



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

---

**TEMA:**

**"ANÁLISIS DEL MÉTODO "MODAL PUSH-OVER" Y SU  
INCIDENCIA EN EL CÁLCULO DE PÓRTICOS DE  
HORMIGÓN ARMADO EN EL CANTÓN DE AMBATO"**

---

AUTOR: VALENCIA VASCONEZ JAIRO DAVID

TUTOR: INGENIERO MG. JUAN GARCÉS

AMBATO - ECUADOR

2012

## CERTIFICACIÓN

Certifico que la presente tesis de grado realizada por el Señor Jairo David Valencia Vásconez egresado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito con el Tema **"ANÁLISIS DEL MÉTODO "MODAL PUSH-OVER" Y SU INCIDENCIA EN EL CÁLCULO DE PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO EN EL CANTÓN DE AMBATO"** bajo la modalidad de trabajo estructurado de manera independiente.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

---

Ing. MG. Juan Garcés

TUTOR

## AUTORÍA

El proyecto de investigación **"ANÁLISIS DEL MÉTODO "MODAL PUSH-OVER" Y SU INCIDENCIA EN EL CÁLCULO DE PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO EN EL CANTÓN DE AMBATO"** es de mi completa autoría y fue realizado en el periodo de Mayo del 2011 - Marzo del 2012.

---

Jairo David Valencia Vásquez

Autor

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo esta dedicado a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil para que sirva de dirección a todas las personas interesadas en la aplicación del método Push-Over en estructuras aporticadas de Hormigón Armado.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer primeramente a Dios por ayudarme a culminar mi carrera

Agradezco al Ingeniero Juan Garcés por ayudarme en la dirección de mi trabajo de graduación.

A los ingenieros que de forma muy acertada dictan su cátedra en la facultad de Ingeniería Civil que con su conocimiento y experiencia he obtenido las bases para ser Ingeniero.

Finalmente agradezco a mi familia por darme su incondicional apoyo en todos los días de mi vida.

## ÍNDICE

### A. PAGINAS PRELIMINARES

Portada.....	I
Certificación del tutor.....	II
Autoría de tesis.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Índice general de contenido.....	VI
Resumen ejecutivo.....	XIX

### B. TEXTO

Introducción.....	XX
-------------------	----

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### CAPITULO I. EL PROBLEMA

1.1.- Tema de investigación.....	1
1.2.- Planteamiento del problema.....	1
1.2.1.- Contextualización del problema.....	1
1.2.2.- Análisis critico.....	3
1.2.3.- Prognosis.....	4
1.2.4.- Formulación del problema.....	5

1.2.5.- Preguntas directrices.....	5
1.2.6.- Delimitación del problema.....	5
1.2.6.1.- Contenido.....	5
1.2.6.2.- Espacial.....	5
1.2.6.3.- Temporal.....	6
1.3.- Justificación.....	6
1.4.- Objetivos.....	6
1.4.1.- Objetivos generales.....	6
1.4.2.- Objetivos específicos.....	6
<b>CAPITULO II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1.- Antecedentes investigativos.....	8
2.2.- Fundamentación filosófica.....	10
2.3.- Fundamentación legal.....	12
2.4.- Red de categorías fundamentales.....	12
2.4.1.- Ingeniería sismo-resistente.....	12
2.4.2.- Estructuras.....	15
2.4.3.- Acciones de cargas en la Estructura.....	19
2.4.4.- Efecto P-Delta.....	20
2.4.5.- Capacidad Estructural.....	21
2.4.6.- Método Push-Over.....	23
2.5.- Hipótesis.....	25
2.5.1.- Unidades de observación.....	25

2.5.2.- Variables.....	25
------------------------	----

2.5.3.- Termino de relación.....	25
----------------------------------	----

### **CAPITULO III. METODOLOGÍA**

3.1.- Enfoque.....	26
--------------------	----

3.2.- Modalidad y tipo de investigación.....	26
--	----

3.3.- Tipo de investigación.....	26
----------------------------------	----

3.4.- Población y muestra.....	27
--------------------------------	----

3.4.1.- Población.....	27
------------------------	----

3.4.2.- Muestra.....	27
----------------------	----

3.5.- Operacionalización de variables.....	28
--	----

3.6.- Técnicas de recolección de información.....	30
---	----

3.7.- Procesamiento y análisis.....	30
-------------------------------------	----

