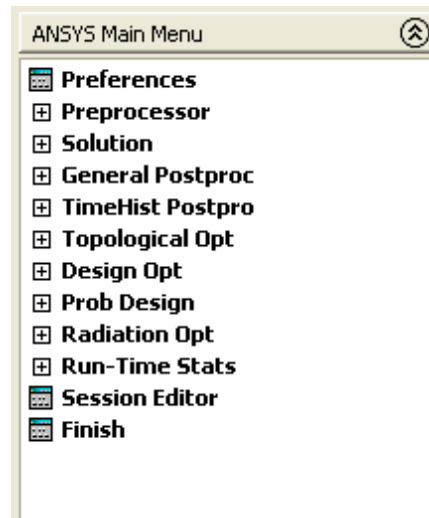
- **Barra de acceso rápido (Ansys Toolbar):** Permite acceder a las funciones más comunes del programa; se puede personalizar agregando o quitando botones.

Figura 2.3. Barra de acceso rápido.



- **Menú principal (Ansys Main Menu):** Contiene las principales funciones de Ansys+Civildem; está organizado por procesadores sugiriendo la secuencia de ejecución de los comandos¹.

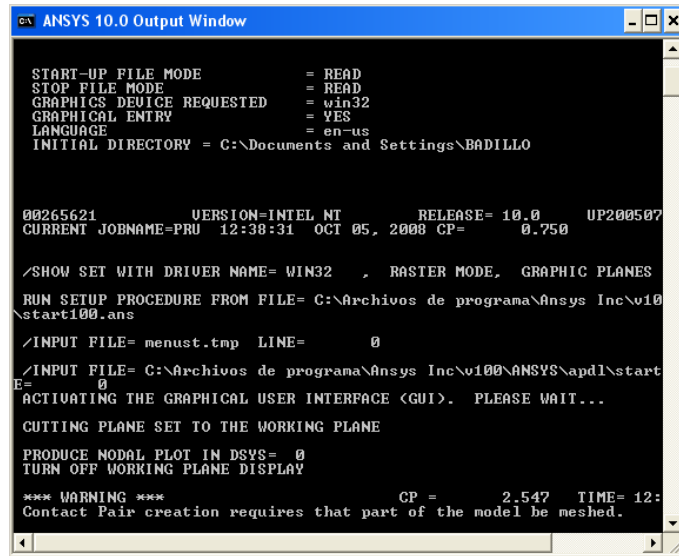
Figura 2.4. Ventana menú principal.



- **Ventana de salida (Ansys Output Windows):** Muestra los mensajes de salida del programa.

¹ www.uestructuras.unal.edu.co. Maestría y especialización en estructuras.

Figura 2.5. Ventana de salida.



- **Ventana de gráficos (Ansys Graphics Windows):** muestra los gráficos generados por el programa.

Figura 2.6. Ventana de gráficos.



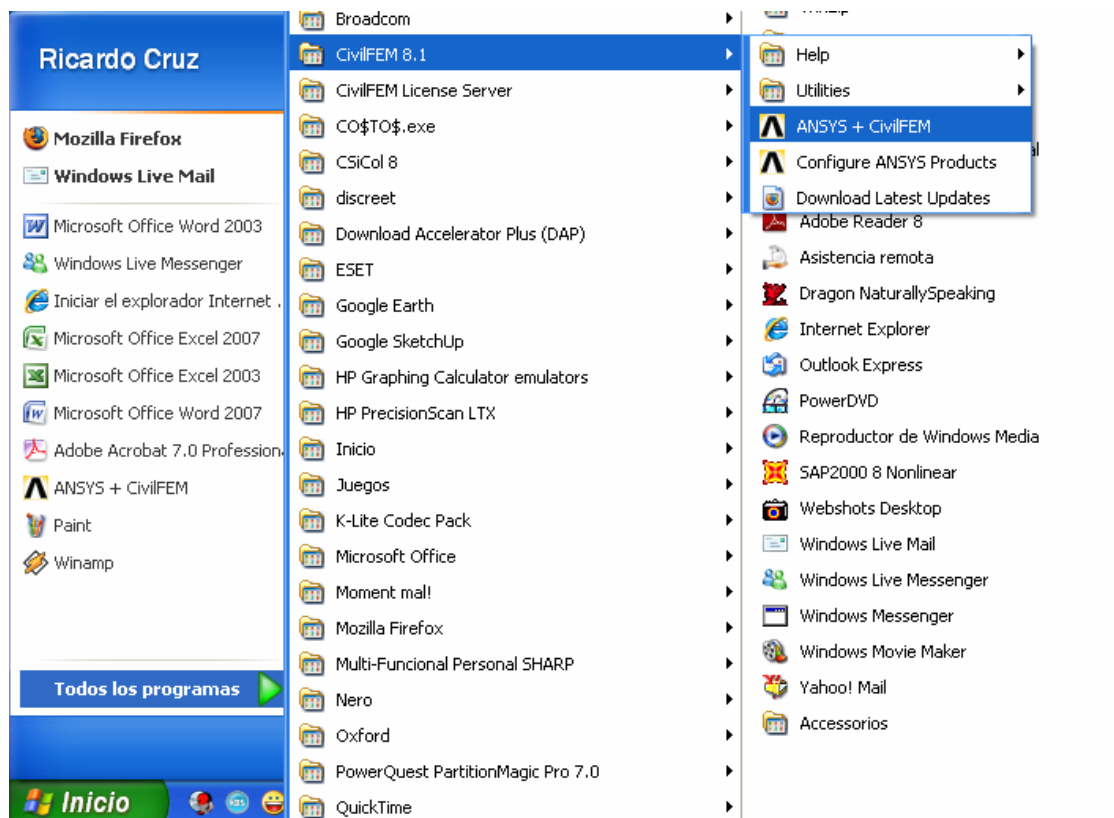
3. PROCEDIMIENTO PARA EL MODELAMIENTO

3.1. ETAPA PREPROCESO.

Inicio del programa

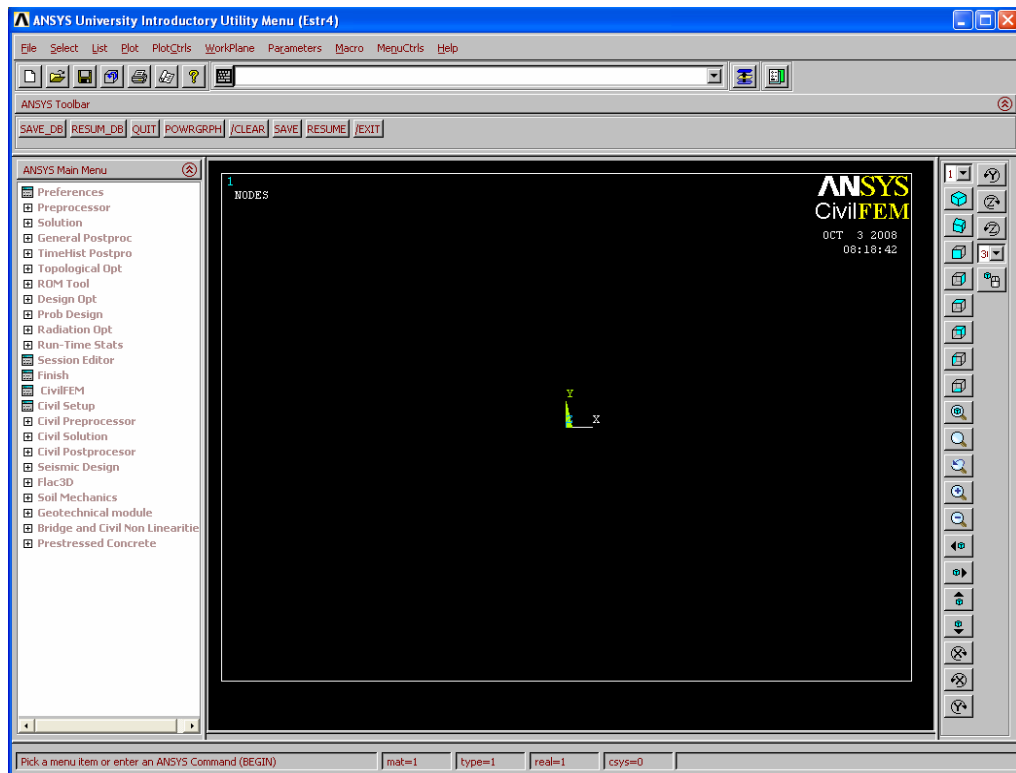
Se inicia seleccionando desde la barra de herramientas: **Inicio > Programas > Civilfem > Ansys+Civilfem.**

Figura 3.1. Ventana de inicio.



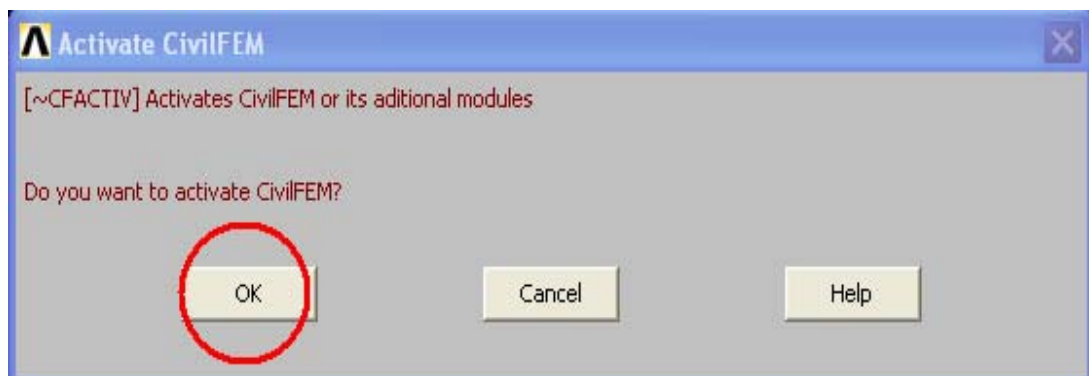
A continuación accederá al entorno gráfico de Ansys+Civilfem.

Figura 3.2. Entorno gráfico Ansys+Civildfem.



Desde el menú principal de Ansys+Civildfem (Main Menu) seleccione la opción “CivilFEM” para poder activar los módulos adicionales y a continuación haga “Clic” en “OK” para activar dichos módulos.

Figura 3.3. Ventana de activación módulo CivilFEM.



Norma

Ansys+Civildem permite tener simultáneamente cuatro normas activas: una para los cálculos relativos a estructuras de hormigón armado, otra para los cálculos relativos a hormigón pretensado, otra para los cálculos relativos a estructuras de acero y otra para los cálculos sísmicos.

Por defecto las normas activas para cada tipo de cálculo son:

Acero estructural: Eurocódigo No. 3

- Hormigón armado: Eurocódigo No. 2
- Hormigón pretensado: Eurocódigo No. 2
- Cálculo sísmico: Eurocódigo No. 8

A continuación se muestra la lista de normas que soporta CivilFem.

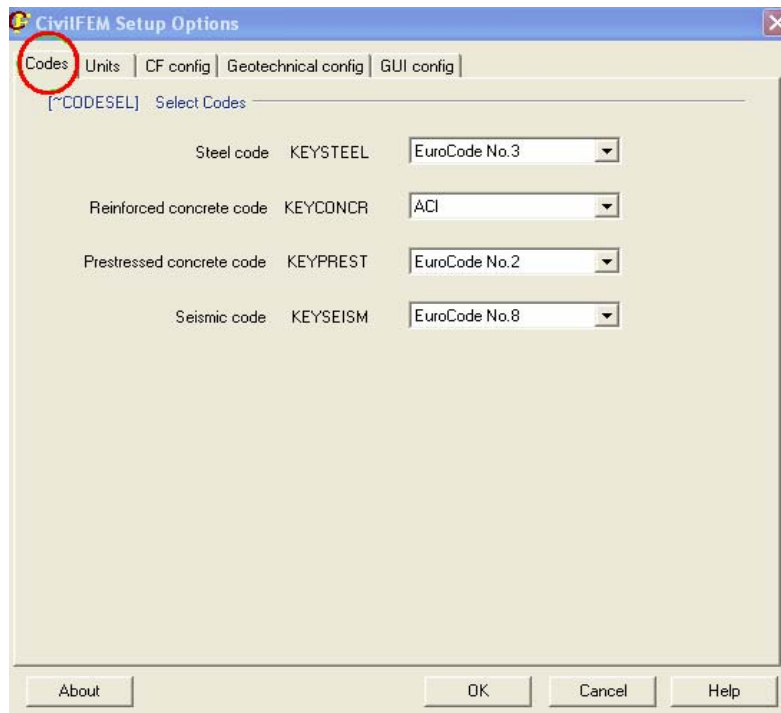
Figura 3.4. Tabla de normas.¹

Clave	Norma	Descripción
EC3	Eurocódigo No.3	Europea de acero estructural
LRFD	AISC LRFD	Americana de acero estructural
EA	EA-95	Española de acero estructural
BS595085	BS 5950-1985	British Standard de acero
BS595001	BS 5950-2001	British Standard de acero
EC2	Eurocódigo No.2	Europea hormigón
ACI	ACI-318	Americana de hormigón
EHE	EHE	Española de hormigón
CEB	CEB-FIP 1990	Código modelo de hormigón
BS8110	BS 8110	British Standard de hormigón
AS3600	AS3600	Norma Australiana de hormigón
GB50010	GB50010	Norma China de hormigón
EC8	Eurocódigo No.8	Europea de análisis sísmico
NCSE94	NCSE-94	Española de análisis sísmico
GB50011	GB50011	Norma China de análisis sísmico

¹ Manual de Teoría de CivilFEM. Primera Edición. Ingeciber, S.A

En el menú principal seleccione “Civil Setup” y en la carpeta “Codes” agregue las diferentes normas como se muestra en la figura 3.5.

Figura 3.5. Ventana Civilfem Setup Options.



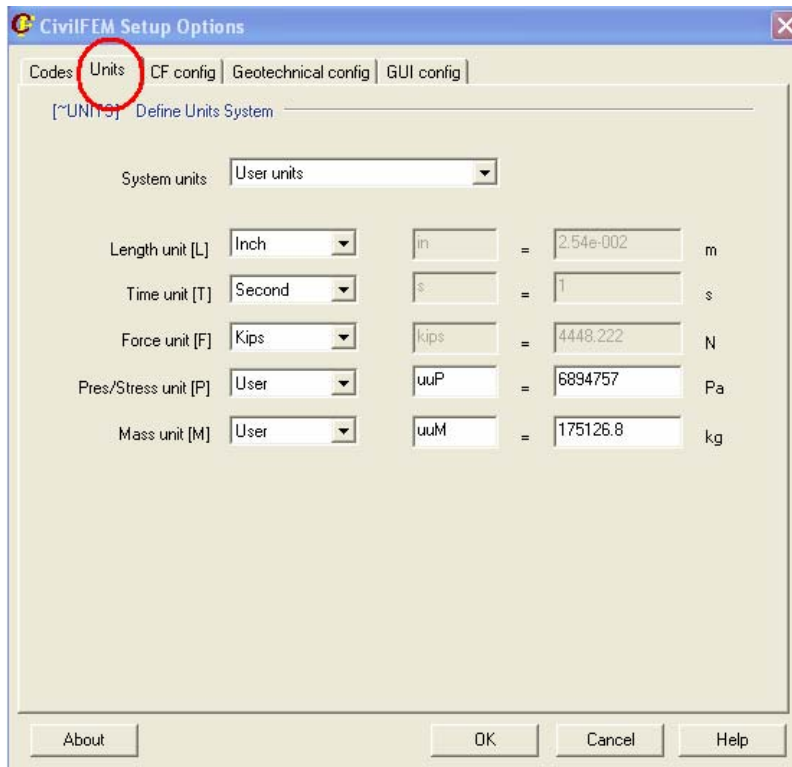
Selección de unidades

Ansys+Civilfem permite trabajar con cualquier sistema de unidades consistente, sin embargo es necesario establecer el sistema de unidades en el que se va a trabajar.

El sistema de unidades debe fijarse al comienzo del proyecto y no debe cambiarse posteriormente.

Para seleccionar el sistema de unidades de “Clic” en “Civil Setup” y en la carpeta “UNITS” agregue los diferentes tipos de unidades como se muestra en la siguiente figura 3.6.

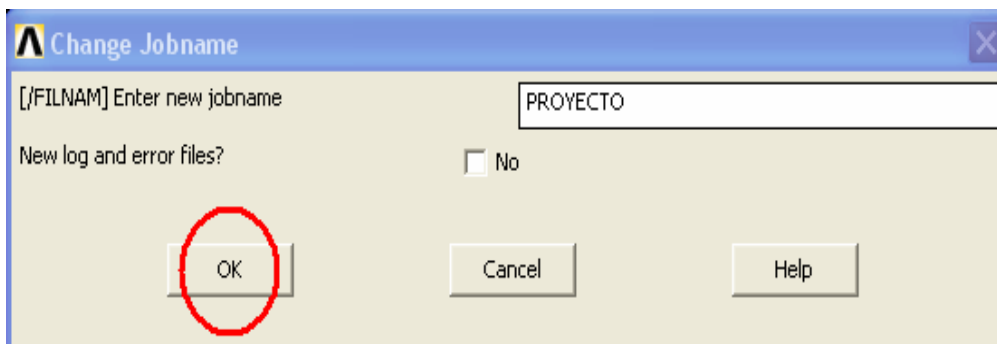
Figura 3.6. CivilFEM Setup Options.



Nombre proyecto

Seleccione **File > Change Jobname**, y en la ventana que aparece digite el nombre "PROYECTO".

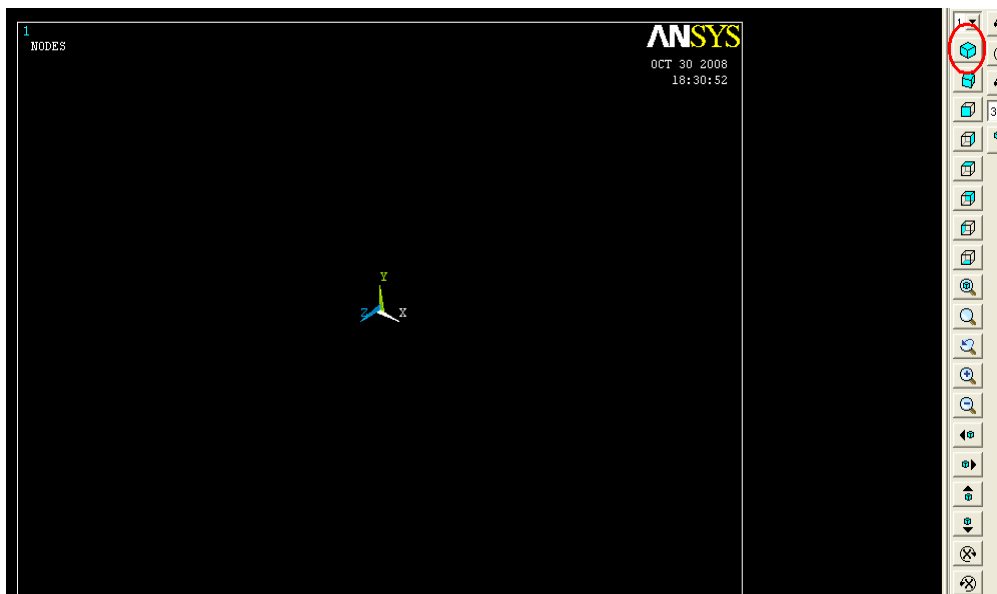
Figura 3.7. Ventana para definir nombre del modelo.



Creación del pórtico

Primero se debe adecuar el sistema de ejes coordenados para dibujar el pórtico en 3D, para esto seleccione el cubo que se encuentra ubicado en la parte superior derecha, el primero de arriba hacia abajo.

Figura 3.8. Ventana para adecuación de ejes coordenados.



Parámetros del plano de trabajo

El plano de trabajo (Working Plane) es un plano móvil de referencia que es de utilidad en la elaboración de un modelo.

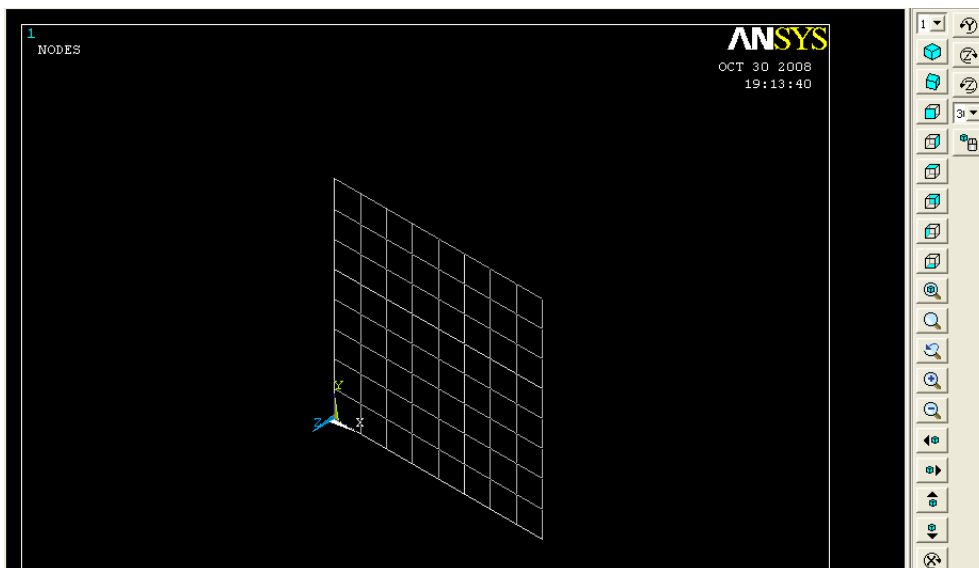
Para establecer los parámetros del plano de trabajo seleccione del menú de utilidades **Workplane > Wp Settings** y cambie los valores de “Snap Incr”, “Spacing”, “Minimum”, “Máximo” a los mostrados en la figura 3.9.

Figura 3.9. Ventana para establecer parámetros del plano de trabajo.



Para observar la rejilla seleccione **Workplane > Display Work Plane**.

Figura 3.10. Plano de trabajo.



Creación de puntos

Para la creación de puntos es indispensable conocer las dimensiones del pórtico. Para el ejemplo se tiene un pórtico de 180in*240in*200in.

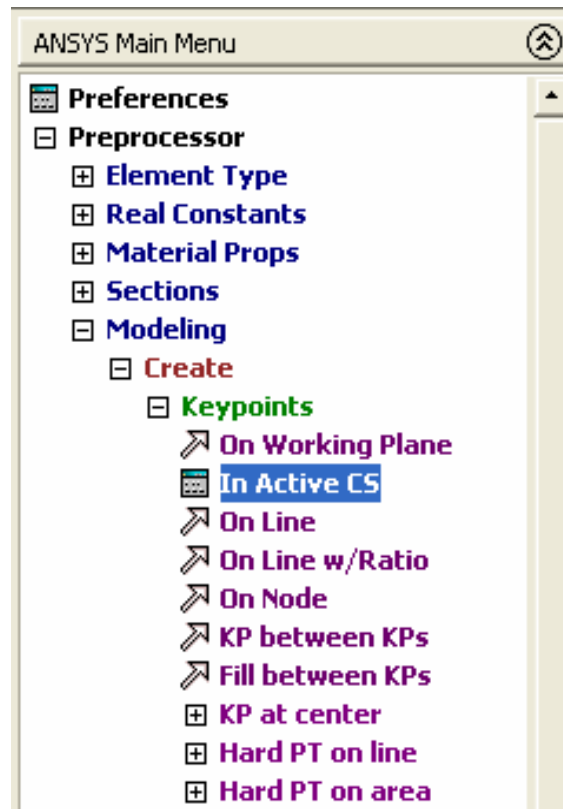
Ansys+Civildem define la geometría de un cuerpo mediante Keypoints o nodos. Para este caso se definen 18 Keypoints según la siguiente tabla.

Figura 3.11. Tabla de Keypoints.

NODO	X	Y	Z
1	0	0	0
2	0	180	0
3	240	180	0
4	240	0	0
5	480	180	0
6	480	0	0
7	0	180	-200
8	0	0	-200
9	240	180	-200
10	240	0	-200
11	480	180	-200
12	480	0	-200
13	0	180	-400
14	0	0	-400
15	240	180	-400
16	240	0	-400
17	480	180	-400
18	480	0	-400

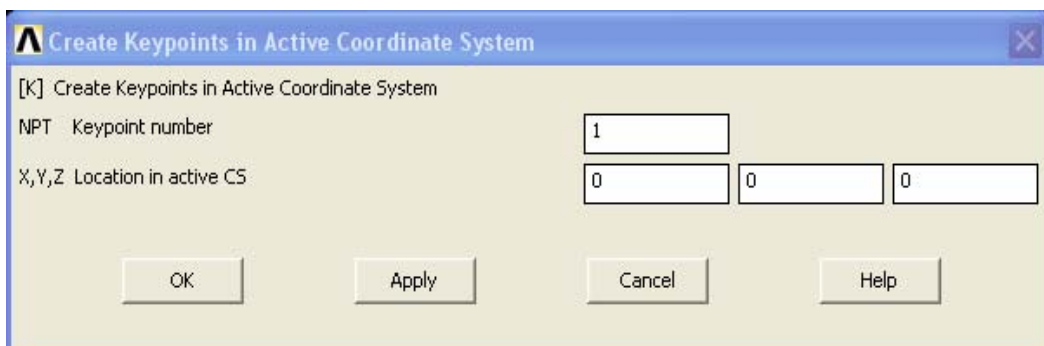
Para ingresar los Keypoints en el modelo seleccione en el menú principal **Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In active Cs.**

Figura 3.12. Ingreso de Keypoints.



A continuación se abrirá la ventana para la creación de los Keypoints.

Figura 3.13. Ventana de creación de los Keypoints.



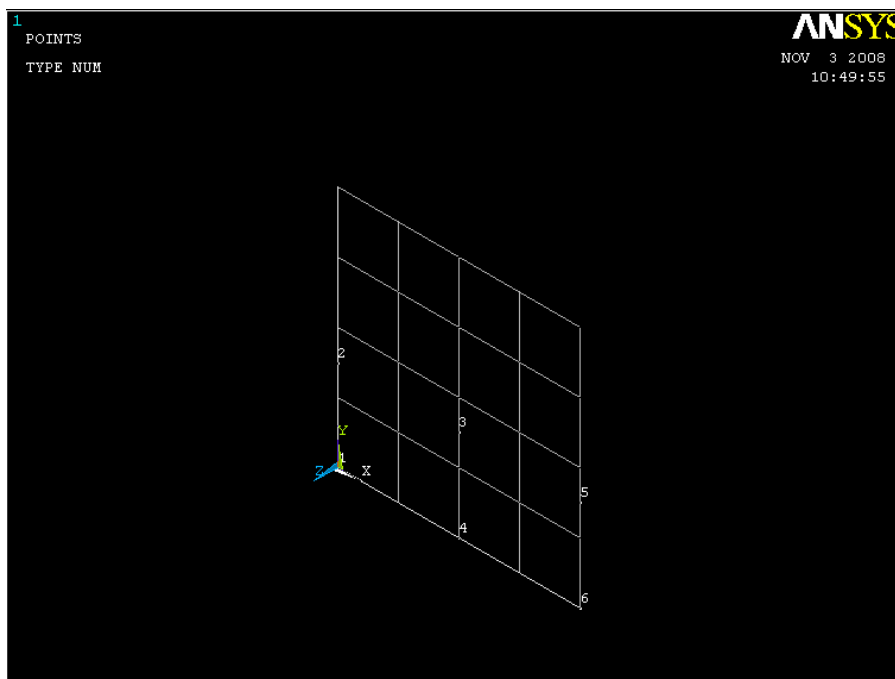
Para iniciar la base del modelo, se crearan los 6 Keypoints iniciales, que se situaran en el plano de trabajo mostrado en la figura 3.10.

El Keypoint # 1 tiene las coordenadas $X=0$, $Y=0$ y $Z=0$: Introduzca sus respectivas coordenadas como se muestra en la figura 3.13. Luego haga "Click" en "Apply" para ingresar los datos y continuar con el Keypoint # 2, el cual tendrá las coordenadas $X=0$, $Y=180$, $Z=0$. Igual que para el Keypoint # 1 haga Click en "Apply" y continúe ingresando los demás puntos. Cuando digite el Keypoint # 6 seleccione "OK" para indicar que ya se han introducido todos los Keypoints o nodos.

Nota: Si al terminar el último Keypoint selecciona la opción "Apply" y luego "OK", estaría seleccionando el nodo dos veces.

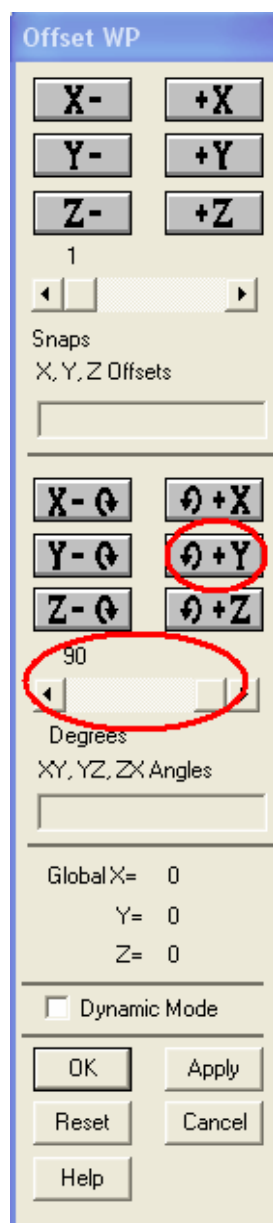
Al terminar este proceso tendrá los Keypoints distribuidos de la siguiente forma.

Figura 3.14. Distribución de los Keypoints.



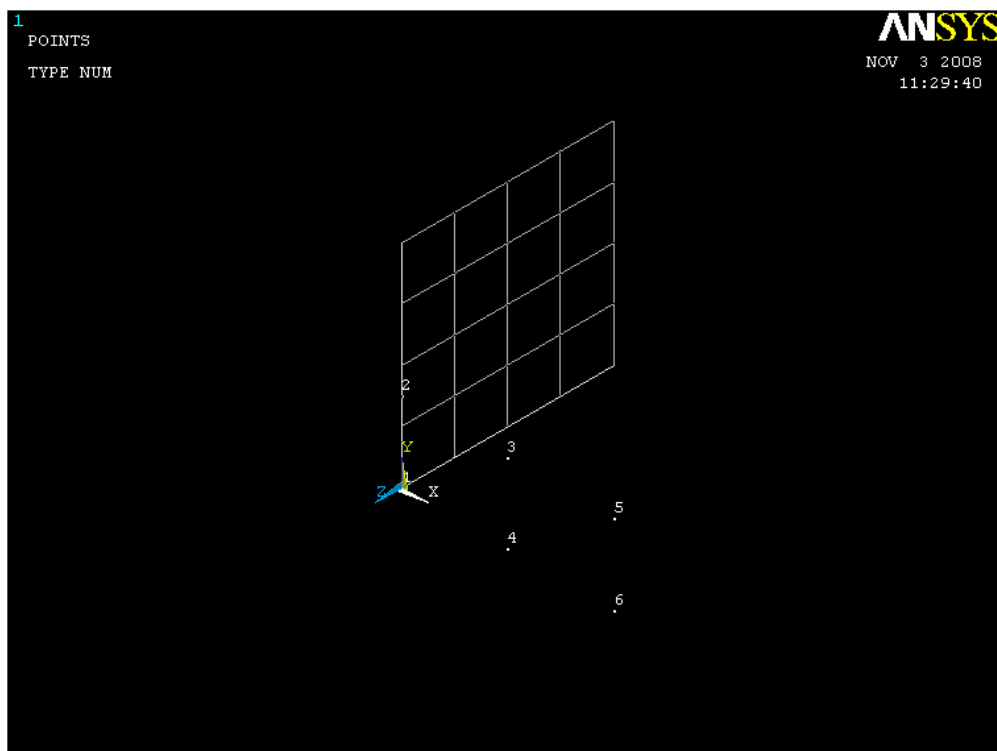
A continuación se debe rotar el plano de trabajo para seguir con la creación del modelo. Para esto seleccione desde el menú de utilidades **Work Plane > Offset Wp By Increments** y se desplegará la siguiente ventana.

Figura 3.15. Ventana Offset WP.



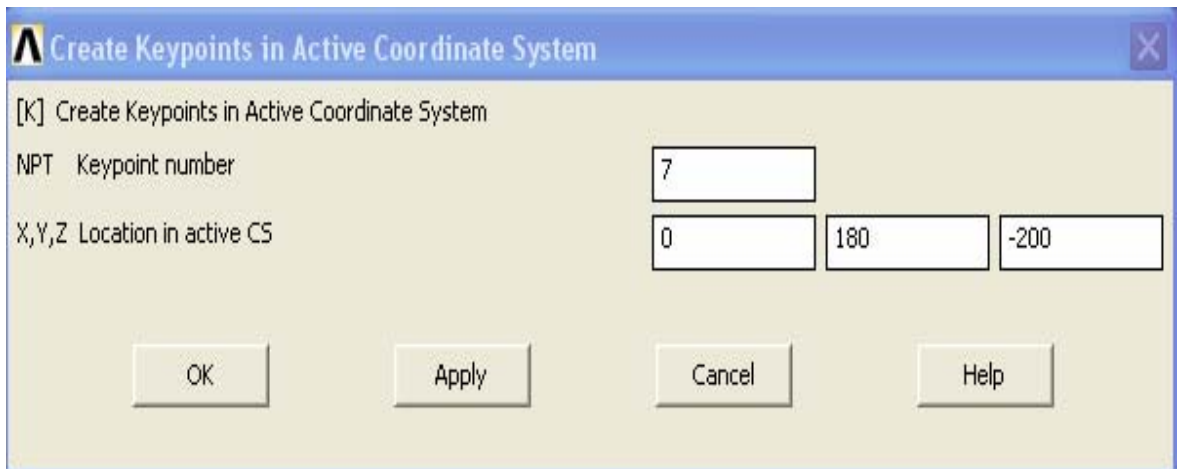
El cambio que se va a realizar es una rotación de 90° alrededor del eje Y, para esto seleccione la opción rotar en “Y+” y con la barra deslizante seleccione “90°”. El plano de trabajo tendrá una nueva ubicación como se muestra a continuación.

Figura 3.16. Rotación plano de trabajo.



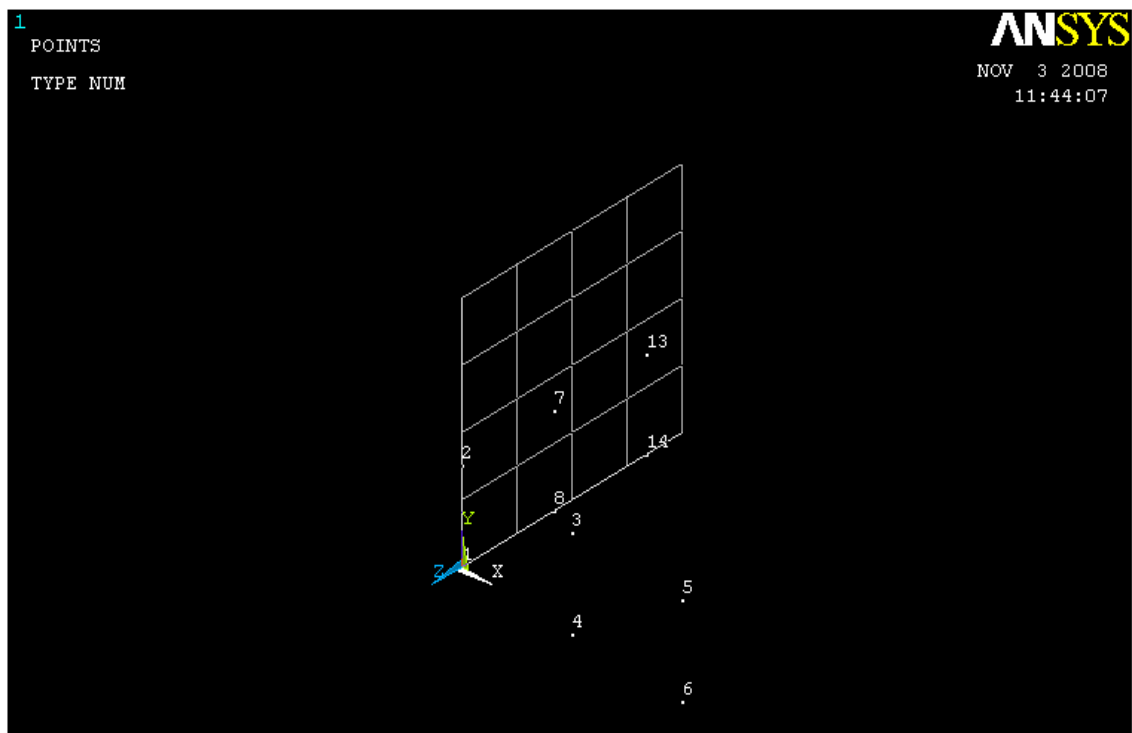
Ahora se crearan los Keypoints # 7, 8, 13,14, de la misma forma como se crearon los 6 Keypoints iniciales. Seleccionando **Preprocessor > Modeling > Create > Keypoint > In Active Cs.** Introduzca las coordenadas correspondientes al Keypoint # 7 y de Click en “Apply” como se ilustra a continuación.

Figura 3.17. Ventana de creación de los Keypoints.



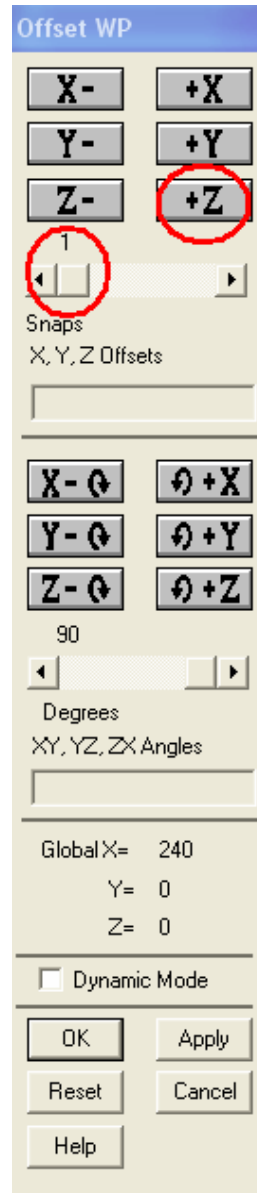
Continúe de la misma forma con los Keypoints # 8,13 y 14. Al terminar el proceso obtendrá la siguiente figura.

Figura 3.18. Distribución de Keypoints en el Plano de trabajo.



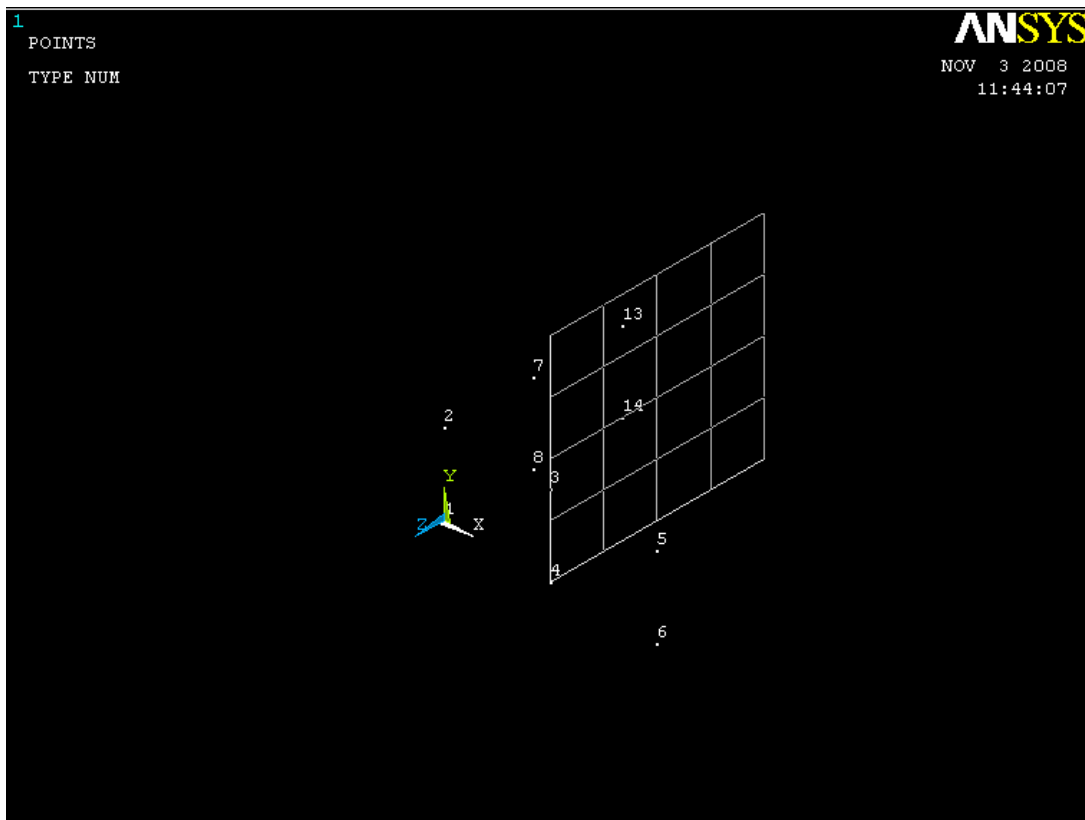
El siguiente cambio a realizar es la traslación del plano de trabajo. El plano de trabajo debe tener su origen en el Keypoint # 4. Para realizar este procedimiento seleccione nuevamente **Work Plane > Offset Wp By Increments**.

Figura 3.19. Ventana Offset Wp.



Seleccione la opción trasladar en “Z+” y mover una unidad (valor de “Snap Incr” ya determinado anteriormente). Obtendrá la siguiente figura.

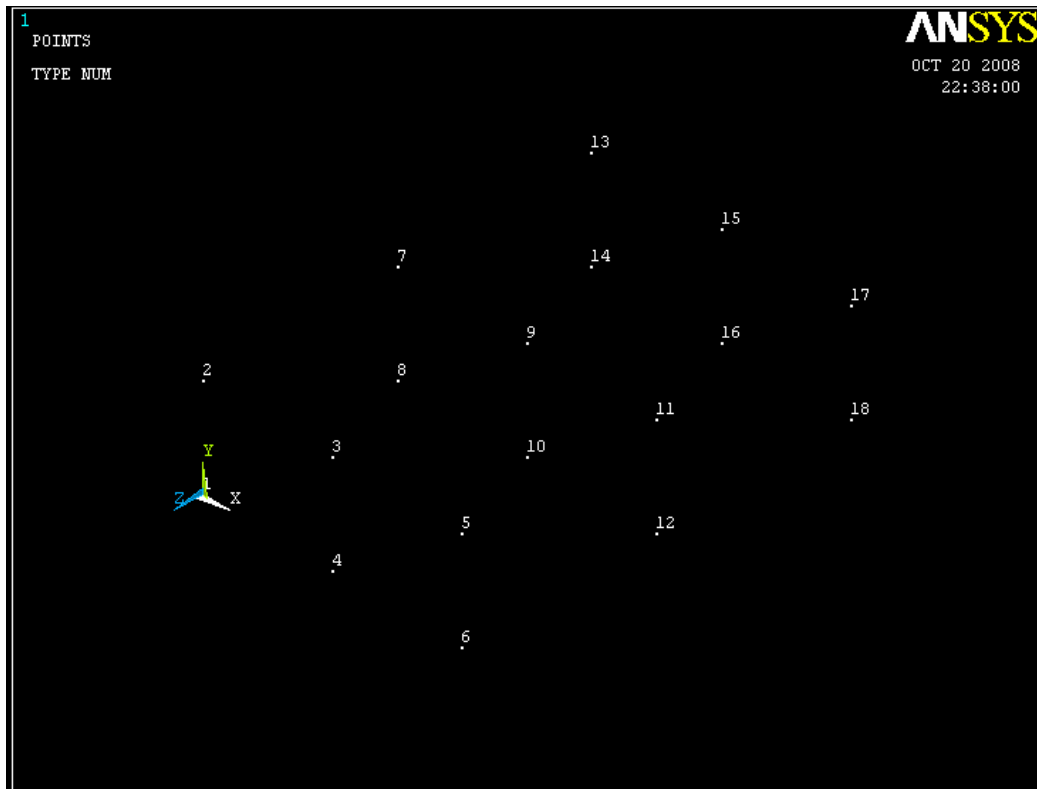
Figura 3.20. Traslación Plano de trabajo.



Ahora se crearan los Keypoints # 9, 10, 15,16 usando el mismo procedimiento para la creación de los anteriores Keypoints. Una vez creados estos Keypoints se vuelve a trasladar el plano de trabajo, ubicando su origen en el Keypoint # 6 y se crean los Keypoints restantes 11, 12, 17,18.

Al finalizar este procedimiento tendrá la creación de todos los Keypoints de la siguiente forma.

Figura 3.21. Distribución de los Keypoints.



Creación de líneas

Para esto debemos seleccionar el punto inicial y el punto final de la línea.

En el menú principal seleccione **Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > In Active Coord.** Y obtendrá la siguiente ventana.

Figura 3.22. Ventana para la creación de líneas.