3.7.1.- Plan de procesamiento de la información.....	30
--	----

3.7.2.- Análisis e interpretación de resultados.....	30
--	----

### **CAPITULO IV. MARCO ADMINISTRATIVO**

4.1.- Recursos.....	31
---------------------	----

4.1.1.- Recursos institucionales.....	31
---------------------------------------	----

4.1.2.- Recursos humanos.....	31
-------------------------------	----

4.1.3.- Recursos materiales.....	31
----------------------------------	----

4.1.4.- Recursos financieros.....	32
-----------------------------------	----

4.1.4.1.- Presupuesto.....	32
----------------------------	----

4.1.4.2.- Financiamiento.....	32
-------------------------------	----

4.2.- Cronograma.....	33
-----------------------	----

**CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.- Conclusiones.....	34
-------------------------	----

5.2.- Recomendaciones.....	35
----------------------------	----

**CAPITULO VI. PROPUESTA**

6.1.- Datos informativos.....	36
-------------------------------	----

6.2.- Antecedentes de la propuesta.....	38
---	----

6.3.- Justificación.....	38
--------------------------	----

6.4.- Objetivos.....	39
----------------------	----

6.4.1.- Objetivos Generales.....	39
----------------------------------	----

6.4.2.- Objetivos Específicos.....	39
------------------------------------	----

6.5.- Análisis de factibilidad.....	39
-------------------------------------	----

6.6.- Fundamentación.....	40
---------------------------	----

6.6.1.- Etapas en el proceso del Diseño.....	40
--	----

6.6.2.- Conceptos Fundamentales.....	42
--------------------------------------	----

6.6.3.- Acciones y sus efectos sobre los Sistemas Estructurales.....	43
--	----

6.6.4.- Niveles y rangos de Desempeño Estructural.....	45
--	----

6.6.5.- Datos Iniciales.....	46
------------------------------	----

6.6.6.- Equivalencia de una losa alivianada a una losa maciza.....	48
--	----

6.6.7.- La carga viva.....	50
----------------------------	----

6.6.8.- Carga de pared.....	50
-----------------------------	----

6.6.9.- Calculo del Espectro Sísmico.....	51
---	----

6.6.9.1.- Periodo de Vibración.....	57
6.6.10.- Modelación tridimensional de la estructura en ETABS..	60
6.6.10.1.- Propiedades del Material.....	64
6.6.10.2.- Secciones para columnas y vigas.....	67
6.6.10.3.- Secciones de losa.....	74
6.6.10.4.- Casos para cargas estáticas.....	76
6.6.10.5.- Espectro de respuesta Inelástico.....	80
6.6.10.6.- Caso para análisis Dinámico por cargas de sismo- método del espectro de Diseño.....	83
6.6.10.7.- Calculo de la masa para el análisis Dinámico por cargas de Sismo.....	86
6.6.10.8.- No incluir efectos de la carga sísmica Especiales..	88
6.6.10.9.- Asignación de las combinaciones de carga.....	89
6.6.10.10.- Dibujo del modelo.....	91
6.6.10.11.- Asignación de restricciones.....	94
6.6.10.12.- Asignación de cargas.....	95
6.6.10.13.- Asignación de brazos rígidos.....	98
6.6.10.14.- Asignación de diafragmas rígidos.....	100
6.6.10.15.- Malla de elementos finitos.....	101
6.6.10.16.- Configuración de las opciones de análisis.....	103
6.6.10.17.- Análisis de la estructura.....	106
6.6.11.- Verificación de las derivas de piso.....	107
6.6.11.1.- Verificación de las derivas en ETABS.....	109