Lines in Active Coord

☒ Pick ☐ Unpick

☒ Single ☐ Box
☐ Polygon ☐ Circle
☐ Loop

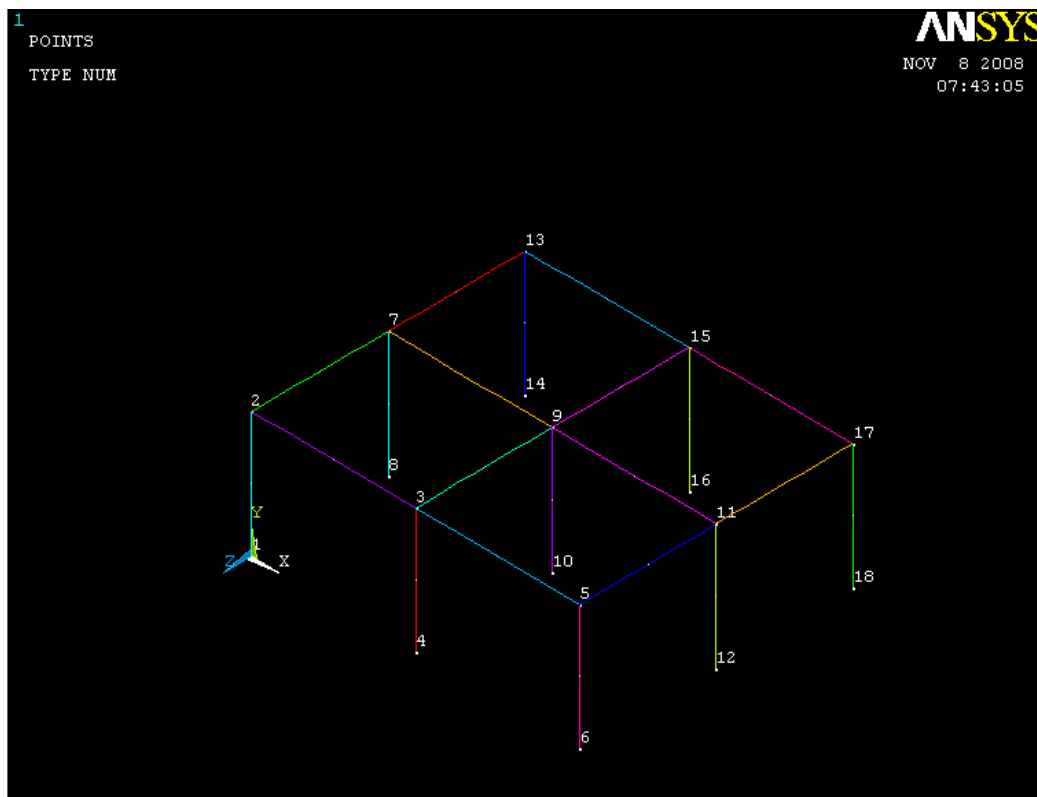
Count = 0
Maximum = 2
Minimum = 2
KeyP No. =

☒ List of Items
☐ Min, Max, Inc

OK Apply
Reset Cancel
Pick All Help

A continuación con el ratón seleccione el Keypoint # 1 quedando marcado con un cuadro amarillo, mueva el ratón hacia el Keypoint # 2 y aparecerá una línea uniendo estos dos puntos. Repita este mismo procedimiento para todos los Keypoints y al terminar de Click en "OK" en la ventana de "lines In Active Acoord" y tendrá el modelo como el mostrado a continuación.

Figura 3.23. Vista modelo.



Definir materiales

Las propiedades de material definidas por Civilfem incluyen tanto propiedades estándar de Ansys como otras necesarias para los cálculos específicos de Civilfem, entre ellos los relativos a normas.

Al definir un material con Civilfem se definen automáticamente las propiedades estándar de Ansys, asignando al material ANSYS la misma numeración que la del material Civilfem. Los materiales Civilfem tienen cuatro clases de propiedades:¹

- **Propiedades generales** : Comunes a todos los materiales
- **Específicas de material** : Sólo para aceros, hormigones, etc.

¹ Manual de Teoría de CivilFEM. Primera Edición. Ingeciber, S.A

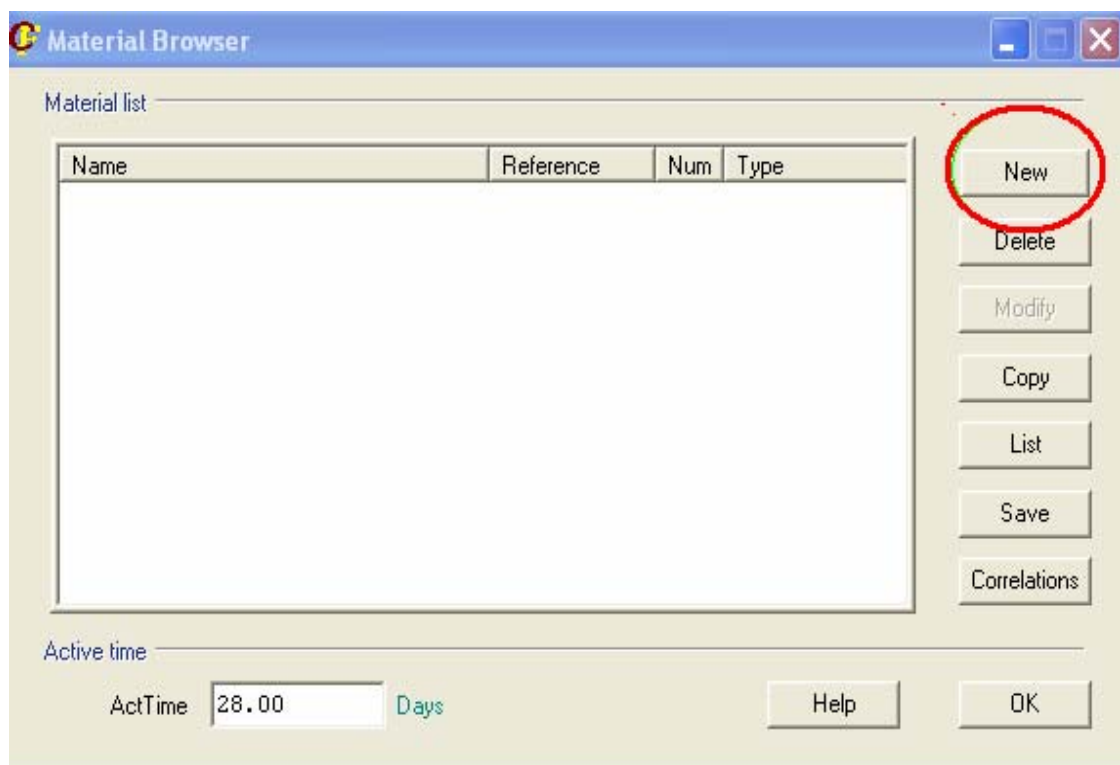
- **Específicas de norma** : Sólo para EC2, EC3, ACI, CEB-FIP, etc.
- **Propiedades activas** : Obtenidas para el instante de tiempo activo

En este ejemplo se usaran los siguientes materiales:

- Concreto $f'_c = 4000$ psi
- Acero de refuerzo $f_y = 60000$ psi

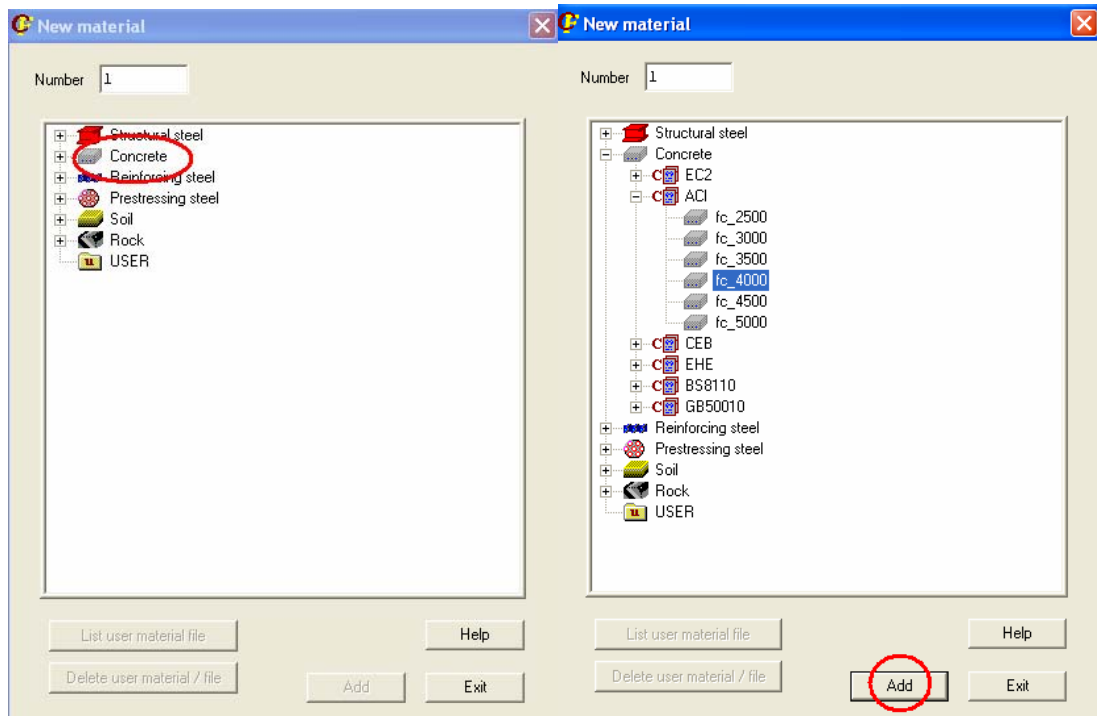
Para definir los materiales seleccione **Civil Preprocessor > Materials** y en la siguiente ventana “Click” en “New” para agregar los materiales.

Figura 3.24. Ventana exploradora de materiales.



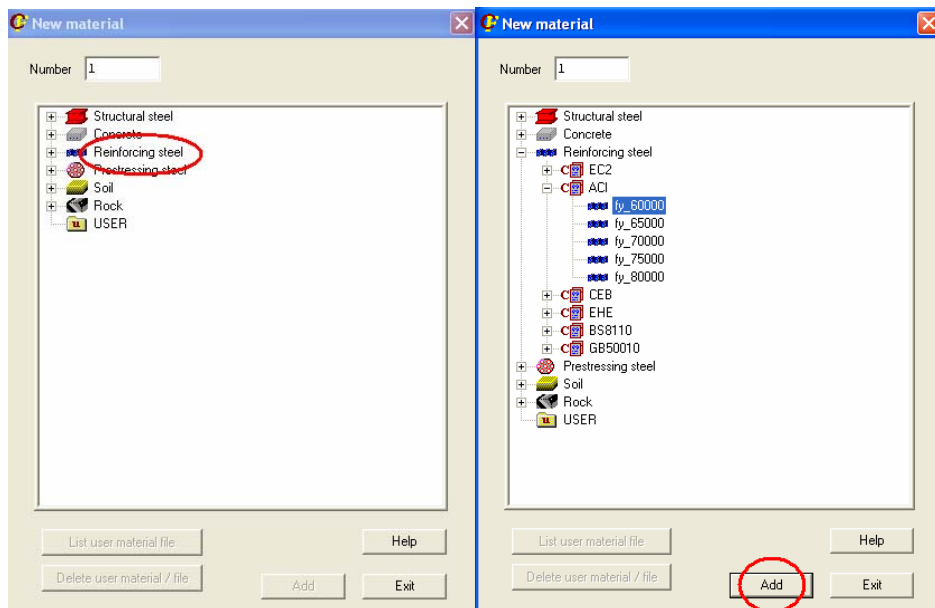
A continuación defina el nuevo material. Seleccione “Concrete” y a continuación seleccione el tipo de material a usarse, de “Click” en “Add” para adicionar el nuevo material al modelo.

Figura 3.25. Ventanas para seleccionar el concreto.



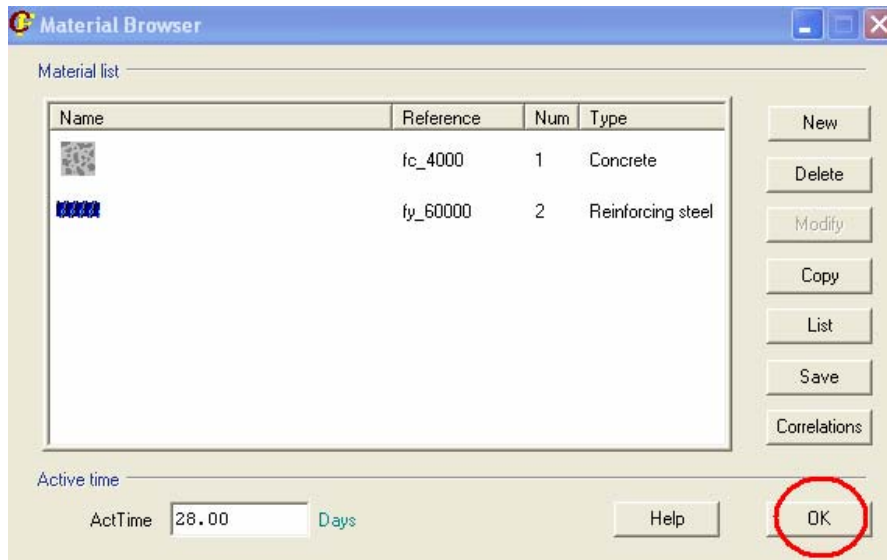
Ahora se debe realizar el mismo procedimiento para definir el material de acero de refuerzo. En la ventana "Material Browser" de "Click" nuevamente en "New" para agregar el segundo tipo de material, seleccione "Reinforcing Steel" y seleccione el material a usarse, por ultimo de "Click" en "Add" para adicionarlo.

Figura 3.26. Ventanas para seleccionar el acero de refuerzo.



Al final del proceso en la ventana “Material Browser” deben estar agregados los dos nuevos materiales como se muestra en la figura a continuación.

Figura 3.27. Vista de los materiales definidos.



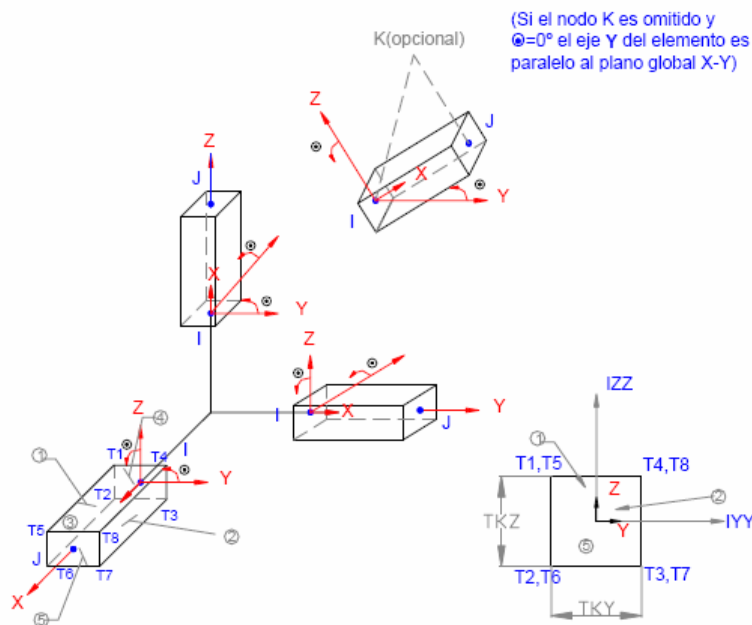
Tipo de elemento

Un modelo construido con Ansys+Civildem puede tener cualquiera de los tipos de elemento de la librería de Ansys. No obstante Civildem solo realiza cálculos sobre ciertos tipos de elemento (dependiendo del tipo de calculo), ignorando el resto, que sí será utilizado por Ansys

Para este caso se usara el elemento tipo 3D Elastic Beam4.

El elemento BEAM4 se utiliza en análisis tridimensionales. Tiene seis grados de libertad en cada nodo: tres traslaciones y tres rotaciones. El elemento se puede definir con dos nodos o con tres nodos; en este caso el tercer nodo se usa para orientar la sección transversal del elemento en el espacio. Las cargas del elemento se definen según las direcciones en la figura a continuación.

Figura 3.28. Esquema elemento Beam4.¹

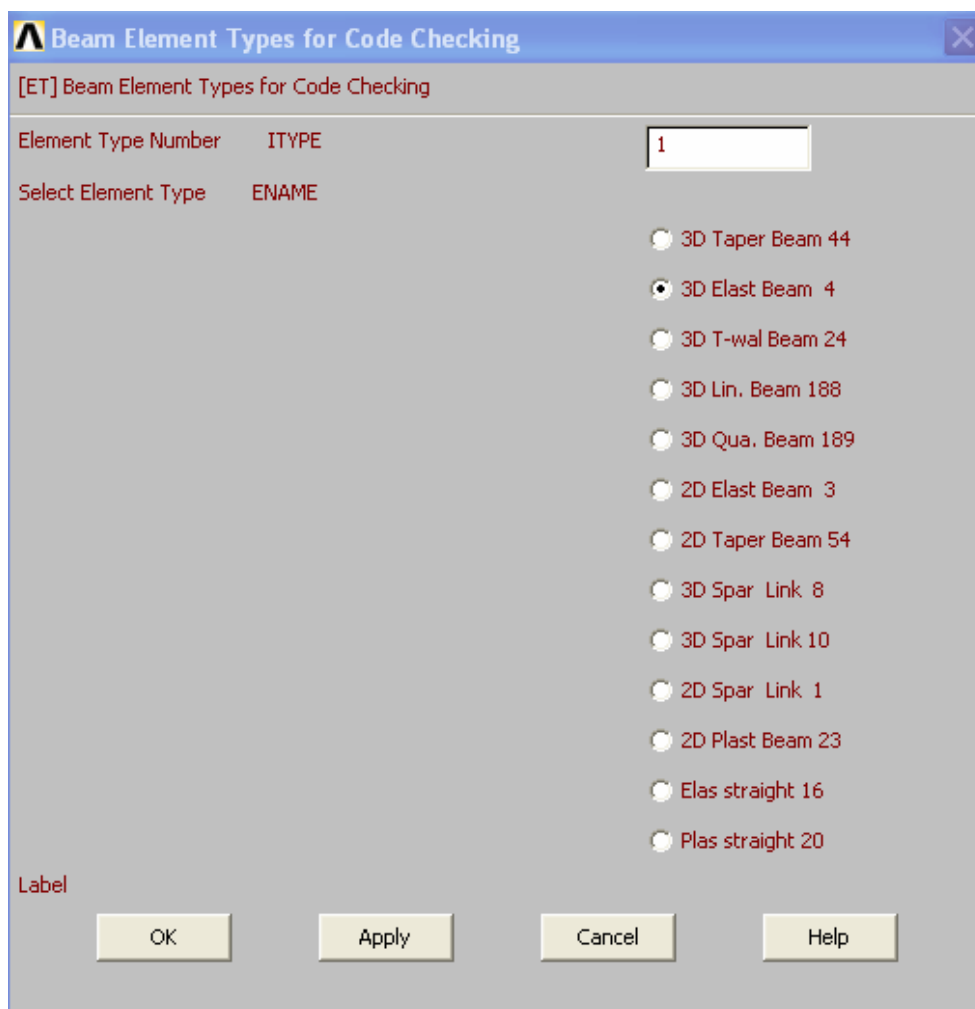


¹ www.uestructuras.unal.edu.co. Maestría y especialización en estructuras.

Para usar este elemento se debe definir su área transversal, los momentos de inercia alrededor de los tres ejes, el espesor de las secciones en las direcciones Y & Z.

Para escoger el tipo de elemento seleccione **Civil Preprocessor > Element Type > Civil Beam** y agregue el elemento 3D Elastic Beam4 y haga “Click” en “OK” como se muestra a continuación.

Figura 3.29. Ventana tipo de elementos.



Sección transversal

Las secciones transversales en Civilfem, hacen referencia a una única sección transversal. No coincide con el concepto de Ansys de Conjuntos de Constantes Reales que engloba los datos para ambas secciones (I, J) de un elemento viga, ya que cada elemento estará compuesto por 2 secciones transversales correspondientes a ambos extremos.

Para definir las secciones transversales es necesario conocer las propiedades geométricas de las vigas y las columnas. Para este ejemplo se tienen las siguientes propiedades:

Propiedades geométricas de las vigas

$$e = 20 \text{ in}$$

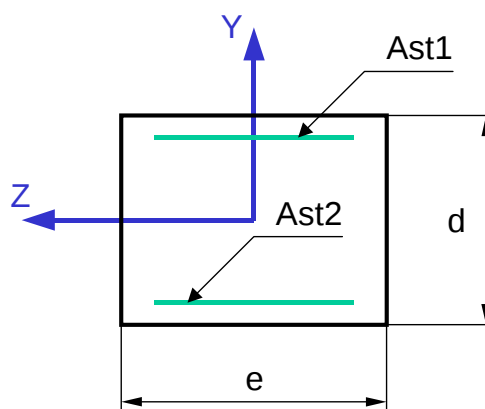
$$d = 16 \text{ in}$$

$$Ast1 = 0.65 \text{ in}^2$$

$$Ast2 = 1.30 \text{ in}^2$$

$$\text{Recubrimiento} = 2.0 \text{ in}$$

Figura 3.30. Esquema sección transversal viga.



Propiedades geométricas de las columnas

$$e = 20 \text{ in}$$

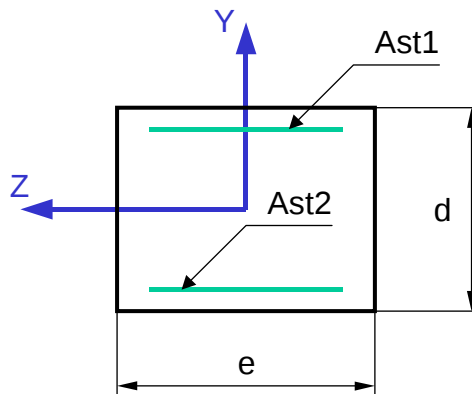
$$d = 16 \text{ in}$$

$$Ast1 = 1.95 \text{ in}^2$$

$$Ast2 = 1.95 \text{ in}^2$$

$$\text{Recubrimiento} = 2.0 \text{ in}$$

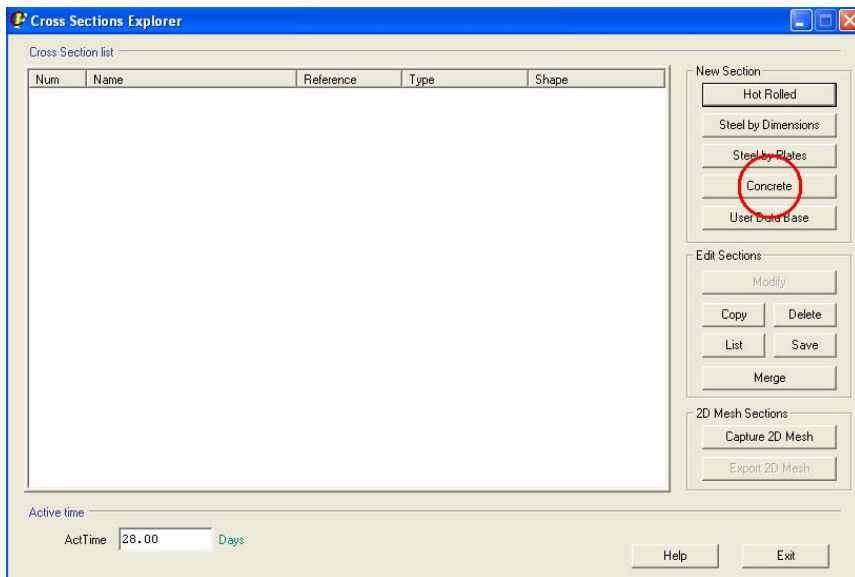
Figura 3.31. Esquema sección transversal columnas.