6.6.12.- Diseño de las áreas de acero.....	114
6.6.13.- Push-Over.....	115
6.6.13.1.- Asignación del Push-Over en ETABS.....	115
6.6.13.2.- Asignar rotulas plásticas o bisagras a vigas y columnas.....	118
6.6.13.3.- Análisis estático no línea.....	119
6.6.13.4.- Curva de Push-Over.....	120
6.6.13.5.- Espectro de Capacidad.....	121
6.6.13.6.- Resultados de deformación por el Push-Over.....	126
6.6.13.7.- Desempeño de la Estructura.....	135
6.6.14.- El efecto P-Delta.....	136
6.6.14.1.- Efecto P-Delta en ETABS.....	137
6.6.14.2.- Curva de Push-Over con el efecto P-Delta.....	138
6.6.14.3.- Espectro de capacidad con el efecto P-Delta.....	139
6.6.14.4.- Deformación del Push-Over con el efecto P-Delta.....	140
6.7.- Metodología. Modelo Operativo.....	147
6.8.- Administración.....	148
6.8.1.- Recursos humanos y técnicos.....	148
6.9.- Previsión de la evaluación.....	149
<b>7.- VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....</b>	<b>150</b>

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### TABLAS

Tabla 1 Presupuesto.....	32
Tabla 2 Cronograma.....	33
Tabla 3 Extraída del CEC 2002 Características del suelo tipo S3.....	52
Tabla 4 Extraído del CEC 2002 Coeficiente del suelo S y coeficiente Cm.....	53
Tabla 5 Extraído del CEC 2002 Factor I relacionado con la importancia de la estructura.....	54
Tabla 6 Extraído del CEC 2002 Valores del coeficiente de reducción de respuesta R.....	56
Tabla 7 Valores del espectro elástico e inelástico.....	58
Tabla 8 Características del hormigón.....	65
Tabla 9 Ventana para ingresar los valores de las características del hormigón.....	66
Tabla 10 Resumen de cargas.....	95
Tabla 11 Extraído del CEC 2002 Valores de Delta máximo.....	109
Tabla 12 Extraído del ATC-40 Tipos de perfil de suelo.....	121
Tabla 13 Extraído del ATC-40 Factor de zona sísmica.....	122
Tabla 14 Extraído del ATC-40 factores de Cercanía a la fuente.....	122
Tabla 15 Extraído del ATC-40 tipo de lugar del origen del sismo.....	122

Tabla 16 Extraído del ATC-40 Coeficientes sísmicos  $C_a$  y  $C_v$ .....123

Tabla 17 Comparación de resultados del efecto P-Delta.....140

## **FIGURAS**

Figura 1 Modos de Vibración.....3

Figura 2 Esquema del efecto P-Delta.....20

Figura 3 Curva de Capacidad.....23

Figura 4 Esquema del método Pushover.....24

Figura 5 Vista en Planta de la Estructura.....36

Figura 6 Corte en el sentido X.....37

Figura 7 Corte en el sentido Y.....37

Figura 8 Extraída del CEC 2002 valores del factor  $Z$  en función de la zona sísmica.....51

Figura 9 Extraído del CEC 2002 Valores de irregularidad en planta y elevación.....55

Figura 10 Extraído del CEC 2002 Espectro sísmico elástico del presente reglamento, que representa el sismo de diseño.....56

Figura 11 Pantalla de inicio de ETABS.....60

Figura 12 Unidades con las que se va a trabajar.....60

Figura 13 Agregar un nuevo modelo de trabajo en ETABS.....61

Figura 14 Datos de la definición de las características físicas de la estructura.....62

Figura 15 Malla de los espacios entre ejes y altura de pisos..63

Figura 16 Ventana para modificar las distancias entre ejes.....64

Figura 17 Ventana para seleccionar el tipo de material.....	65
Figura 18 Ventana para finalizar las propiedades del hormigón...	67
Figura 19 Ventana para ingresar una nueva sección de viga o columna.....	68
Figura 20 Ventana para seleccionar una sección rectangular	68
Figura 21 Ventana para ingresar las dimensiones y el material de la columna.....	69
Figura 22 Ventana para ingresar las características de la columna.....	70
Figura 23 Ventana para ingresar los valores de inercia agrietada en columnas.....	71
Figura 24 Ventana para ingresar las dimensiones y material de la viga.....	72
Figura 25 Ventana para ingresar las características de la viga.....	73
Figura 26 Ventana para ingresar los valores de inercia agrietada de la viga.....	73
Figura 27 Ventana para seleccionar la losa.....	74
Figura 28 Ventana para ingresar las características de la losa.....	75
Figura 29 Ventana para ingresar los valores de inercia agrietada de la losa.....	75
Figura 30 Ventana para ingresar los casos de carga.....	77
Figura 31 Ventana para definir las propiedades de la carga sísmica.....	78
Figura 32 Ventana con 7 casos de carga.....	80