Sección transversal para vigas

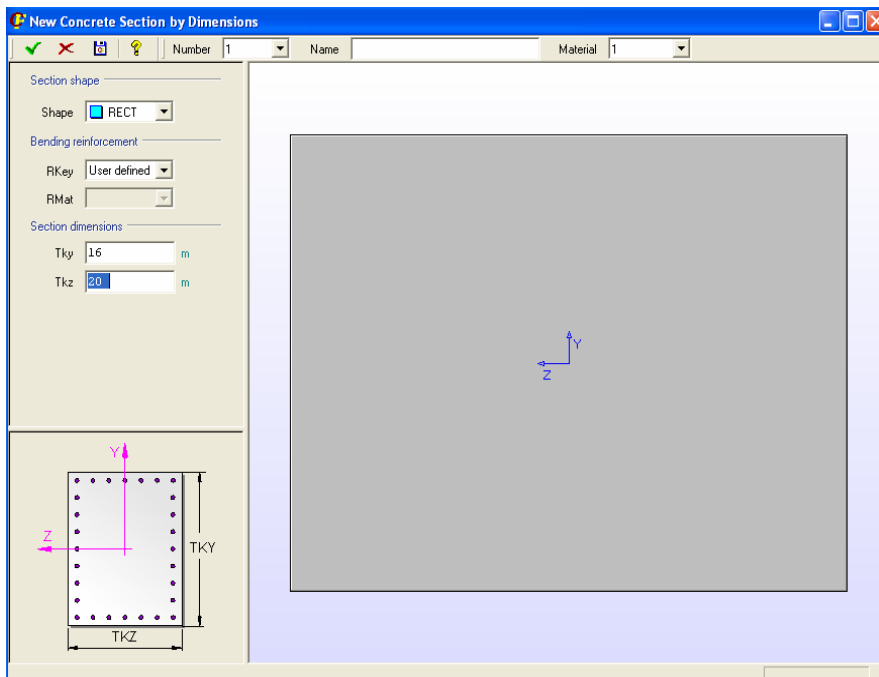
Para crear las secciones transversales seleccione **Civil Preprocessor > Cross Section**. Una vez dentro de la ventana exploradora de secciones transversales, seleccione "Concrete".

Figura 3.32. Ventana exploradora de secciones transversales.



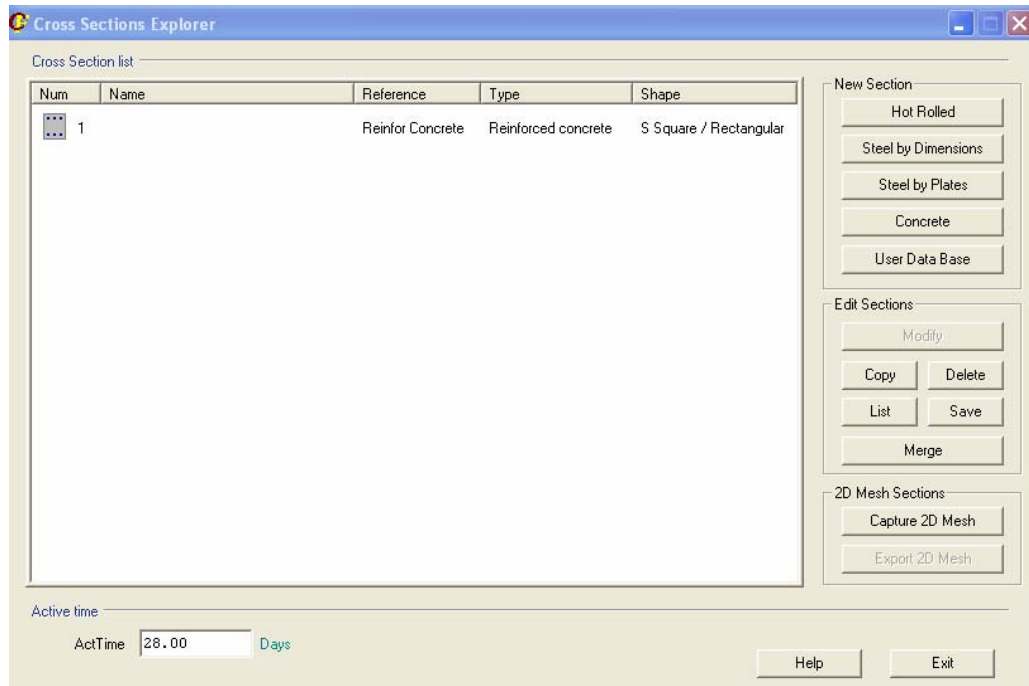
Ahora se define la forma y las dimensiones de la sección transversal, ya establecidas en las propiedades geométricas de las vigas.

Figura 3.33. Ventana definición forma y dimensiones de la sección.



En la ventana exploradora de las secciones transversales debe aparecer la sección ya definida como se muestra en la figura 3.34.

Figura 3.34. Sección transversal para vigas definida.

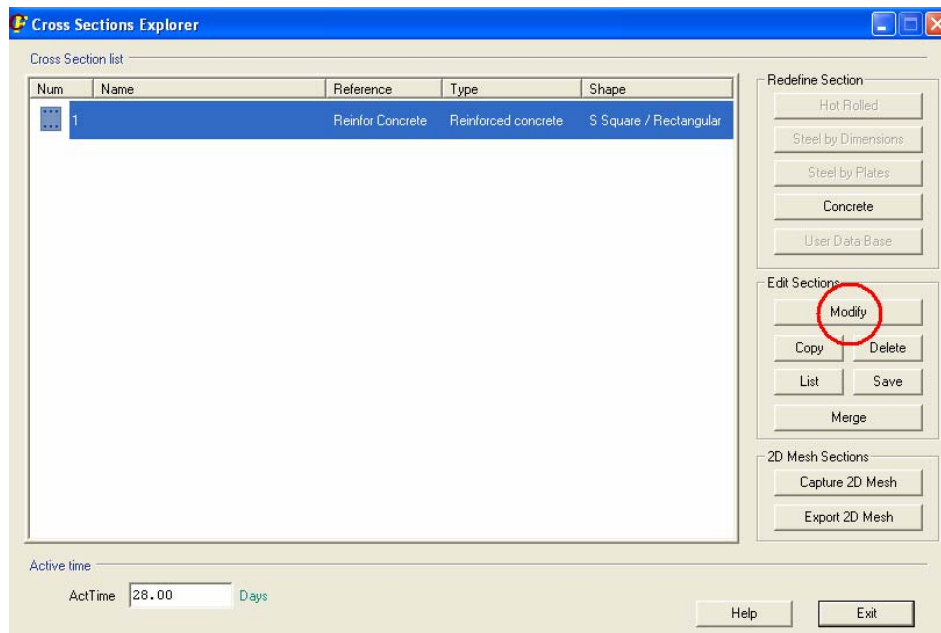


Refuerzo de vigas

Ahora se modifica la sección creada anteriormente. Se debe adicionar el área del acero de refuerzo. Las áreas de acero están definidas en las propiedades geométricas de vigas.

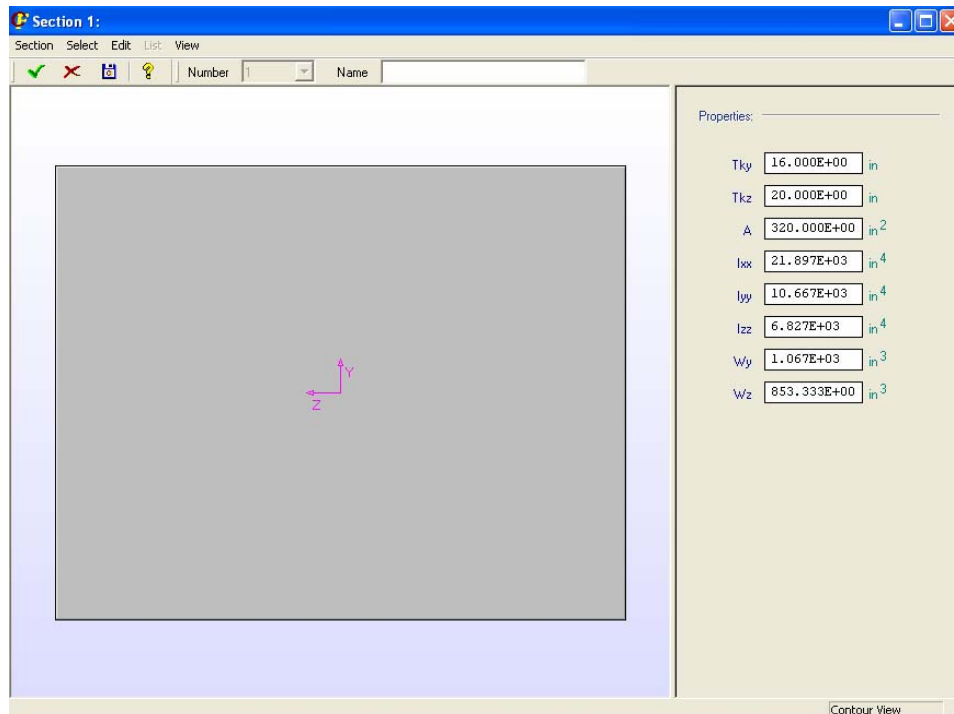
Para realizar este proceso seleccione la sección creada anteriormente y haga "Click" en "Modify".

Figura 3.35. Ventana para modificar secciones transversales.



A continuación podrá observar la sección 1 y sus propiedades.

Figura 3.36. Ventana para la seccion1.



Haga “Click” en **Edit > Reinforcement Group > New Reinforce** y en la siguiente ventana podrá cambiar las propiedades para el desarrollo del ejemplo.

Figura 3.37. Ventana propiedades de refuerzo superior.

The image shows a software window titled "Reinforcement properties" with three tabs: "Bending", "Shear", and "Torsion". The "Bending" tab is selected. The window is divided into several sections for defining reinforcement properties:

- Predefined bending reinforcement:** Includes a dropdown for "RKey" set to "User defined" and a dropdown for "RMat".
- Bending reinforcement:** Includes input fields for "Urf" (set to 1), "Mat" (set to 2), "Gc" (set to 2.000E+00 in), "Cls" (set to 0: Scaleable), "Ufc" (set to 2), and an "End" dropdown.
- Uniformly distributed reinforcement:** Includes input fields for "AsT" (set to 0.65 in²) and "AsL" (in²/in). A sub-section titled "Amount / Area" has two radio buttons: "By Area" (selected) and "By Area / Length".
- Bars distribution reinforcement:** Includes input fields for "N", "NL" (set to 1/in), "Fi" (mm), and "S" (in). A sub-section titled "Amount / Bars" has three radio buttons: "By Number of bars" (selected), "By Number of bars / Length", and "By bar spacing".

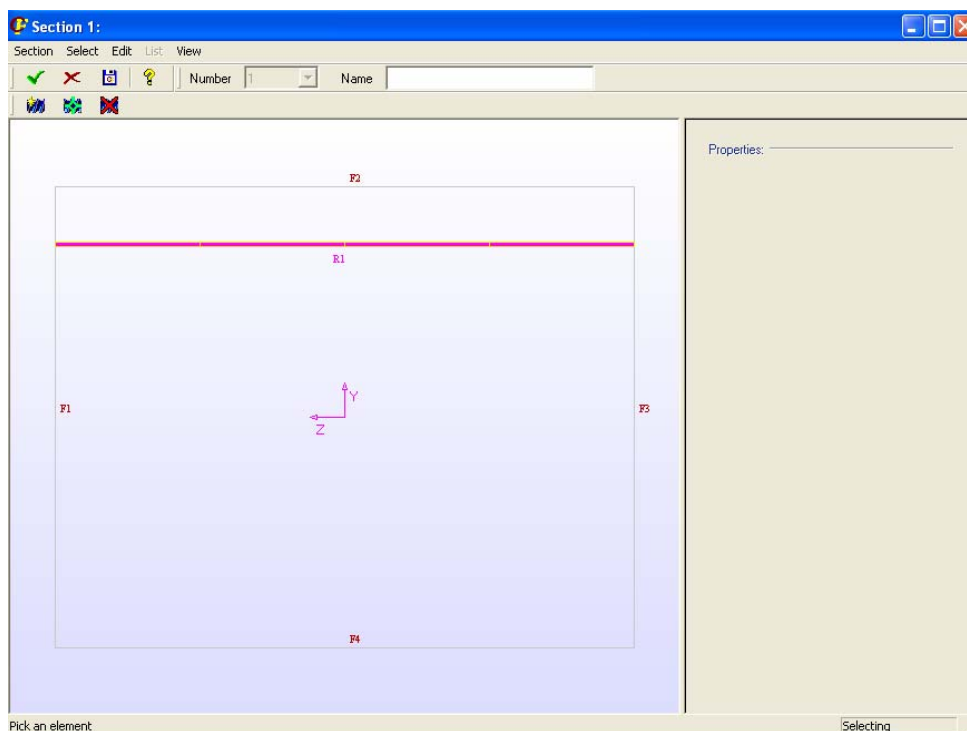
At the bottom right, there are "OK" and "Cancel" buttons.

A continuación se explicara cada variable:

- **Urf:** Número de sección transversal a armar.
- **Mat:** Número de material del acero.
- **Gc:** Recubrimiento geométrico (definido en el ejemplo)
- **Cls:** Clase de acero: 0 escalable
o 1 fija
- **Ufc:** Numero de la cara asociada al acero
- **Ast:** Área total del acero (área uniformemente distribuida)

Al finalizar de introducir cada variable de “Click” en “OK” para aceptar.
Hasta ahora se definió el acero de refuerzo de la parte superior de la sección transversal como se muestra en la figura 3.38.

Figura 3.38. Ventana para la sección1 modificada (refuerzo superior).



Ahora se debe agregar el acero de refuerzo en la parte inferior de la sección.
Para esto se hace el mismo procedimiento anterior. Haga “Click” en “New Reinforce” e introduzca las nuevas variables como se muestra a continuación.

Figura 3.39. Ventana propiedades de refuerzo inferior.

Reinforcement properties

Bending | Shear | Torsion

Predefined bending reinforcement

RKey: User defined RMat:

Bending reinforcement

Urf: 2 Mat: 2

Gc: 2.000E+00 in Cls: 0: Scaleable

Ufc: 4 End:

Uniformly distributed reinforcement

AsT: 1.300E+00 in² Amount / Area

AsL: in²/in ☒ By Area ☐ By Area / Length

Bars distribution reinforcement

N: Amount / Bars

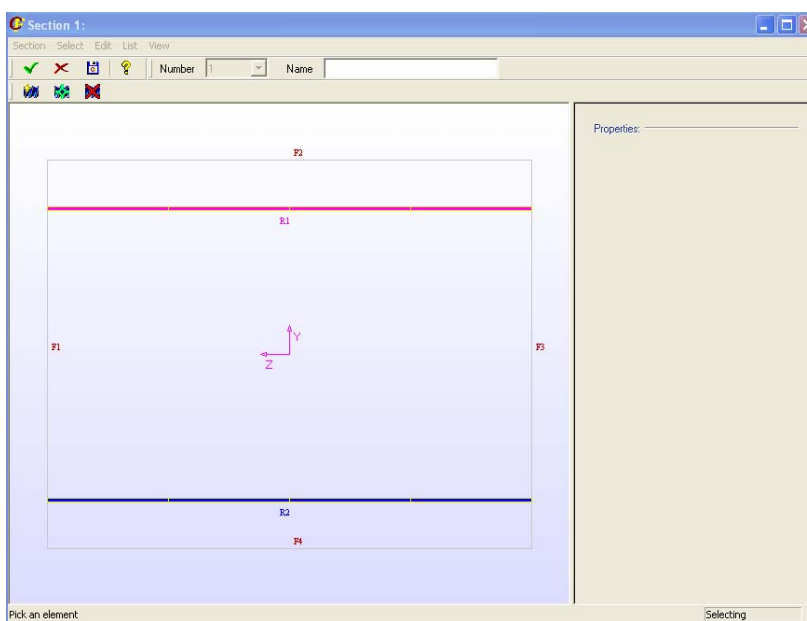
NL: 1/in Fi: mm ☐ By Number of bars

S: in ☐ By Number of bars / Length ☐ By bar spacing

OK Cancel

Cuando termine de “Click” en “OK” y ya tendrá la sección completa modificada con los aceros de refuerzo.

Figura 3.40. Ventana para la seccion1 modificada.



Sección transversal para columnas

Utilice el mismo procedimiento que se aplicó para crear la sección transversal en vigas

Refuerzo en columnas

Para el refuerzo en columnas se aplica el mismo procedimiento anteriormente explicado en vigas.

Introduzca las siguientes variables para modificar la sección de las columnas.

Figura 3.41. Tabla de variables para modificar la sección en columnas.

	Urf	Mat	Gc	Cl	Ufc	Ast
Refuerzo superior	2	2	2	0	2	1.95
Refuerzo inferior	2	2	2	0	4	1.95

En este momento se tienen definidas los refuerzos de acero tanto en columnas como en vigas.

Propiedades de pieza

Las propiedades a nivel de pieza contienen los datos adicionales para los chequeos y dimensionamientos según normas. Estos datos engloban propiedades no directamente asociadas a la sección transversal sino a su funcionamiento como piezas o conjunto de elementos dentro del modelo.¹

Para definir las propiedades a nivel de pieza seleccione **Civil Preprocessor > Member Property > New Property** y en la carpeta de la norma “ACI” agregue el valor 0.90.

¹ Manual de Teoría de CivilFEM. Primera Edición. Ingeciber, S.A

Figura 3.42. Ventana de propiedades a nivel de pieza.

Member Property 1: Member Property 1

General properties

Number Name

Code properties

EC3 ACI NLC

ACI properties

Phi

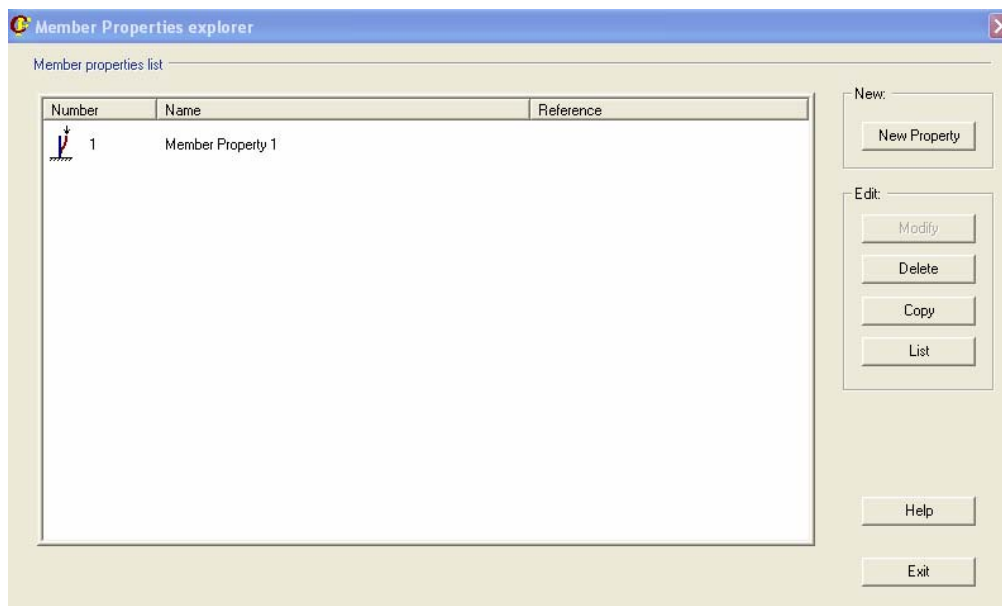
OK Cancel Help

Nota:

Phi: Parámetro relativo a la reducción de la resistencia en la sección. Por defecto es igual a 0.90. Este parámetro solo tiene sentido para la flexión. Para chequeos a cortante o torsión este valor no será tenido en cuenta.

En este momento queda definida la propiedad como se ilustra a continuación.

Figura 3.43. Ventana exploradora de propiedades a nivel de pieza.



Propiedades de viga y placa

Las propiedades de viga y placa contienen todas las propiedades de un elemento tipo viga o de un elemento placa no determinadas por su tipo, material o situación de sus nodos. Una vez definidas las secciones transversales (para elementos viga) o los vértices de placa (para elementos placa), la definición de las propiedades de viga y placa permitirá asociarlas a los extremos de los elementos junto con la correspondiente propiedad a nivel de pieza.

Este concepto es el paralelo a las constantes reales y secciones de Ansys, ya que engloba los datos de ambas secciones de un elemento viga y de todos los vértices de placa de un elemento placa. Al definir una propiedad de viga y placa, automáticamente se define en Ansys el conjunto de constantes reales o la sección Ansys correspondiente con el mismo número, siendo fundamental la indicación del

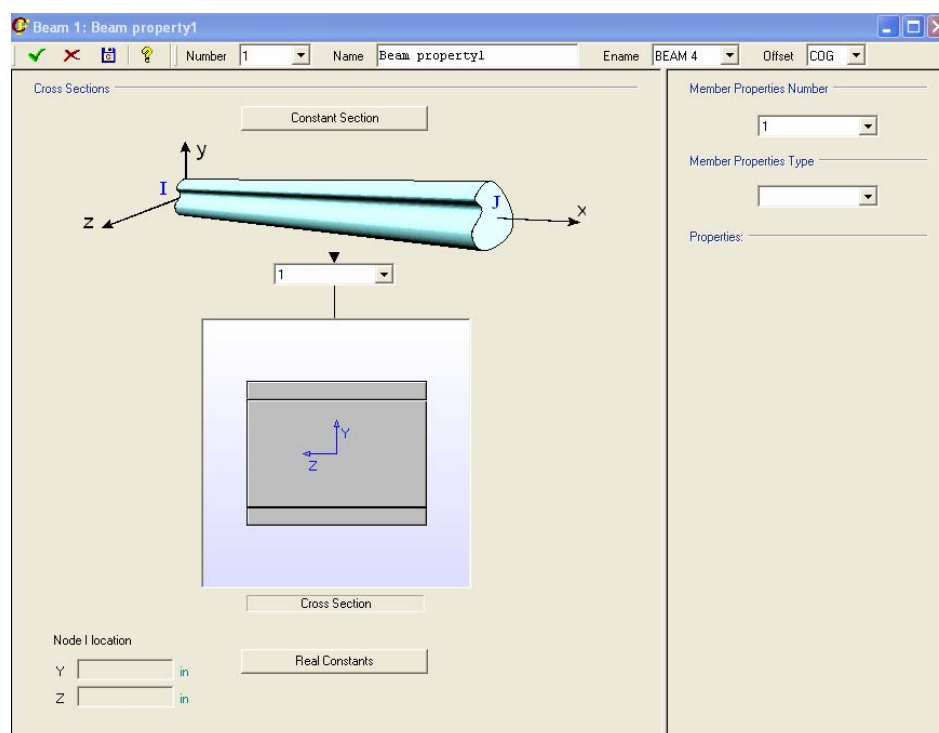
tipo de elemento al que estará asociada la propiedad de viga y placa en el momento de su definición para la correcta definición de las constantes reales.¹

Nota: Las constantes reales en Ansys es la información que el programa necesita para realizar el análisis, y que no se puede obtener directamente del dibujo.

PROPIEDAD DE VIGA = SECCIÓN TRANSVERSAL (I) + SECCIÓN
TRANSVERSAL (J) + PROPIEDAD A NIVEL
DE PIEZA

Para agregar las propiedades de viga seleccione **Civil Preprocessor > Beam & Shell Properties**, y en la siguiente ventana seleccione “New Beam”.

Figura 3.44. Ventana propiedades a nivel de pieza para vigas.