Figura 33 Ventana para ingresar el espectro inelástico.....	81
Figura 34 Ventana para crear el espectro inelástico.....	82
Figura 35 Ventana para agregar un caso de carga para análisis dinámico.....	83
Figura 36 Ventana para ingresar los valores de la carga para análisis dinámico.....	85
Figura 37 Ventana para la definición de masas del sistema.....	87
Figura 38 Ventana para excluir los efectos de carga sísmica especiales.....	88
Figura 39 Ventana para ingresar las combinaciones de carga.....	90
Figura 40 Ventana para designar las combinaciones al programa.....	90
Figura 41 Cuadro de dialogo para dibujar columnas o vigas.....	91
Figura 42 Dibujo de vigas y columnas.....	92
Figura 43 Cuadro de dialogo para dibujar la losa.....	92
Figura 44 Ventana para activar opciones de vista.....	93
Figura 45 Dibujo de Losas.....	94
Figura 46 Ventana para asignar las Restricciones de los apoyos.....	95
Figura 47 Ventana para ingresar el valor de carga muerta.....	96
Figura 48 Ventana para ingresar el valor de carga viva.....	97
Figura 49 Ventana para ver las características de la losa.....	97
Figura 50 Ventana para asignar brazos rígidos.....	99
Figura 51 Ventana para agregar un nuevo diafragma.....	100
Figura 52 Ventana para ver los diafragmas de cada piso.....	101

Figura 53 Ventana para agregar la malla de elementos finitos.....	102
Figura 54 Ventana para ver la malla de elementos finitos.....	103
Figura 55 Ventana para la configuración de los parámetros del análisis dinámico.....	104
Figura 56 Ventana de las opciones de análisis.....	104
Figura 57 Ventana para verificar errores en el modelo.....	105
Figura 58 Ventana del proceso de análisis de la estructura.....	106
Figura 59 Estructura deformada después del análisis.....	106
Figura 60 Datos necesarios para obtener la deriva global del edificio.....	107
Figura 61 Edificio de tres pisos con desplazamientos de piso ante un sismo.....	108
Figura 62 Deriva Máxima por el sismo en X.....	110
Figura 63 Deriva máxima dad por el sismo en Y.....	111
Figura 64 Presentación de las áreas de acero en cada elemento.....	114
Figura 65 Ventana para agregar el caso Pushover.....	115
Figura 66 Ventana para definir el caso de Pushover.....	117
Figura 67 Ventana para ingresar las rotulas plásticas en columnas.....	118
Figura 68 Ventana para ingresar las rotulas plásticas en vigas.....	119
Figura 69 Curva Pushover sin efecto P-Delta.....	120
Figura 70 Espectro de capacidad.....	125

Figura 71 Ventana para ver la deformación por carga de Pushover.....	126
Figura 72 Niveles de desempeño que muestra ETABS en la curva fuerza-deformación.....	128
Figura 73 Deformación por Pushover paso 0.....	129
Figura 74 Deformación por Pushover paso 1.....	130
Figura 75 Deformación por Pushover paso 2.....	130
Figura 76 Deformación por Pushover paso 3.....	131
Figura 77 Deformación por Pushover paso 4.....	131
Figura 78 Deformación por Pushover paso 5.....	132
Figura 79 Deformación por Pushover paso 6.....	132
Figura 80 Deformación por Pushover paso 7.....	133
Figura 81 Deformación por Pushover paso 8.....	133
Figura 82 Deformación por Pushover paso 9.....	134
Figura 83 Efecto P-Delta.....	136
Figura 84 Ventana para agregar el efecto P-Delta.....	137
Figura 85 Curva de Pushover con efecto P-Delta.....	138
Figura 86 Espectro de capacidad con el efecto P-Delta.....	139
Figura 87 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 0.....	141
Figura 88 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 1.....	141
Figura 89 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 2.....	142

Figura 90 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 3.....	142
Figura 91 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 4.....	143
Figura 92 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 5.....	143
Figura 93 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 6.....	144
Figura 94 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 7.....	144
Figura 95 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 8.....	145
Figura 96 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 9.....	145
Figura 97 Metodología Modelo Operativo.....	147