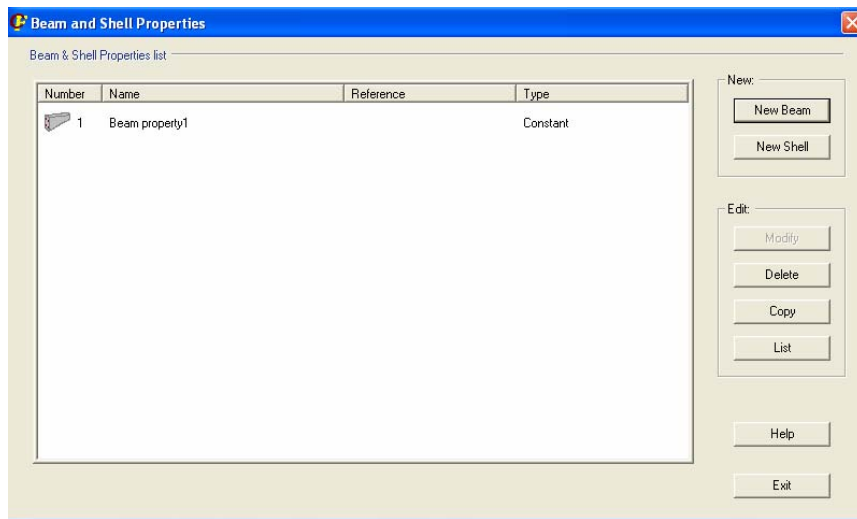
¹ Manual de Teoría de CivilFEM. Primera Edición. Ingeciber, S.A

A continuación se explicara cada variable de la figura 3.44.

- **Number:** Numero de conjuntos de propiedades de viga o placa.
- **Usec I:** Numero de la sección I. (por defecto el numero e la sección en les igual al numero de la sección en J).
- **Name:** Nombre del conjunto de propiedades de viga o placa (máximo 32 caracteres).
- **Ename:** Tipo de elemento para cual serán definidas las constantes reales en Ansys.
- **Offset:** Solo tiene uso para los elementos tipo viga. (Valor por defecto: COG).
- **Member properties number:** Numero de las propiedades del miembro.

Al terminar de agregar todas las variables acepte y tendrá definida las propiedades a nivel de pieza para vigas como se ilustra a continuación.

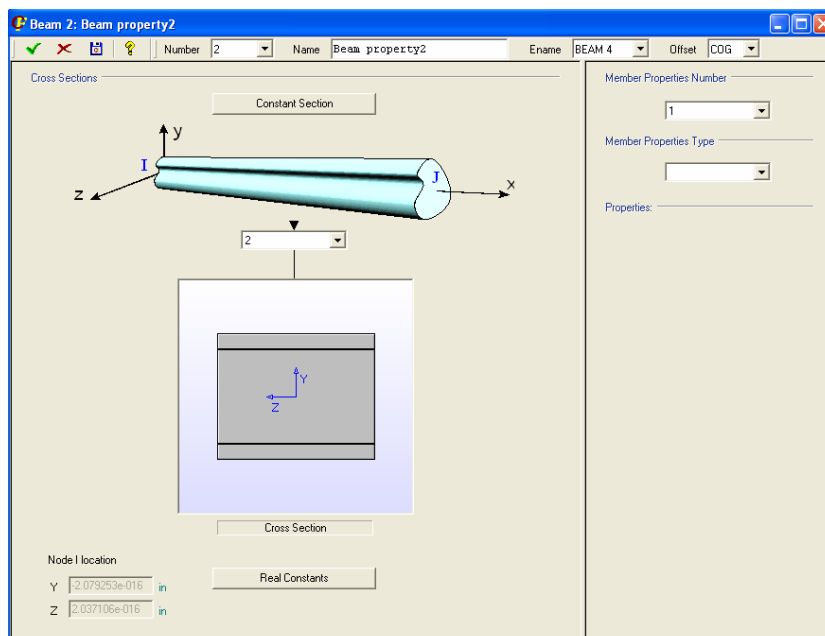
Figura 3.45. Ventana propiedades de vigas definida.



Haga lo mismo para seleccionar las propiedades de pieza de las columnas:

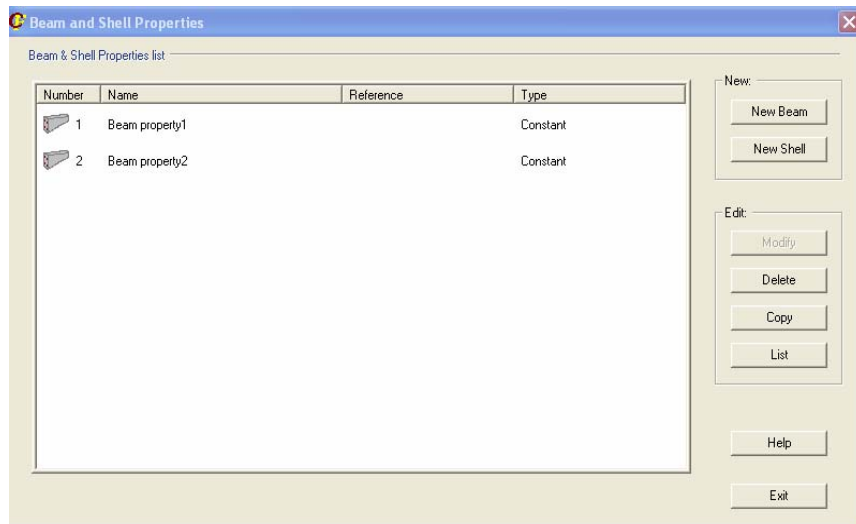
Civil Preprocessor > Beam & Shell Properties, y en la siguiente ventana seleccione “New Beam”. Y agregue las nuevas propiedades.

Figura 3.46. Ventana propiedades a nivel de pieza para columnas.



Ahora ya tiene definidas las propiedades a nivel de pieza para vigas y columnas.

Figura 3.47. Ventana propiedades de columnas definidas.



En este momento quedan definidas las constantes reales que usa Ansys y se puede verificar de la siguiente forma

Seleccione **Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete**.

Figura 3.48. Ventana de constantes reales.



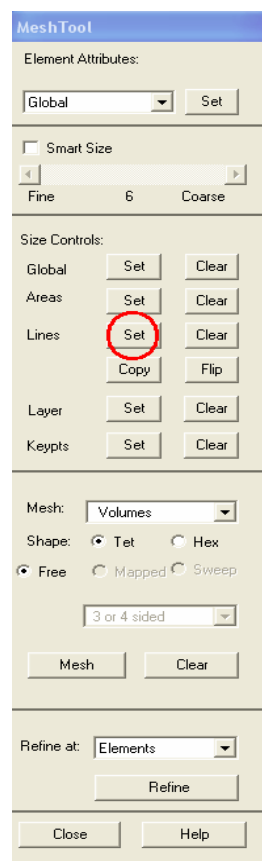
A continuación se procede al enmallado de la geometría. Se hace la discretización del modelo para realizar el análisis estructural.

Enmallado

Antes de realizar el enmallado Primero redibuje la geometría del pórtico, para esto seleccione del menú de utilidades **Plot > Lines**, enseguida seleccione **Preprocessor > Meshing > MeshTool** para obtener el menú grafico de enmallado.

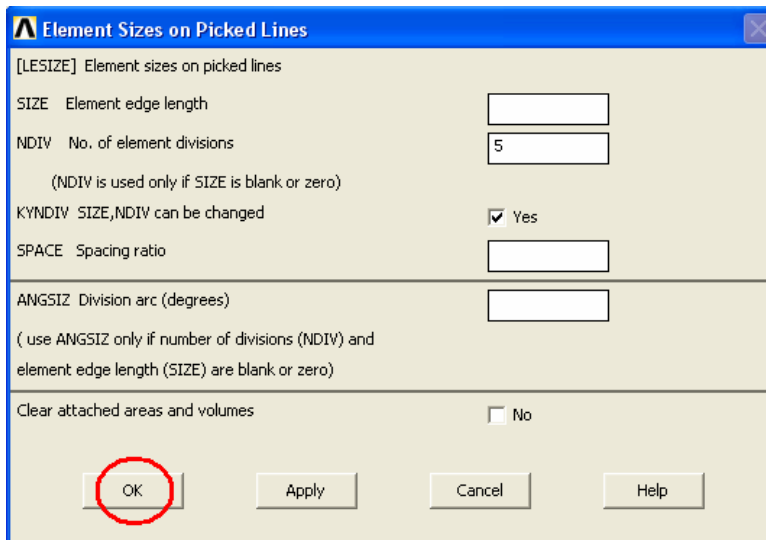
Seleccione la opción “Set” para líneas.

Figura 3.49. Ventana menú grafico de enmallado.



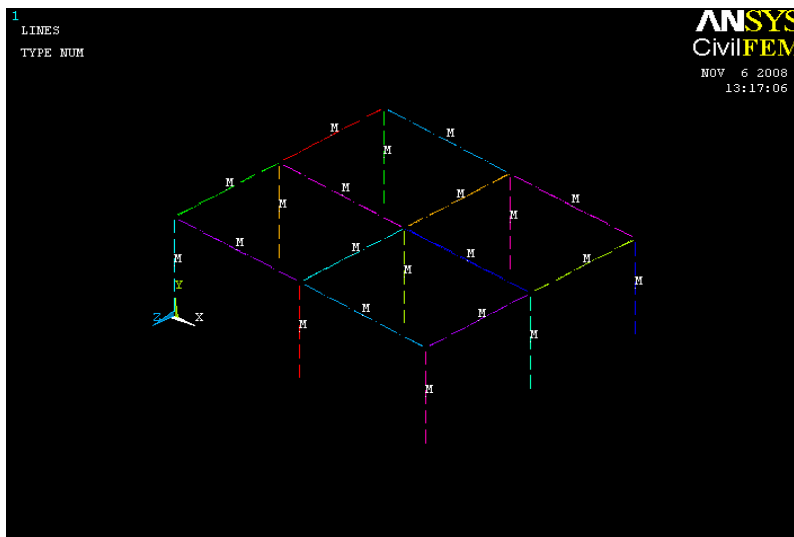
Y a continuación con el ratón seleccione las líneas del modelo, una vez haya terminado de seleccionarlás todas de “OK” y establezca una división de 5 elementos para estas líneas.

Figura 3.50. Ventana opciones de enmallado.



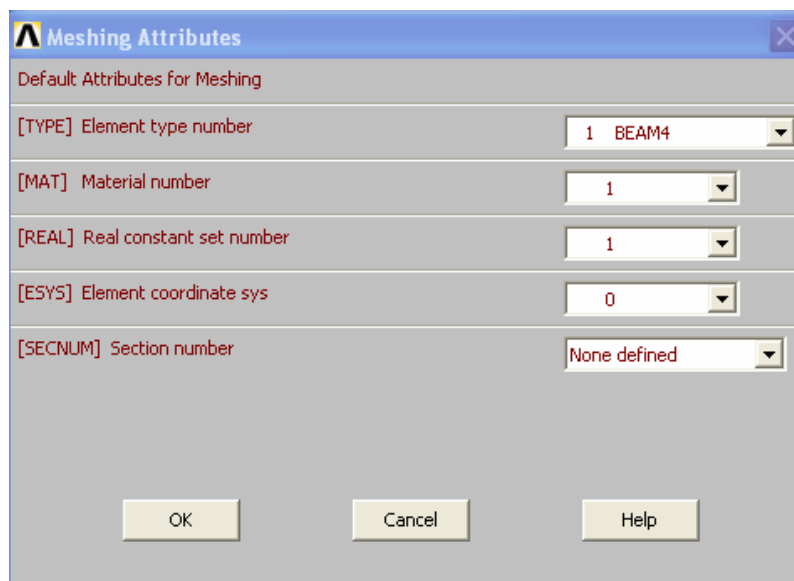
Ahora se debe observar el modelo como se ilustra a continuación.

Figura 3.51. Pórtico con las opciones de enmallado establecidas.



Ahora se procede a realizar el enmallado. Seleccione **Preprocessor > Meshing > Meshtool** y en la ventana del menú grafico de enmallado pique el botón “Set” del bloque de comandos “Element Attributes” y aparecerá una ventana como se ilustra en la siguiente figura.

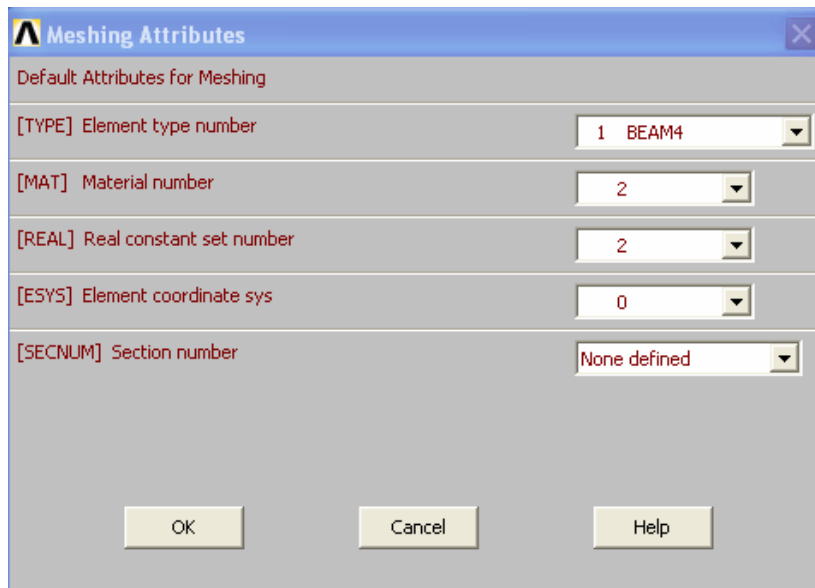
Figura 3.52. Ventana 1 de atributos del enmallado.



En esta ventana se puede seleccionar tipo de elemento, material, constante real, sección para realizar el enmallado en un momento determinado. Con los parámetros seleccionados de la figura anterior de “OK” y en la ventana del menú grafico de enmallado seleccione “Mesh”, en seguida seleccione las líneas del modelo y enmállelas.

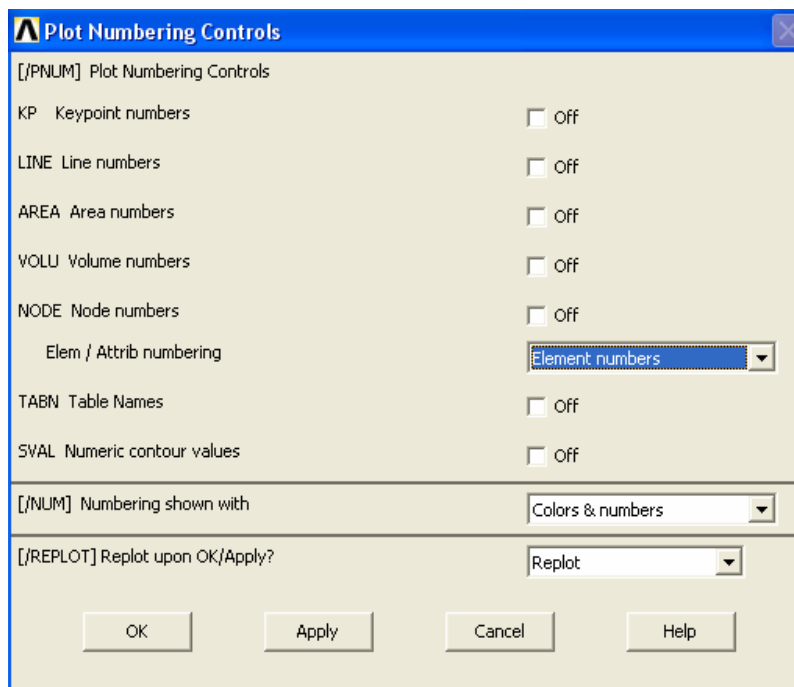
Repita este mismo procedimiento para los siguientes parámetros:

Figura 3.53. Ventana 2 de atributos del enmallado.



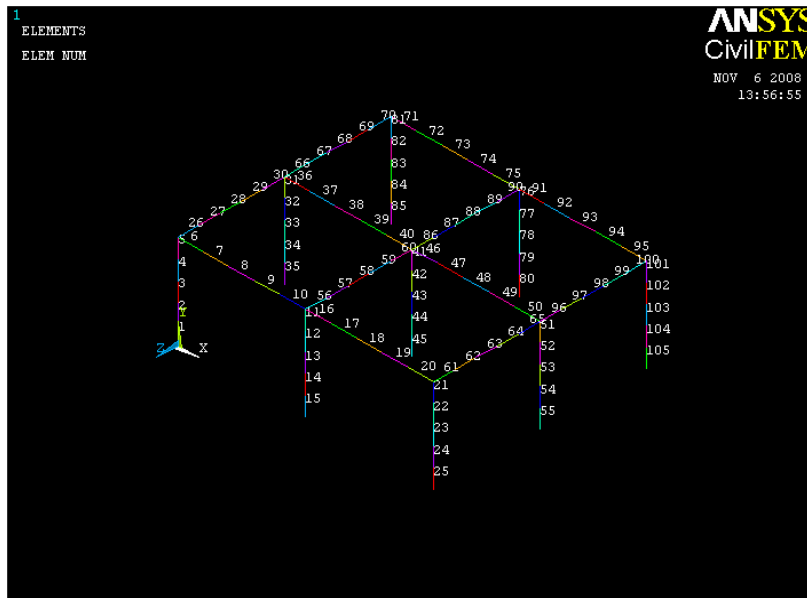
Para confirmar el enmallado seleccione del menú de Ansys **PlotCtrls > Numbering** y seleccione “Element Numbers”.

Figura 3.54. Ventana control de numeración.



Podrá ver el modelo como se ilustra a continuación.

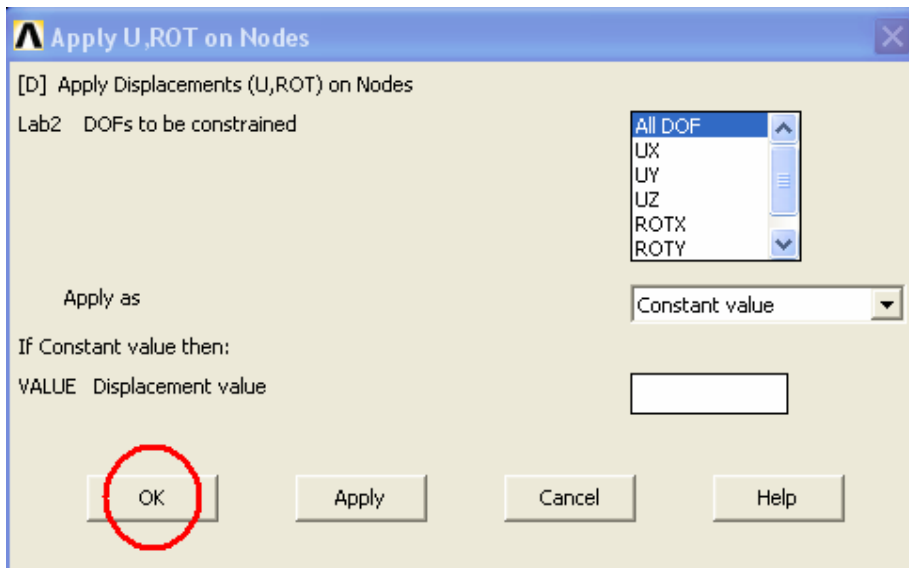
Figura 3.55. Pórtico enmallado y con numeración de elementos activa.



Aplicación de restricciones

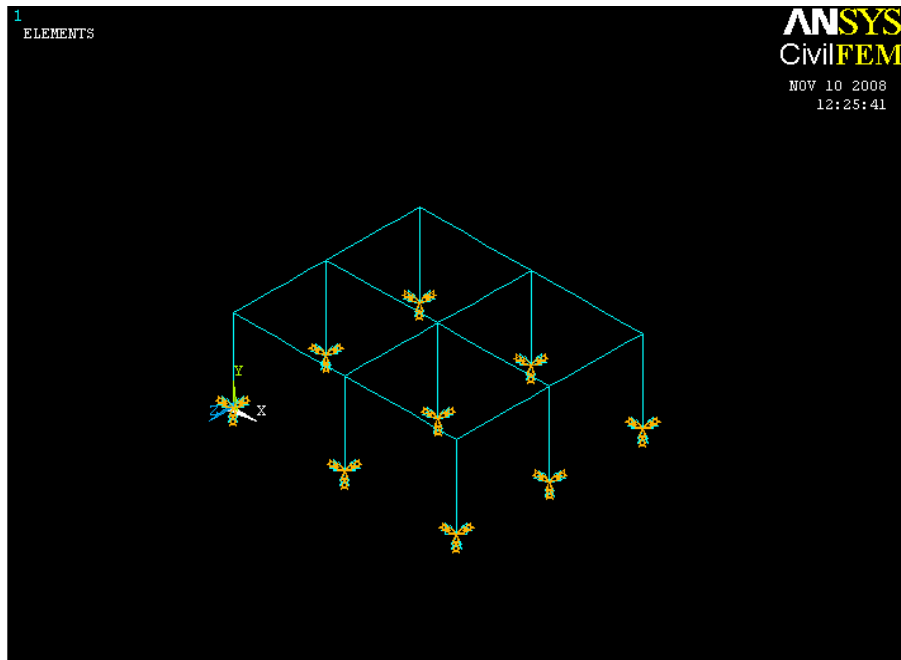
Se aplicaran las restricciones de desplazamiento. Seleccione **Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes** y con el cursor seleccione los nodos de la parte inferior y aplique restricciones de desplazamiento en X & Y como se muestra en la figura a continuación.

Figura 3.56. Ventana aplicación de restricciones de movimiento.



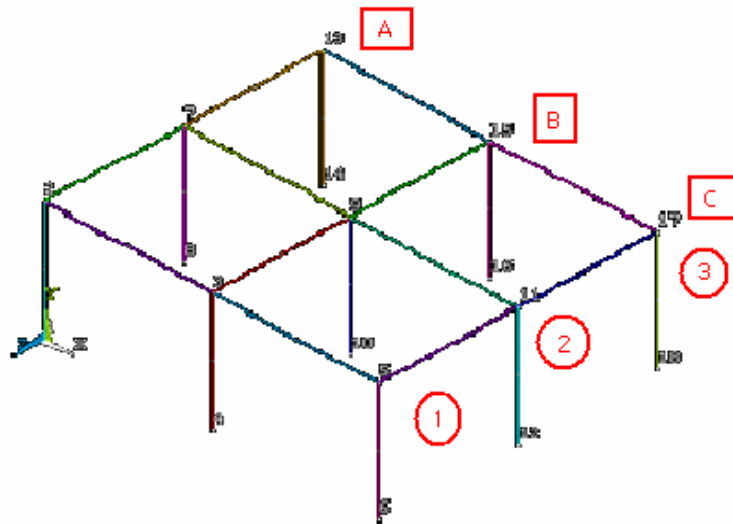
El modelo aparecerá con las restricciones establecidas.

Figura 3.57. Vista pórtico con restricciones definidas.



Aplicación de cargas

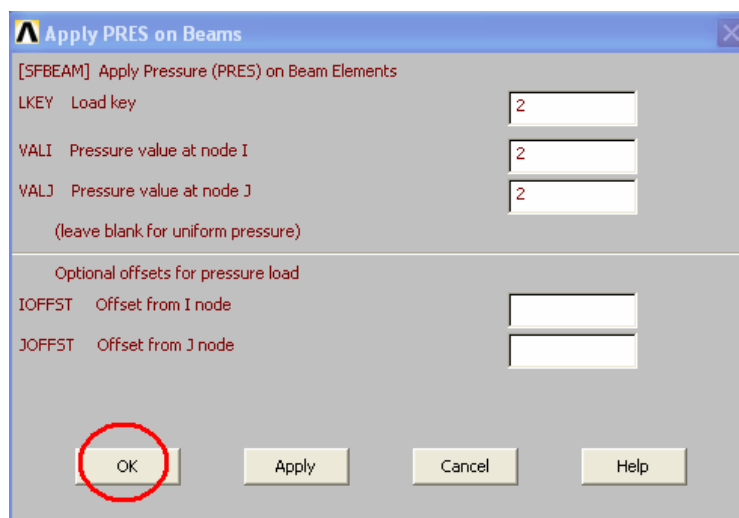
Figura 3.58. Numeración de ejes del modelo.



Para los ejes A, B y C se aplicará una carga uniformemente distribuida de 2 kips/in².

Seleccione **Preprocessor > Loads > define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams**. Con el ratón seleccione los elementos y de "OK".

Figura 3.59. Ventana de aplicación de cargas distribuidas.



Nota: La opción “Load Key” hace referencia a la cara sobre la cual se aplicara la presión.

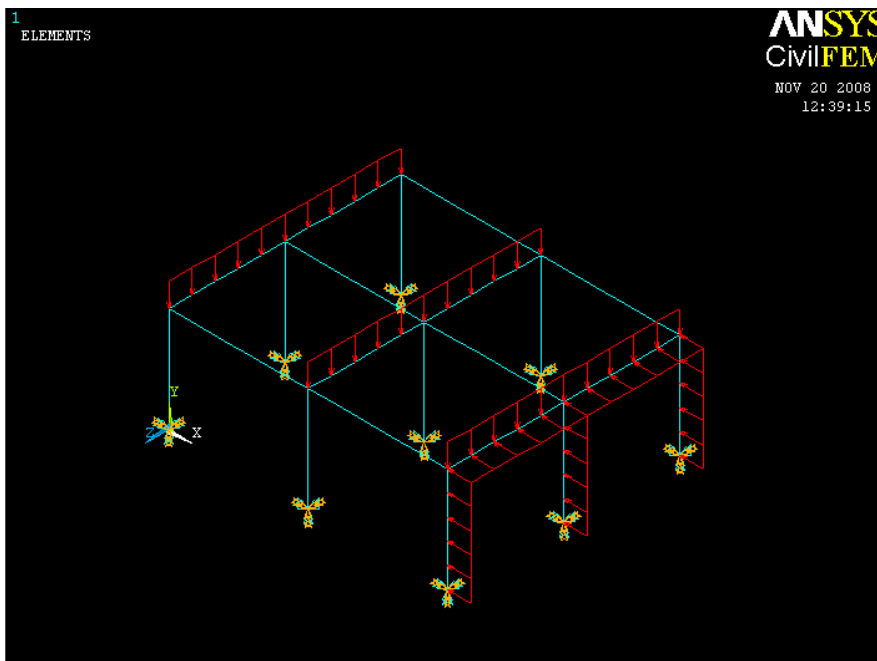
Siguiendo el procedimiento anterior se asignaran las demás cargas de acuerdo a la siguiente tabla.

Figura 3.60. Tabla asignación de cargas.

	Load Key	VAL I	VAL J
Carga en los ejes 1, 2 y 3	1	1.5	1.5
Carga en las columnas	2	1.5	1.5

A continuación podrá ver la aplicación de la carga en el modelo.

Figura 3.61. Modelo con la aplicación de cargas distribuidas.

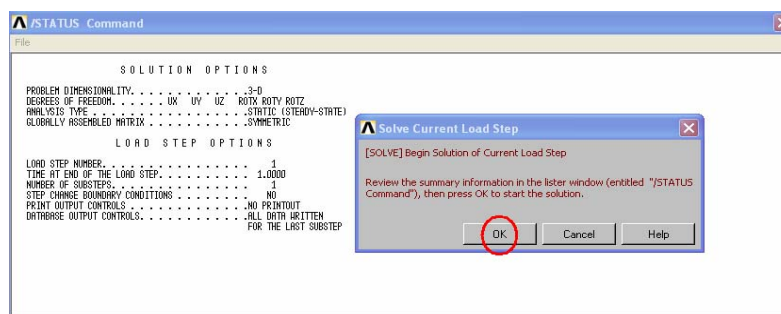


3.2. ETAPA SOLUCIÓN.

En este momento el modelo ya tiene definidas todas las variables necesarias para desarrollar su solución.

Para ejecutar el análisis seleccione **Solution > Solve > Current Is**, y en la siguiente ventana haga “Click” en “OK”. Si todo ha sido correctamente definido obtendrá la solución del modelo, de lo contrario aparecerá en pantalla una ventana de error indicándole donde esta el error.

Figura 3.62. Ventana proceso de solución en Ansys.



3.3. ETAPA POSTPROCESO.

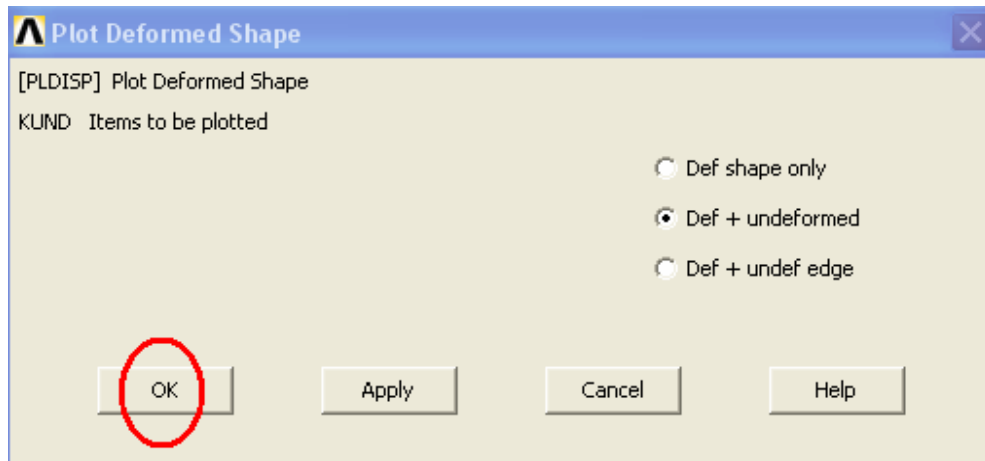
Una vez la solución haya sido exitosa, podrá visualizar los resultados.

3.3.1 Postproceso en Ansys.

Deformaciones.

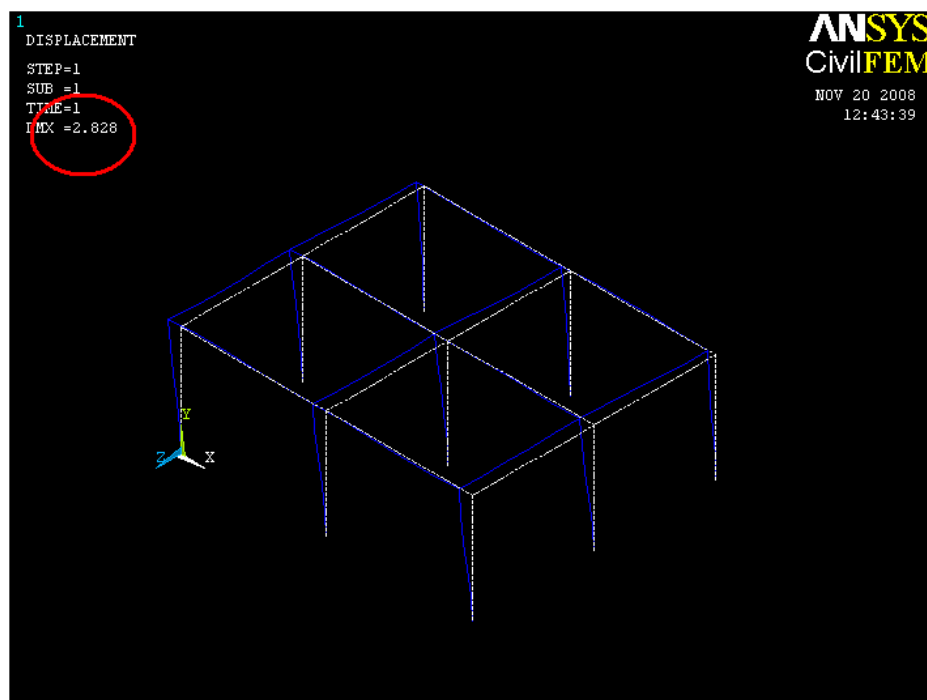
Para visualizar la deformación del pórtico seleccione **General Postproc > Plot Results > Deformed Shape** y en la siguiente ventana seleccione la opción “Def + undeformed” como se muestra a continuación.

Figura 3.63. Ventana para dibujar deformación del pórtico.



Ahora podrá ver el pórtico deformado.

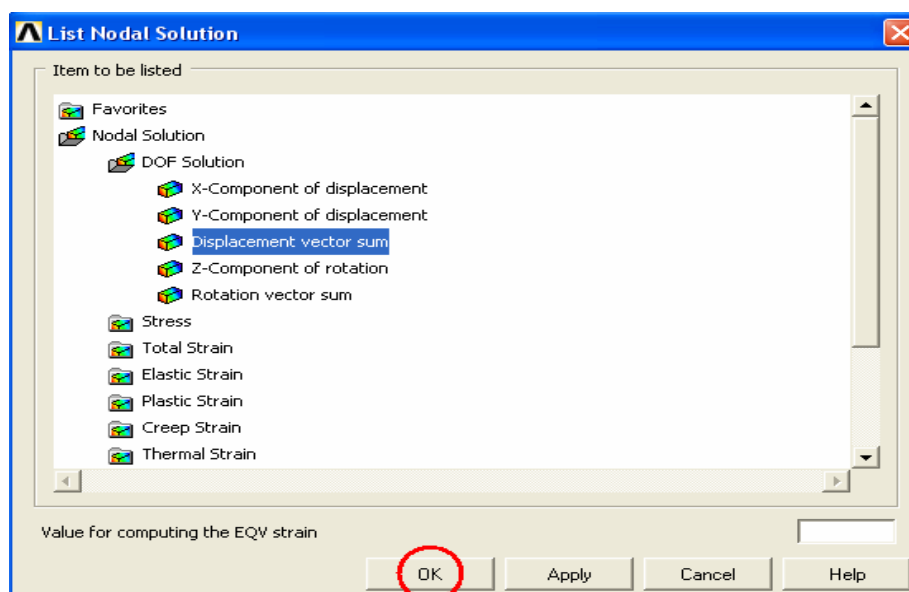
Figura 3.64. Vista del pórtico deformado.



En la parte superior izquierda se puede ver el valor de la máxima deformación que sufre el modelo.

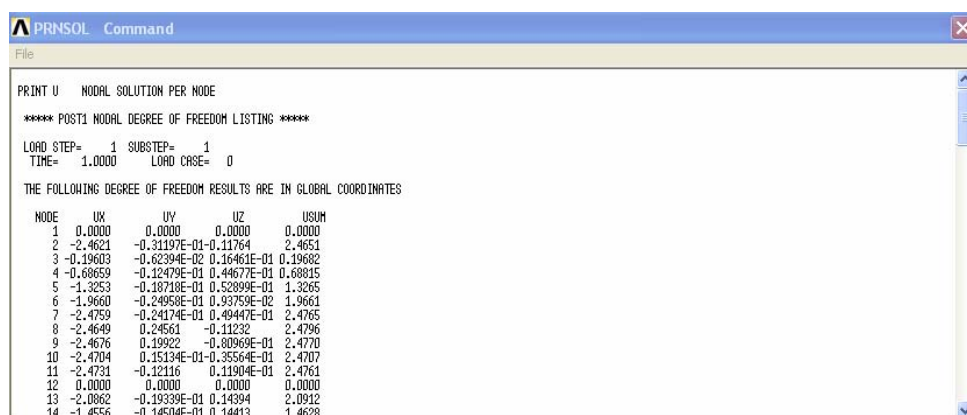
Para observar las deformaciones de los nodos en forma de lista seleccione **General Postproc > List Results > Nodal Solution** y en la siguiente Ventana escoja las opciones como se muestra en la figura 3.62.

Figura 3.65. Ventana solución nodal para desplazamientos.



A continuación podrá observar la lista con todos los resultados obtenidos.

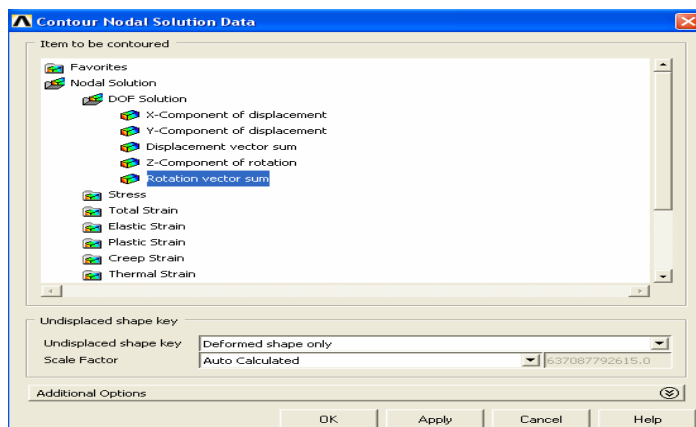
Figura 3.66. Lista resultados deformaciones.



Deflexiones.

De igual manera se puede ver la deformación del pórtico de una forma aun mas detallada. Seleccione **General Postproc > Contour Plot > Nodal Solution** y en la siguiente ventana seleccione las opciones como se muestra en la figura 3.64.

Figura 3.67. Ventana solución nodal para rotaciones.



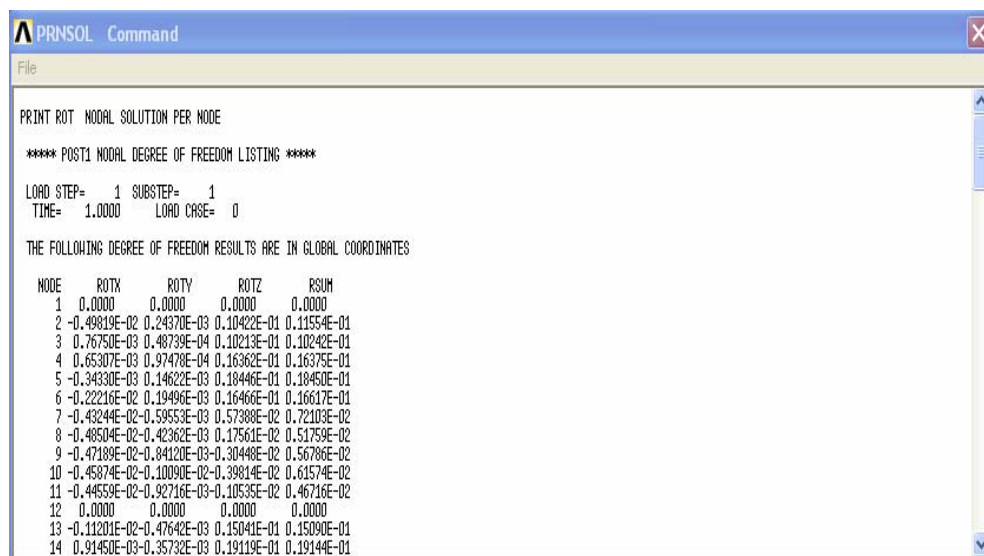
Y podrá ver el modelo en una escala de colores que indica donde se presentan las menores y mayores deflexiones.

Figura 3.68. Vista modelo de deflexiones.



Las deflexiones también se pueden ver en forma de lista para esto seleccione **General Postproc > List Results > Nodal Solution** y en la siguiente venta seleccione “DOF solution” y “Rotation Vector Sum” y acepte. Podrá ver la lista de los valores de las deflexiones del modelo.

Figura 3.69. Lista resultados de deflexiones.



3.3.2. Postproceso en Civilfem.

Seleccione **Civil Postprocessor > Read Results > Set Data to Read**. Con estos comandos se ejecuta automáticamente los comandos de Ansys, permitiendo la lectura del fichero de resultados de ambos programas paralelamente.

La utilización del Postprocesador de Civilfem, se pueden ver otros resultados mas detallados.

Diagramas de cortantes en columnas.

Seleccione **Civil Postprocessor > Beam utilities > Graph Results > Forces and Moments > shear Force Z**.

Figura 3.70. Vista modelo diagramas fuerzas cortantes.

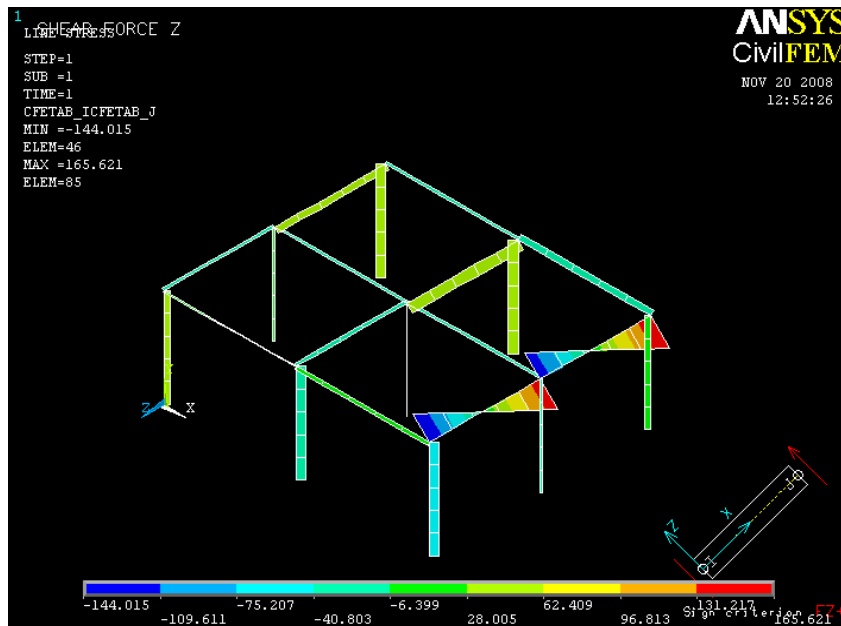
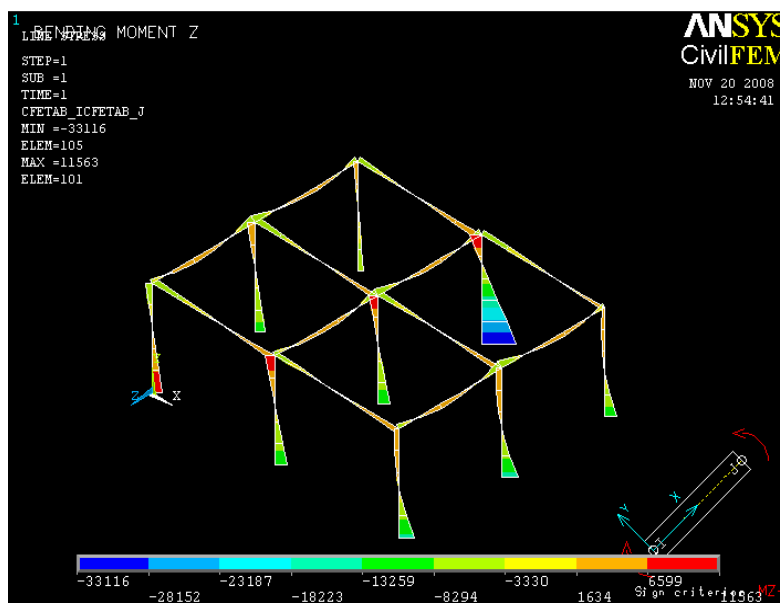


Diagrama de momentos en vigas.

Seleccione **Civil Postprocessor > Beam utilities > Graph Results > Forces and Moments > Bending Mom Z.**

Figura 3.71. Vista modelo diagramas momentos.



Chequeos stress y tensión.

Seleccione **Civil Postprocessor** > **Beam utilities** > **Graph Results** > **Stress & Strain** y a continuación agregue las variables como se muestran a continuación.

Figura 3.72. Ventana para seleccionar componente a graficar.

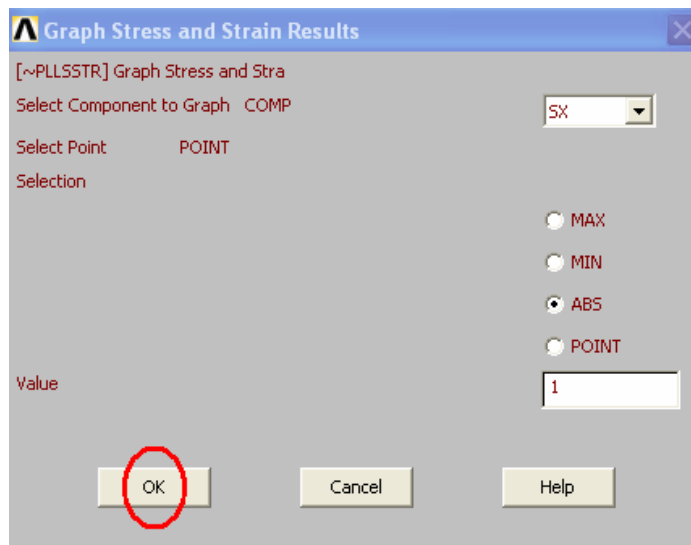
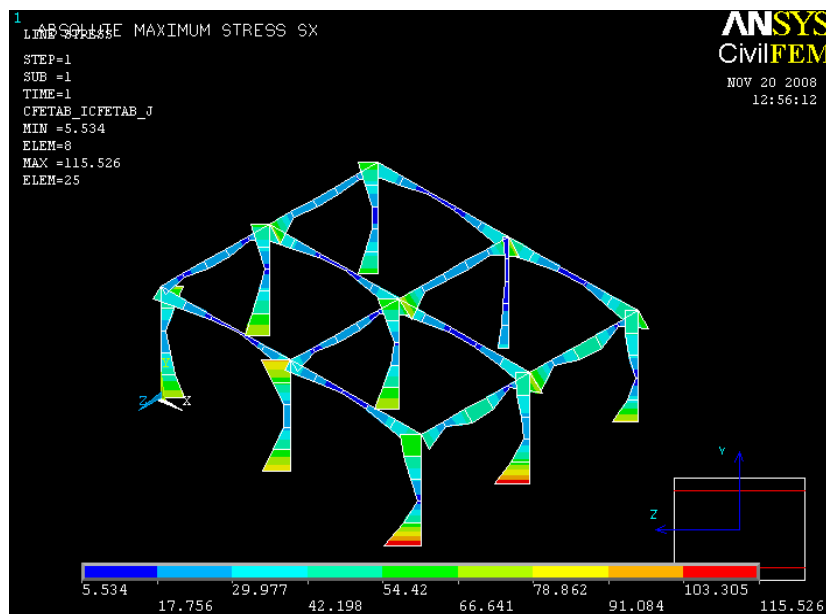


Figura 3.73. Vista modelo de chequeo de stress.