## RESUMEN EJECUTIVO

**Tema:** "ANÁLISIS DEL MÉTODO "MODAL PUSH-OVER" Y SU INCIDENCIA EN EL CÁLCULO DE PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO EN EL CANTÓN DE AMBATO"

**Autor:** Jairo David Valencia Vásquez

**Director:** Ing. MG. Juan Garcés

**Fecha:** Abril del 2012

El presente trabajo "ANÁLISIS DEL MÉTODO "MODAL PUSH-OVER" Y SU INCIDENCIA EN EL CÁLCULO DE PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO EN EL CANTÓN DE AMBATO"

Se lo ha realizado en el programa ETABS en el cual se ingreso una estructura conformada por pórticos de Hormigón Armado, en el que se hizo un análisis dinámico con lo establecido en el CEC 2002, a continuación se realizo el análisis Modal Push-Over del cual se comprobó resultado y se encontró el desempeño de la estructura, además se hace una comprobación del efecto P-Delta y su influencia al momento de diseñar una estructura.

## **B. TEXTO**

### **INTRODUCCIÓN**

El principal objetivo de desarrollar este trabajo de investigación, es con el fin de que cada edificación este diseñada para soportar las fuerzas sísmicas, y si no se conoce las nuevas técnicas para el análisis sismo-resistente como el que se plantea en esta investigación, como es el método "modal push-over" que analiza el desempeño sismo-resistente de un edificio, y ayuda a la verificación y evaluación de la vulnerabilidad de la misma, no podremos dar la seguridad estructural y peor aun la seguridad de la vida humana, que como ingenieros debemos dar en cada estructura que se diseñe.

## **CAPITULO I**

### **1.1.-TEMA DE INVESTIGACIÓN**

Análisis del método "modal push-over" y su incidencia en el cálculo de pórticos de Hormigón Armado en el Cantón de Ambato

### **1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1.- CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA**

"Al principio la disposición para la resistencia sísmica fue, la exigencia de diseñar para una fuerza lateral igual a una proporción del peso de la construcción (que se aplica en cada nivel del suelo). Este enfoque fue adoptado en el apéndice de 1927 del Código de Construcción Uniforme (UBC), que fue utilizado en la costa oeste de los EE.UU. Más tarde quedó claro que las propiedades dinámicas de la estructura afectada son diferentes a las cargas generadas durante un terremoto. En el código Los Ángeles County Building de 1943 una disposición para variar la carga en función del número de niveles de suelo se aprobó (en base a la investigación realizada en el Caltech , en colaboración con la Universidad de Stanford y la costa de EE.UU. y Geodetic Survey , que comenzó en 1937) . El concepto de "espectros de respuesta" se desarrolló en la década de 1930, pero no fue hasta 1952 que un comité conjunto de la Sección San Francisco de la ASCE y la Asociación de Ingenieros Estructurales de California del Norte (SEAONC) propuso utilizar el período de construcción (la inversa de la frecuencia) para determinar las fuerzas laterales."

(Fuente [http://en.wikipedia.org/wiki/Seismic\\_analysis](http://en.wikipedia.org/wiki/Seismic_analysis))

“La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, FEMA 273, 1998, recomienda el Método del Coeficiente de Desplazamiento, MCD, para encontrar el Desempeño Sísmico que va a tener una estructura ante una acción sísmica definida por su espectro. Es un método que determina el desplazamiento lateral  $\Delta$  (delta) máximo en el tope de un edificio mediante una ecuación que tiene un fundamento teórico, estadístico y práctico.” (Fuente Método Del Coeficiente De Desplazamiento Para El Análisis Sísmico por Desempeño de Roberto Aguiar Falconi)

El 5 de agosto de 1949, la tierra tembló en la capital de Tungurahua. Según datos del Municipio, murieron 6000 personas y 50 poblaciones fueron afectadas. El rescate de las víctimas fue un trabajo duro y doloroso que conmovió al país y al mundo. Es inolvidable. Dos años después del terremoto, las autoridades aprobaron el Plan Regulador de Ambato, para prohibir que se levanten casas en las laderas y exigir que todas las edificaciones sean diseñadas por profesionales.