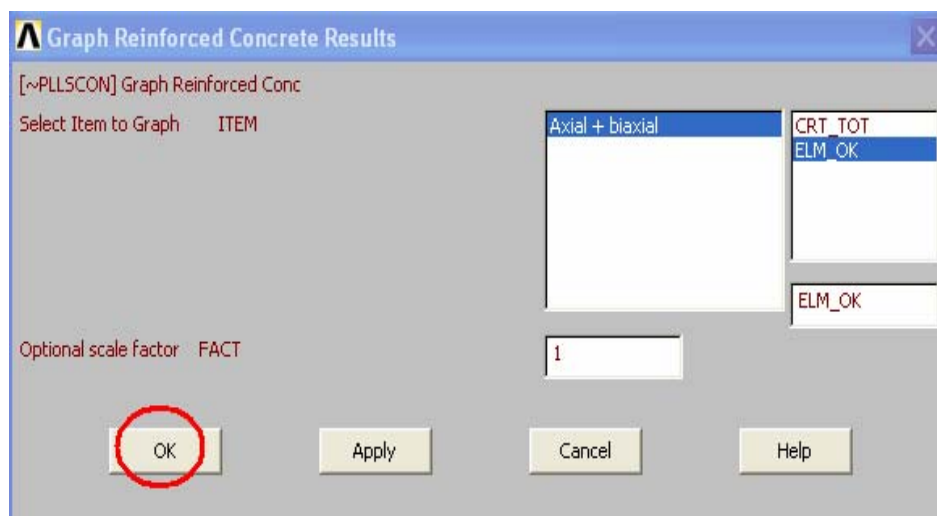
El Postprocesador de Civilfem también tiene la opción de verificar y chequear los diferentes tipos de normas utilizadas.

A continuación se muestran algunos resultados de los elementos regidos por la norma ACI.

Chequeos Fuerzas axiales + flexión

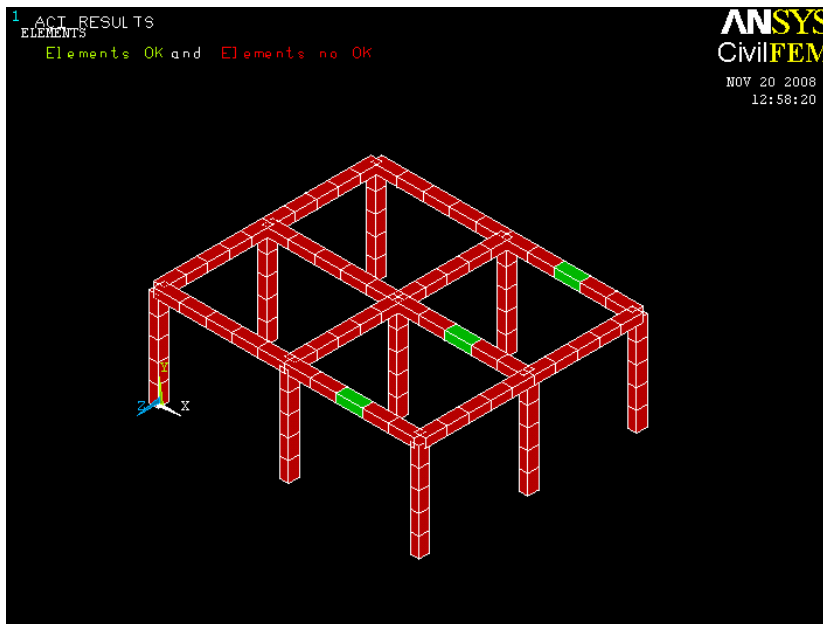
Civil Postprocessor > Code Checking > ACI > Check By Code > Beam & Solid > 3D Axial + Bend y en la siguiente ventana de “OK”. Luego seleccione **Beam Results > Plot Results** y seleccione las variables a continuación mostradas.

Figura 3.74. Ventana para graficar resultados del concreto reforzado “ELM_OK”.



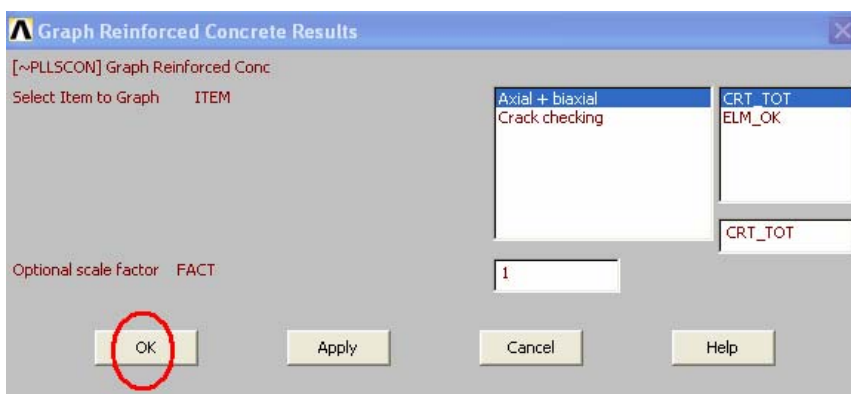
La herramienta “**ELM_OK**” de Civilfem es de gran ayuda, ya que permite visualizar cuales de los elementos están “OK” y cuales no, posibilitando al usuario tomar decisiones sobre el modelo.

Figura 3.75. Vista modelo elementos OK y elementos no OK de fuerzas axiales y flexión.



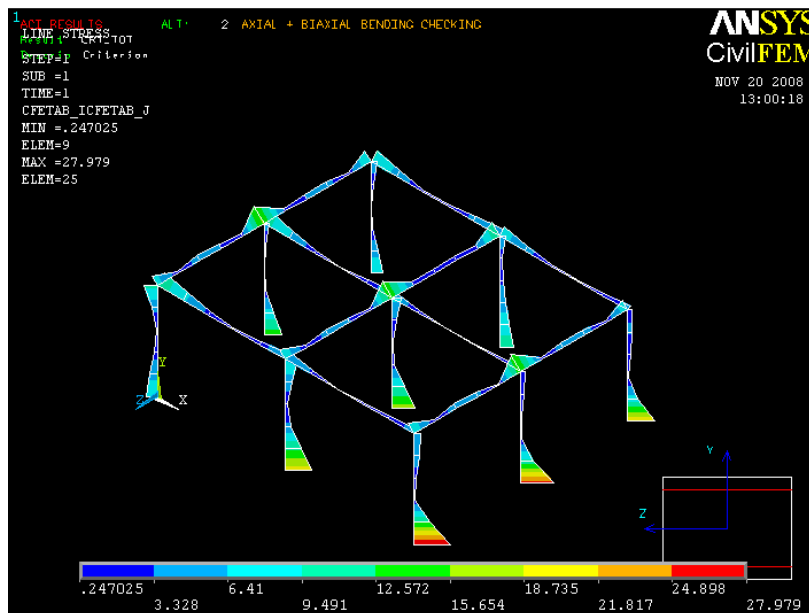
Seleccionando **Civil Postprocessor > Code Checking > ACI > Check By Code > Beam & Solid > 3D Axial + Bend** y luego en la ventana siguiente de “OK”. A continuación seleccione las siguientes variables como se muestra en la siguiente figura.

Figura 3.76. Ventana para graficar resultados del concreto reforzado “CRT_TOT”.



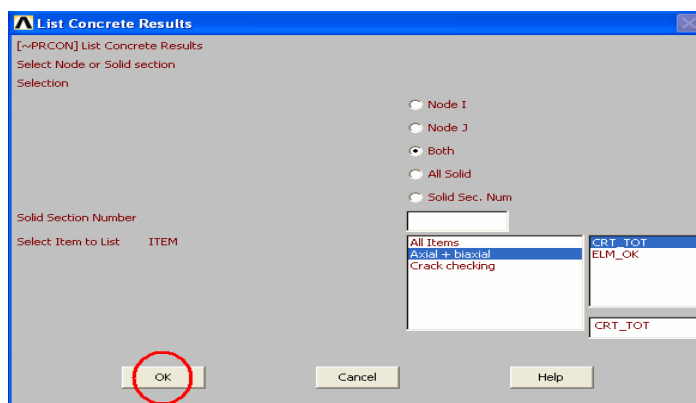
Con la variable “**CRT_TOT**” se puede analizar el criterio de resistencia de la sección.

Figura 3.77. Vista modelo chequeo fuerzas axiales + flexión.



Este chequeo también se puede observar en forma de lista. Seleccione **Beam results > List results > Basic**. Y en la siguiente ventana seleccione los parámetros para definir la lista de resultados.

Figura 3.78. Ventana para generar lista de resultados.



A continuación se generara la lista con todos los resultados obtenidos del análisis seleccionado.

Figura 3.79. Lista de resultados.

Release 8.1
Thursday 13:03, November 20, 2008

REINFORCED CONCRETE CHECKING RESULTS

Alternative 6

ACI - AXIAL + BIAXIAL BENDING CHECKING

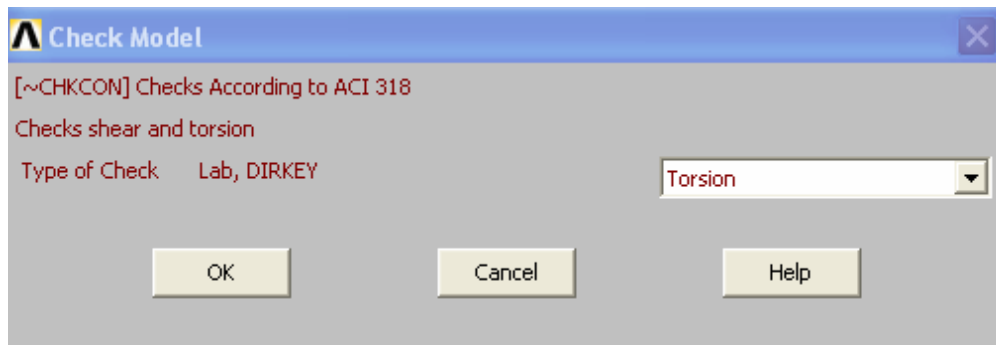
Element	Node	CRT_TOT
1	I	8.846E+00
1	J	5.386E+00
2	I	5.386E+00
2	J	2.039E+00
3	I	2.039E+00
3	J	656.411E-03
4	I	656.411E-03
4	J	3.966E+00
5	I	3.966E+00
5	J	10.143E+00
6	I	11.404E+00
6	J	6.926E+00
7	I	6.926E+00
7	J	2.449E+00
8	I	2.449E+00
8	J	247.025E-03
9	I	247.025E-03
9	J	2.571E+00

Nota: Todos los chequeos pueden ser vistos en forma de listas, siguiendo los mismos comandos anteriormente explicados.

Chequeos a Torsión

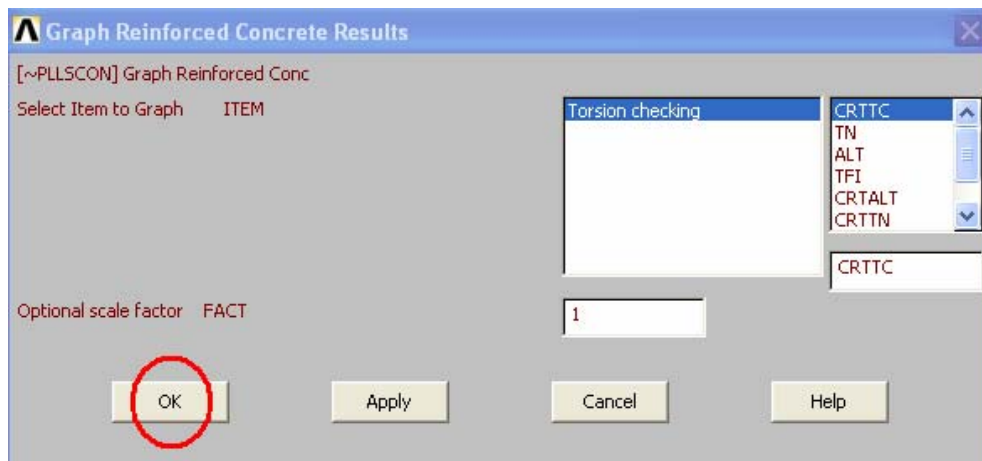
Para analizar los resultados a torsión seleccione **Civil Postprocessor > Code Checking > ACI > Check By Code > Beam & Solid > Shear & Torsion**. Seleccione la opción “Torsión” como se indica a continuación.

Figura 3.80. Ventana chequeo torsión.



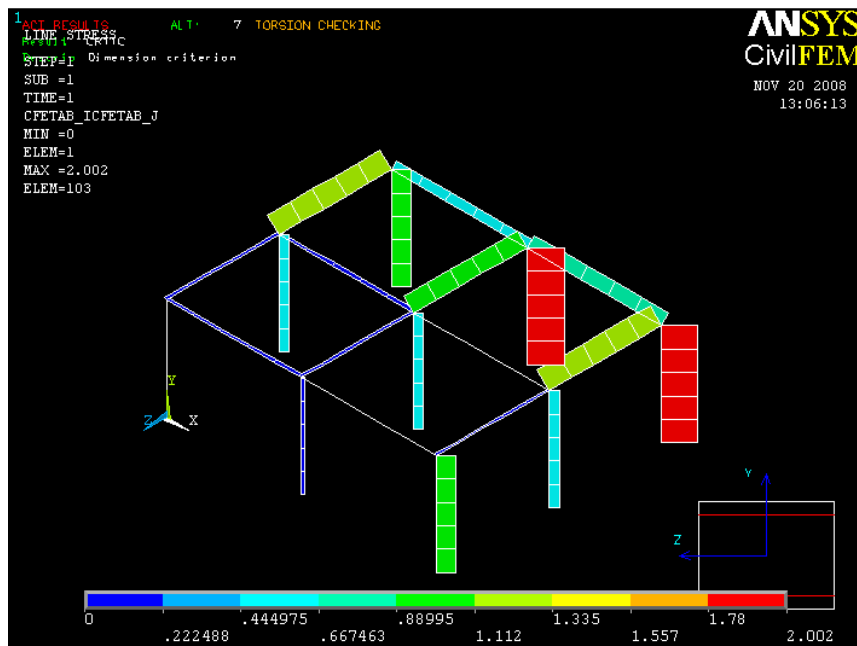
Ahora **Seleccione Beam results > Plot results** y en la siguiente Ventana Seleccione las variables que se muestran a continuación.

Figura 3.81. Ventana para graficar resultados del concreto reforzado “CRTTC”.



Con la variable “**CRTTC**” indica el criterio de rotura del hormigón. Se puede observar donde se presenta la torsión máxima del modelo.

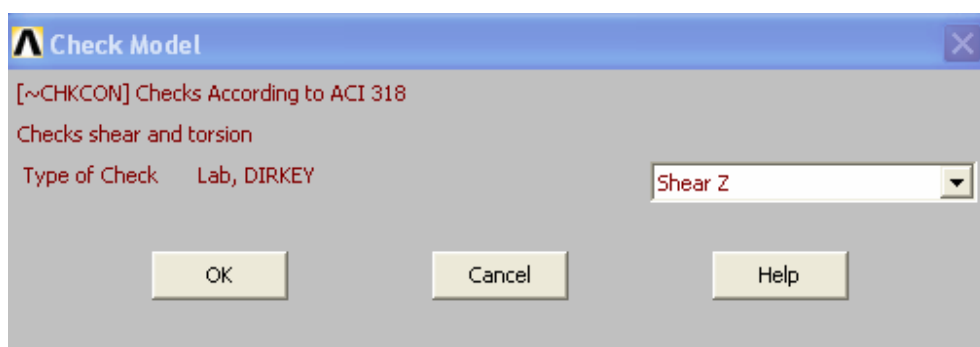
Figura 3.82. Vista modelo chequeo a torsión.



Chequeo a Cortante.

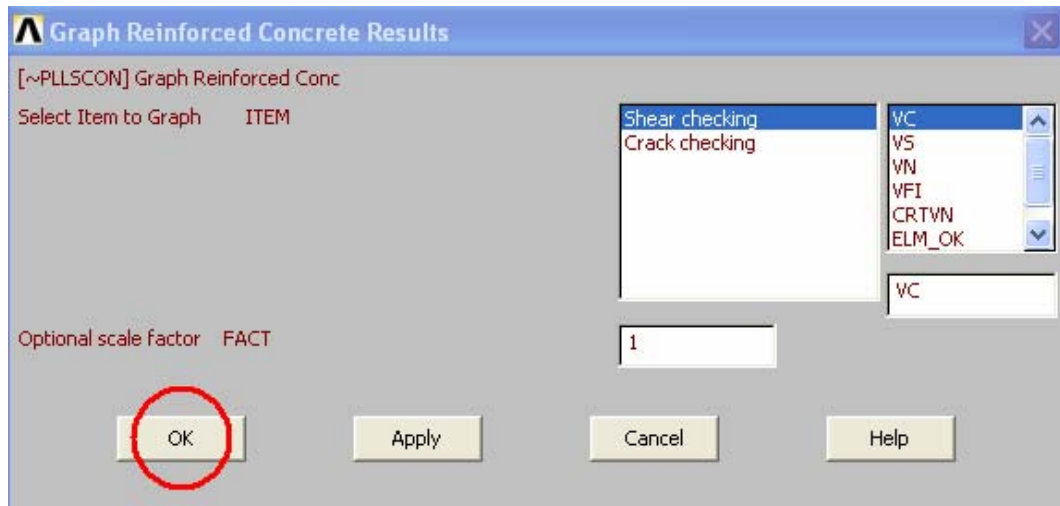
Civil Postprocessor > Code Checking > ACI > Check By Code > Beam & Solid > Shear & Torsión. Y en la siguiente ventana seleccione la opción “Shear”.

Figura 3.83. Ventana para chequeo cortante.



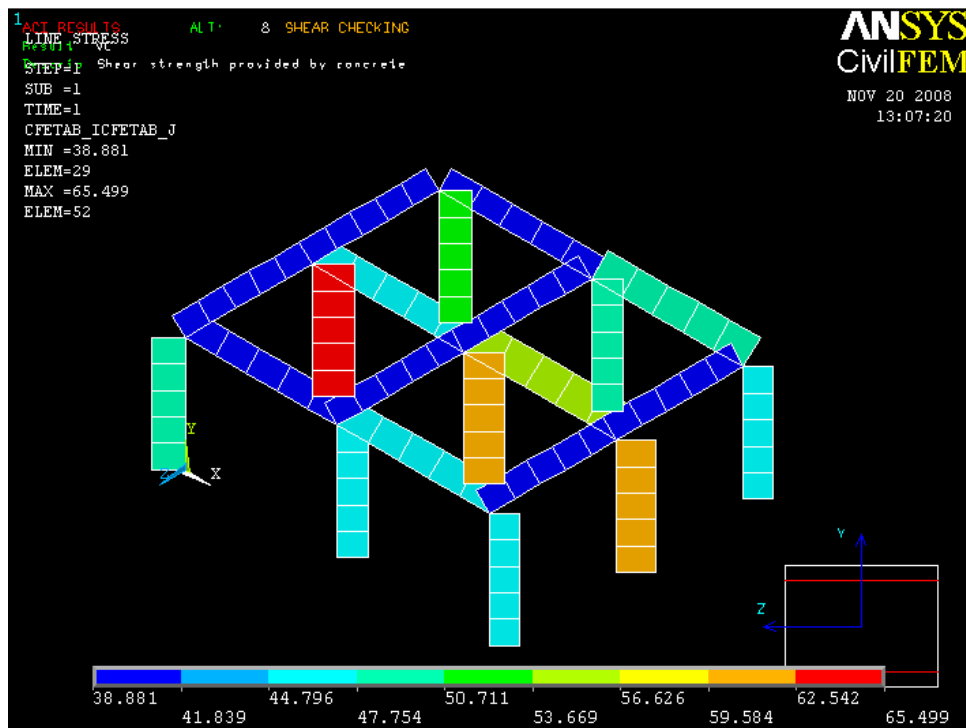
Seleccione **Beam results > Plot results** y agregue las siguientes variables Como se indica en la siguiente figura.

Figura 3.84. Ventana para graficar resultados del concreto reforzado “VC”.



La variable “**Vc**” indica la Resistencia a cortante proporcionada por el hormigón.

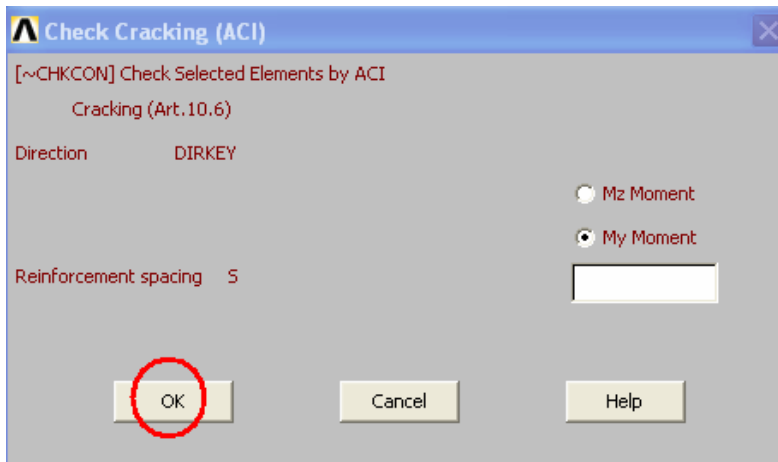
Figura 3.85. Vista modelo fuerzas cortantes.



Chequeo fisuración

Civil Postprocessor > Code Checking > ACI > Check By Code > Beam & Solid
> cracking y Seleccione la dirección en que quiera que se realice el Chequeo.

Figura 3.86. Ventana para chequear fisuración.



Seleccione **Beam results > Plot results** y agregue las siguientes variables Como se indica en la siguiente figura.

Figura 3.87. Ventana para graficar resultados del concreto reforzado “ELM_OK”.

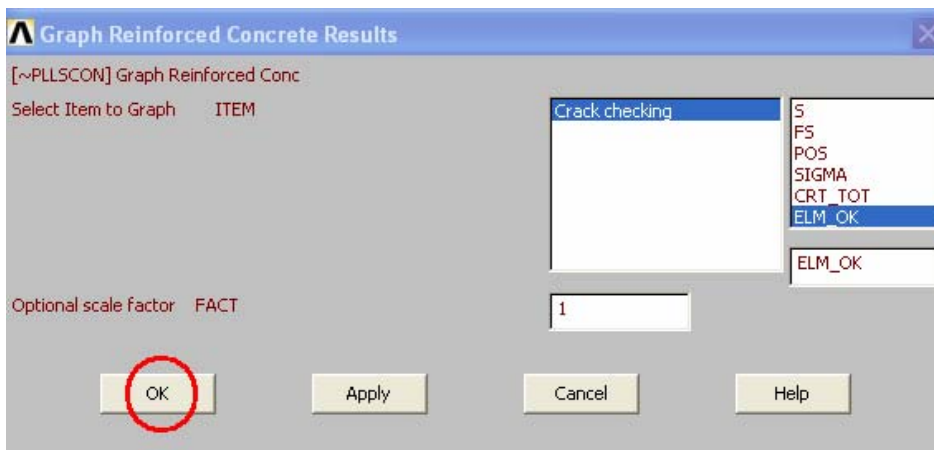
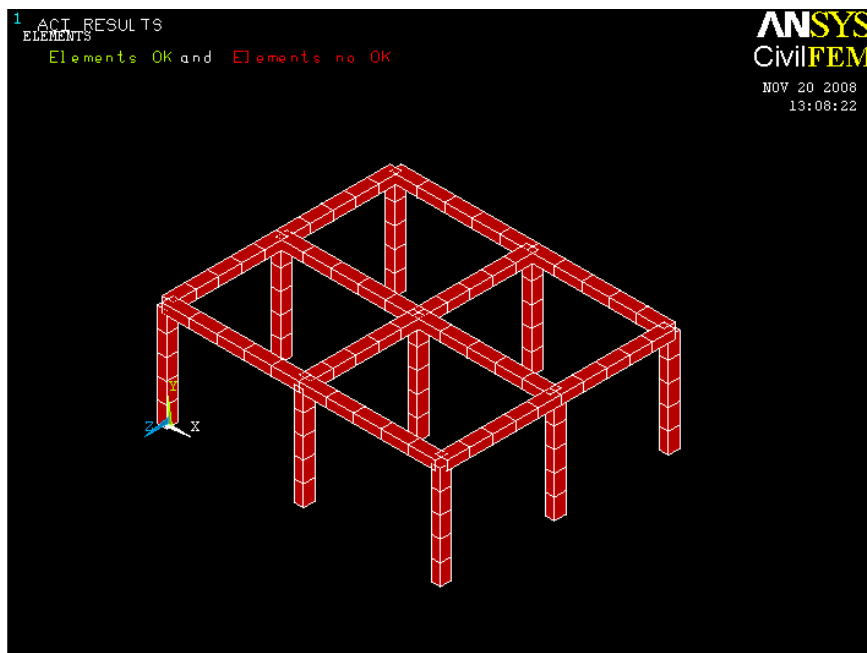


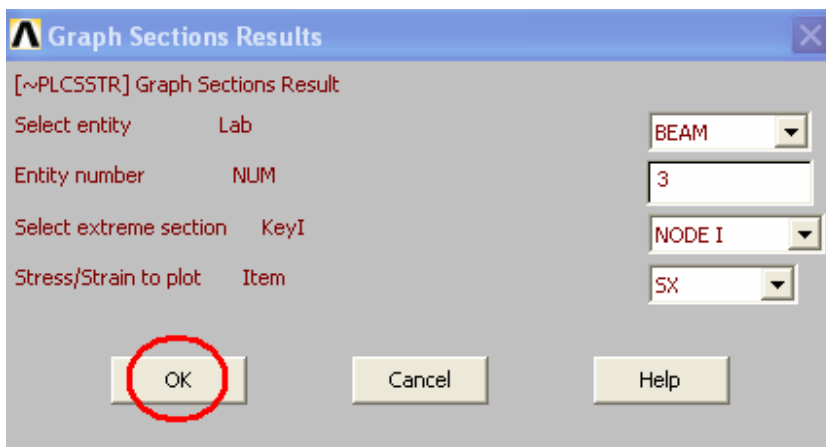
Figura 3.88. Vista modelo elementos OK y elementos no OK de chequeos de fisuración.