Mariana Ortiz, directora de Planificación del Municipio, reconoce que las disposiciones no se cumplen. Detalla que más del 50% de las casas ubicadas en las parroquias rurales y en las periferias no tienen planos. Fueron edificadas en zonas donde hay deslizamientos y sin el control de un técnico. El último censo indica que en las 18 parroquias rurales hay 29718 viviendas.

En 2009, el Plan de Reordenamiento Territorial estableció que los edificios altos deben construirse en zonas donde las calles tengan 20 metros de ancho. Además, en terrenos con más de 800 m<sup>2</sup>. De acuerdo con las normas, el Cabildo obliga a presentar planos estructurales a partir del primer piso. El objetivo es que los técnicos de la construcción y los dueños garanticen una edificación de calidad y sismo-resistente.

Para ello saber las nuevas técnicas de análisis sismo-resistente es de fundamental importancia para que hechos como el terremoto de 1949 no tengan el mismo impacto en la ciudad de Ambato.

### 1.2.2.- ANÁLISIS CRÍTICO

Es muy claro para los diseñadores que resulta costoso, con frecuencia innecesario, y hasta indeseable diseñar las estructuras para responder en rango elástico ante los sismos de diseño. En zonas de alta sismicidad, la respuesta elástica puede implicar aceleraciones de magnitud similar a la de la gravedad.

Diseñar para las fuerzas que se generan con estas aceleraciones tiene un costo asociado alto. Incluso, para edificios altos, proveer estabilidad al vuelco puede resultar extremadamente difícil.

El Análisis sísmico es un subconjunto del análisis estructural y es el cálculo de la respuesta de la estructura del edificio a los terremotos. Es parte del proceso de diseño estructural, ingeniería sísmica o evaluación estructural y su modernización en las regiones donde los terremotos son frecuentes.

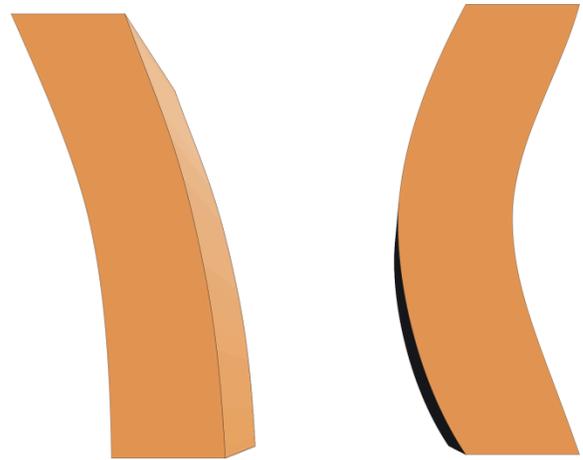


Figura 1 Modos de Vibración

“Como se observa en la figura, un edificio tiene el potencial de la onda de un lado a otro durante un terremoto (o incluso un grave viento de tormenta). Esto se llama el 'modo de vibración', y es la frecuencia de respuesta mas baja en una estructura. La mayoría de los edificios, sin embargo, tienen un mayor número de

modos de respuesta, que están especialmente activas durante los terremotos. La figura sólo muestra el segundo modo, pero son más altos estos modos de vibración (vibración anormal). Sin embargo, los modos de primera y segunda tienden a causar el mayor daño en la mayoría de los casos.”

(Fuente [http://en.wikipedia.org/wiki/Seismic\\_analysis](http://en.wikipedia.org/wiki/Seismic_analysis))

### **1.2.3.- PROGNOSIS**

Después de los sismos producidos en los últimos 10 años, países como USA, Japón y algunos países europeos, han tenido que replantear la forma de diseñar sus estructuras en zonas sísmicas. Estos movimientos sísmicos aunque de magnitud importante, no cobraron muchas vidas, incluso al estar en zonas altamente pobladas; pero si han sido unos de los fenómenos naturales que han causado más pérdidas materiales hasta la fecha.

Ya que Ambato esta en una zona de alta peligrosidad sísmica, es necesario que cada edificación este diseñada para soportar las fuerzas sísmicas, y si no se conoce las nuevas técnicas para el análisis sismo-resistente como el que se plantea en esta investigación, como es el método “modal push-over” que analiza el desempeño sismo-resistente de un edificio, y ayuda a la verificación y evaluación de la vulnerabilidad de la misma, no podremos dar la seguridad estructural y peor aun la seguridad de la vida humana.

#### **1.2.4.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué tipo de estudio será necesario para el método "modal push-over" y su incidencia en el cálculo de pórticos de Hormigón Armado?

#### **1.2.5.- PREGUNTAS DIRECTRICES**

- ¿Qué es el método "modal push-over"?
- ¿Cuál es la herramienta computacional adecuada para la aplicación del método "modal push-over"?
- ¿Cuál es el procedimiento correcto para la aplicación de la herramienta computacional al método "modal push-over"?
- ¿Qué tipo de resultados se obtendrán con el método "modal push-over"?

#### **1.2.6.- DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

##### **1.2.6.1.- CONTENIDO**

La investigación a efectuarse en el presente trabajo se la realizara en el campo de la ingeniería sismo-resistente, especialmente en edificaciones con pórticos de hormigón armado.

##### **1.2.6.2.- ESPACIAL**

Todos los trabajos a desarrollarse en el presente trabajo se los hará en una oficina privada en la ciudad de Ambato y en la Facultad de Ingeniería Civil de la ciudad de Ambato.

### **1.2.6.3.- TEMPORAL**

Este trabajo esta previsto realizarlo en los meses de Mayo a Octubre del año 2011

### **1.3.- JUSTIFICACIÓN**

En la nueva filosofía del diseño sismo-resistente es fundamental verificar el desempeño sísmico ante varias acciones, a las que probablemente estarán sujetas las estructuras. El hecho es que si la resistencia del sistema estructural a fuerzas laterales se desarrolla a un nivel de respuesta sísmica menor que la correspondiente al sismo de diseño, aparecerán deformaciones inelásticas, con plastificación de algunas secciones. Para ello hacer un buen diseño en el que se verifique el desempeño sísmico es necesario por lo que, el análisis del método "modal push-over" es la mejor opción para dar solución a tal problema, por eso en este trabajo se dará los conocimientos necesarios para poder utilizar este método tan necesario hoy en día.

### **1.4.- OBJETIVOS**

#### **1.4.1.- OBJETIVOS GENERALES**

Realizar el análisis del método "modal push-over" para ver cual es su incidencia en el cálculo de pórticos de hormigón armado.

#### **1.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.- Definir de qué se trata el método "modal push-over"
- 2.- Usar una herramienta computacional para el análisis del método "modal push-over"

3.- Aplicar el procedimiento adecuado para la utilización de la herramienta computacional para el uso del método "modal push-over"

4.- Aplicar el análisis "modal push-over" como herramienta para la determinación del desempeño sísmico de pórticos de hormigón armado

5.- Analizar qué tipo de resultados se obtendrán con el método "modal push-over"

## **CAPITULO II**

### **2.- MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.- ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

La metodología "Modal Pushover Analysis" (MPA), fue desarrollada por los investigadores A. K. Chopra y R. K. Goel (Chopra y Goel, 2001), y permite estimar la demanda sísmica y verificar el desempeño de una estructura para sismos severos. Se basa en un análisis estático no-lineal, de tipo "Push Over" o de empujón, con distribuciones de fuerzas laterales equivalentes invariantes en la altura, que incluye las contribuciones de los modos de vibración del comportamiento elástico y emplea de manera aproximada la teoría clásica de la dinámica de estructuras. A partir de esto, se determina la capacidad resistente de la estructura e información del comportamiento no-lineal, como por ejemplo, la secuencia en que las secciones van ingresando al rango no-lineal, los desplazamientos laterales en cada incremento de carga, drift de entrepisos (desplazamiento relativo de entrepiso), ductilidades, fallas de elementos por flexión y corte, esfuerzos, etc.

Del análisis tipo pushover realizado al sistema de varios grados de libertad (MDF), se obtienen las curvas del desplazamiento de techo vs corte basal hasta un desplazamiento lateral máximo esperado, usando distribuciones de fuerzas laterales proporcionales a las formas modales, y con el supuesto de que éstas no cambian después que la estructura entra en el rango de comportamiento inelástico, para una cantidad suficientes de modos. Cada una de estas curvas por modo, es idealizada como una

relación bilineal de fuerza-deformación y transformada a un sistema inelástico equivalente de un grado de libertad.