Chequeo sección Transversal.

Civildem también da la opción de verificar cada una de las secciones transversales de los elementos. Para verificar el comportamiento de las secciones transversales seleccione **Beam Utilities > Graph Results > Section Results** y a continuación con el ratón seleccione un elemento.

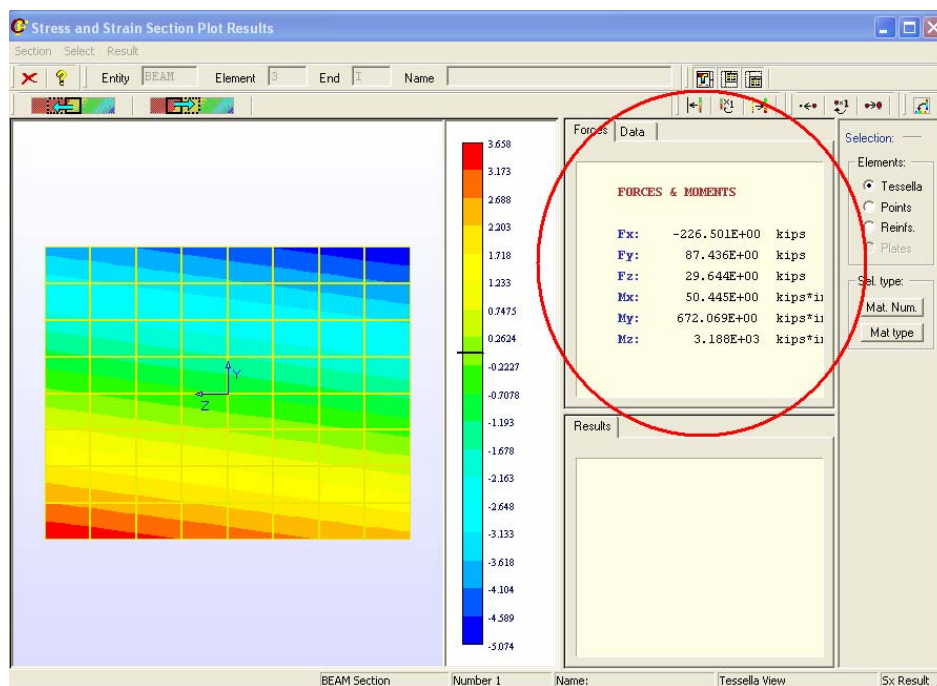
Figura 3.89. Ventana de resultados de secciones transversales.



En la figura 3.85. Muestra el elemento seleccionado y el usuario puede escoger el nodo y la clase de fuerza que quiere visualizar.

Después de aceptar puede visualizar la sección transversal.

Figura 3.90. Vista resultados de stress de la sección transversal.



En la figura se puede observar las fuerzas y momentos aplicados a la sección en todas las direcciones. Además se puede analizar como están distribuidas las fuerzas de stress y flexión sobre la sección.

Diseño sísmico

Civildem construye el espectro de respuesta, a partir de los parámetros que lo definen, mediante el siguiente proceso.

Seleccione **Seismic Design > Define Spectrum**.

Figura 3.91. Ventana para definir espectro.

Define Spectrum

[~DEFSPEC] Define spectrum for analysis by Eurocode 8

Design ground acceleration [ag] (Part 1-1, 4.2.2.(1)P)
[ag] AG 1.2753

Subsoil class (Part 1-1, 3.2.(1)P)
SCLASS
☒ Class A
☐ Class B
☐ Class C

Spectrum type (Part 1-1, 4.2.2 and 4.2.4)
SPTYPE
☒ Linear
☐ Elastic

Behaviour factor [q] (Part 1-3, Sections 2,3)
Horizontal behaviour fact. QH 1
Vertical behaviour fact. QV 1

Damping factor (Part 1-1, 4.2.2)
DMPRAT 5

OK Cancel Help

A continuación se explicara cada variable:

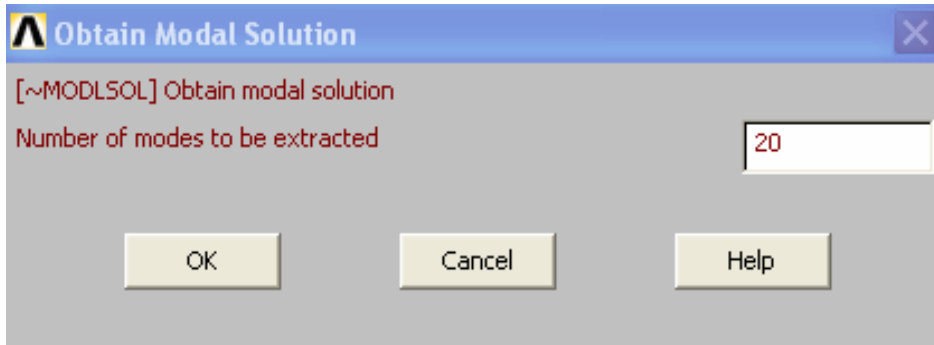
- **AG:** Aceleración de cálculo del terreno, para el período de referencia.
- **SCLASS:** Coeficiente tipo de suelo.
- **SPTYPE:** Tipo de espectro que se define. Lineal o elástico.
- **QH:** Factor de comportamiento horizontal.
- **QV:** Factor de comportamiento vertical.
- **DMPRAT:** Factor de amortiguamiento viscoso.¹

Se definen un total de 20 puntos del espectro como se describe a continuación:

Selecione **Seismic Design > Modal Solution**.

¹ Norma Europea de Análisis Sísmico.

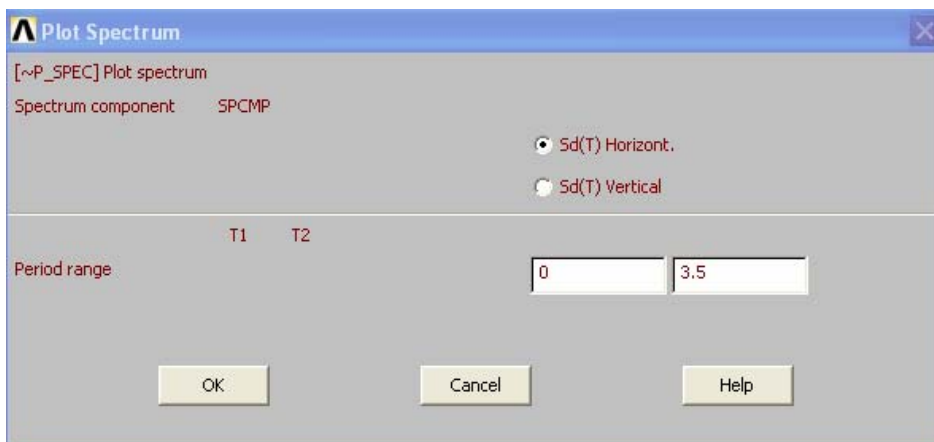
Figura 3.92. Ventana para obtener la solución modal.



Haga “Click” en “OK” y Civilfem realizara el análisis modal de la estructura.

Luego Seleccione **Seismic Design > Plot spectrum** y seleccione las variables requeridas.

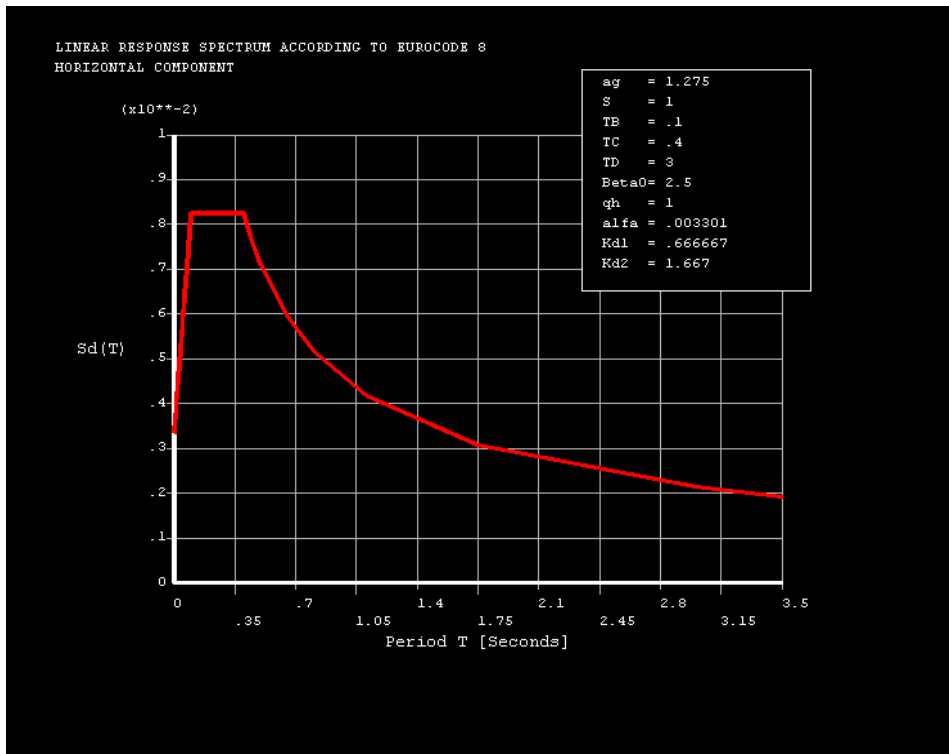
Figura 3.93. Ventana para definir el rango del periodo.



- **Horizont:** Componente horizontal del espectro.
- **Vertical:** Componente vertical del espectro.
- **T1:** Periodo inicial.
- **T2:** Periodo final.

Haga “Click” en “OK” y podrá visualizar el espectro definitivo.

Figura 3.94. Vista del espectro.



Después de aplicar el diseño sísmico al modelo se tienen que volver a realizar los chequeos anteriormente hechos para poder ver los cambios en el comportamiento de la estructura, así se pueden tomar decisiones importantes y definitivas sobre el modelo.

Siguiendo los mismos comandos anteriormente explicados, se podrán volver a realizar los chequeos.

Figura 3.95. Vista modelo fuerzas axiales + flexión.*

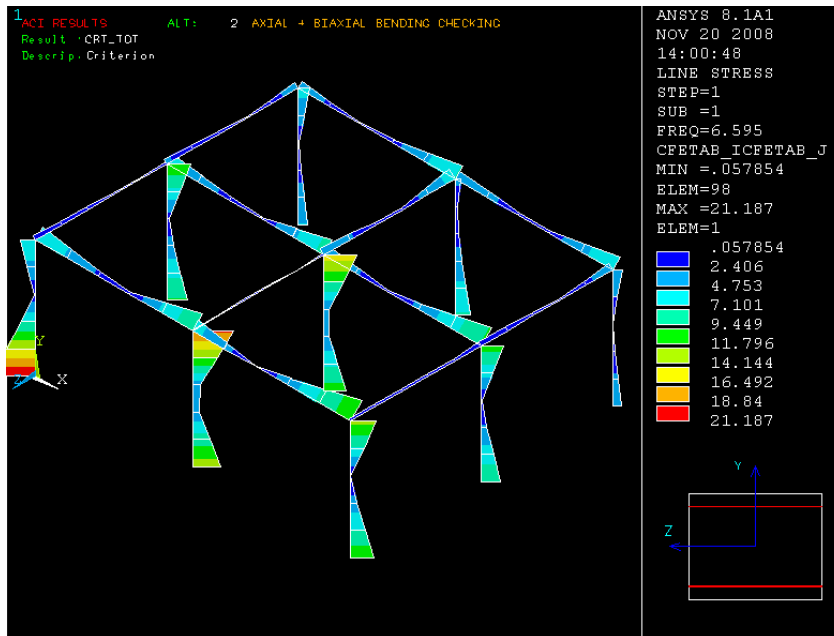


Figura 3.96. Vista modelo elementos OK y elementos no OK de fuerzas axiales + flexión.*

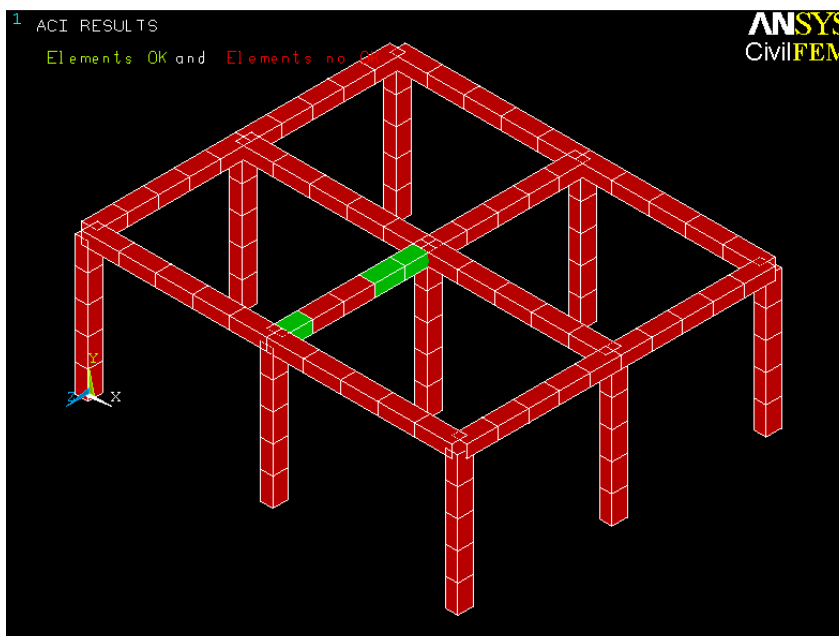


Figura 3.97. Vista modelo Chequeo cortante.*

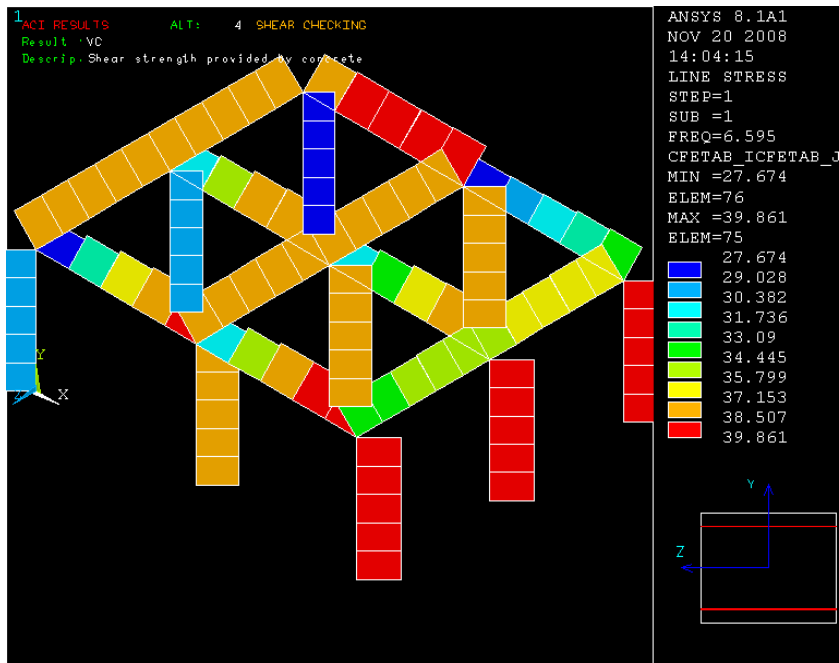


Figura 3.98. Vista modelo Chequeo torsión.*

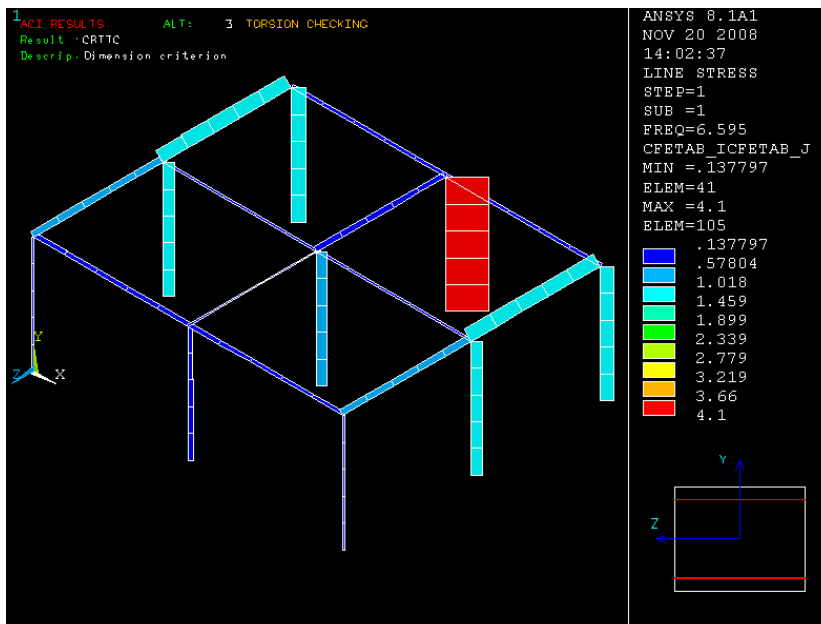
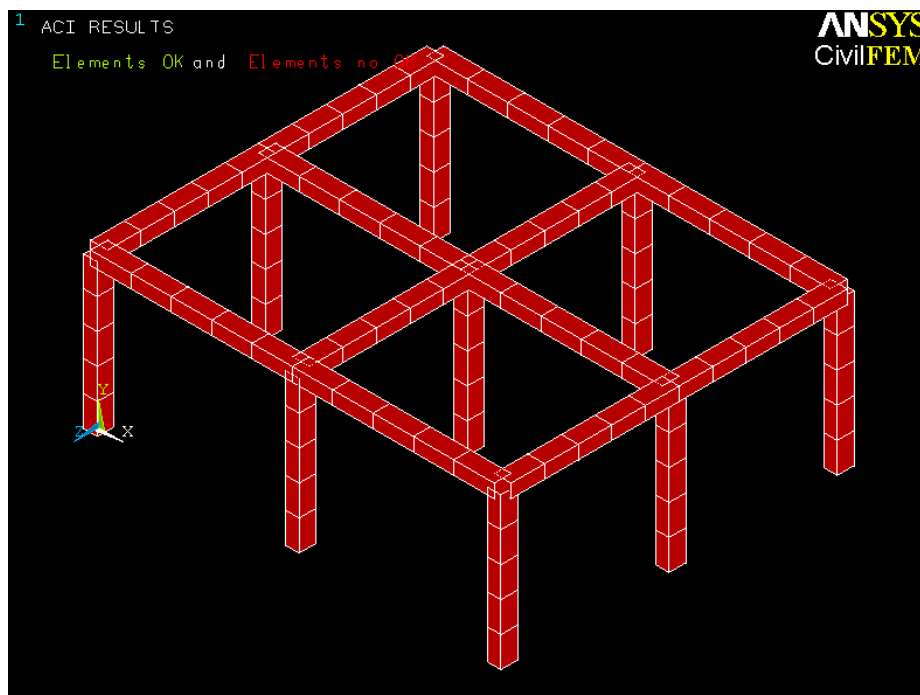


Figura 3.99. Vista modelo elementos OK y elementos no OK de chequeo de fisuración.*



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se puso en conocimientos la utilización del programa de modelamiento por elementos finitos Ansys+Civildem en forma de manual como un primer paso en el análisis de estructuras de hormigón armado.
- La combinación de Ansys+Civildem hacen de este programa, una herramienta única y completa en el sector de la ingeniería civil.
- Ansys+Civildem cuenta con múltiples capacidades de pre y Postproceso y además con una variedad de análisis que hacen que esta herramienta sea superior a otras en el mercado hoy en día.
- Ansys+Civildem soporta una gran variedad de normativas internacionales. Esto hace que cualquier proyecto pueda ser modelado y analizado con las normas de otros países, que son específicas y requeridas para un proyecto en particular.
- La extensa librería que tiene Ansys+Civildem, hace que los modelos a desarrollar se asemejen más a la realidad produciendo datos y resultados muy confiables, de vital importancia a la hora de tomar decisiones.
- Cada vez que se ejecuten operaciones que causen cambios importantes en el modelo, se deben guardar en la base de datos, ya que Ansys no permite deshacer los comandos ya ejecutados, de esta forma si se comete algún error en el procedimiento se puede deshacer la operación ejecutada recuperando la base de datos inmediatamente anterior.

- Ejecutar ordenes con comandos en Ansys+Civildem es un trabajo complejo, debido a las múltiples variables que maneja el programa para su aplicación.
- Es fundamental ampliar el rango de investigación de Ansys+Civildem, para poder complementar el uso de este programa en diferentes campos de acción de la Ingeniería Civil, diferentes al análisis estructural en pórticos, para así aumentar el beneficio a los usuarios o Ingenieros Civiles en el desarrollo de su profesión.

5. BIBLIOGRAFIA

- Ansys Solutions “ The premier magazine for design innovation” Volumen 7 – Publicación 2 – 2006
- Introduction to Ansys “Training manual”. For release 5.5 - pág. M1-8 a M1- 20; M3-9 a M3-21 - Septiembre 30, 1.998.
- Programa Ansys+Civildem - Manual de teoría Civildem – Primera edición Ingeciber S.A.
- www.ansys.com
- www.cimne.upc.es - Norma Europea de análisis sísmico.
- www.civildem.com
- www.concrete.org - Instituto Americano de Concreto - Norma ACI-318.
- www.ingeciber.com
- www.uestructuras.unal.edu.co. Maestría y especialización en estructuras.