Para cada uno de estos sistemas equivalentes, se obtiene el desplazamiento máximo mediante un análisis no-lineal tiempo-historia para un registro de aceleraciones o considerando un espectro de respuesta (o diseño) inelástico. Con estos desplazamientos máximos por modos, se obtiene desde la base de datos del análisis de pushover, cualquier respuesta de interés a nivel modal y, finalmente, la demanda sísmica total se obtiene combinando las respuestas por modo, de acuerdo a alguna regla de combinación, por ejemplo, la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS).

En la metodología MPA ("Modal Pushover Analysis"), el análisis de pushover parece razonable, pues entrega resultados que son idénticos al análisis de la respuesta por superposición modal espectral, para un análisis lineal de un edificio y entrega una estimación de la demanda sísmica total de un sistema inelástico, que otorga una seguridad superior que varias distribuciones de fuerza dadas por el FEMA-273 (Chopra, 2001, 2002, 2003, 2004). Sin embargo, hay que tener presente que aunque el procedimiento MPA puede entregar una estimación adecuada para ser usada en la verificación de los estados límites de control de daño y sobrevivencia, no se puede esperar que el análisis de pushover entregue estimaciones satisfactorias de la demanda sísmica, para estructuras que se deforman muy lejos en el rango inelástico, y más aún, cuando se degrada significativamente su capacidad resistente lateral; en esos casos, el análisis no-lineal tiempo-historia es lo más adecuado.

(Fuente 1.- EVALUACION DE LOS RESULTADOS DEL METODO "MODAL PUSHOVER ANALYSIS" EN EDIFICIOS ESTRUCTURADOS CON MUROS L. Arévalo V. y E. Cruz Z. 2.- Graduate Student, Dept. of Structural and Geotechnical Eng., P. Universidad Católica of Chile, Santiago, Chile)

## **2.2.- FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

Este estudio está enfocado en una investigación de ingeniería sismo-resistente por lo que toda estructura que se construya, debe brindar seguridad a la sociedad.

En el caso particular de la ingeniería sismo-resistente, la filosofía de diseño enunciada hace ya más de dos décadas consiste en:

- (i) Prevenir daños en terremotos menores de ocurrencia frecuente durante la vida útil de la estructura;
- (ii) Controlar daños en elementos estructurales y no estructurales durante terremotos moderados;
- (iii) Evitar el colapso y daños muy significativos para proteger la vida de las personas en terremotos muy severos pero de relativamente muy baja frecuencia de ocurrencia.

Con los códigos vigentes, por ejemplo FEMA - 440 y ATC - 40 y ACI 318-05, el análisis y diseño se realiza para satisfacer explícitamente sólo el tercer objetivo, debido a que los espectros de diseño corresponden a eventos sísmicos severos de ocurrencia "rara".

Además se admite el cálculo estático y en régimen elástico, utilizando factores de reducción para tener en cuenta el real comportamiento inelástico bajo cargas dinámicas. A pesar de su simplicidad y facilidad de uso, presenta el inconveniente de no poder satisfacer todos los objetivos enunciados y la confiabilidad del diseño final es indefinida y difícil de cuantificar. Esto ha quedado demostrado con la ocurrencia de los últimos terremotos a nivel mundial, con enormes pérdidas económicas y de vidas humanas.

La nueva tendencia es la denominada "Ingeniería sísmica basada en la performance (Desempeño o rendimiento)", mediante la cual se intenta obtener construcciones de comportamiento sísmico más predecible y cuantificable, para poder evaluar y controlar el riesgo sísmico con un predeterminado nivel de aceptabilidad, de manera de minimizar el costo durante toda la vida útil de la construcción.

En forma discreta se definen niveles de performance que son estados límites de daño, y niveles de terremotos de diseño en función del periodo de retorno o probabilidad de excedencia en cierto número de años. Luego, de acuerdo al tipo y destino de la construcción, se seleccionan objetivos de performance que significan lograr un cierto nivel de desempeño (no exceder los estados límites, ó hacerlo con una probabilidad pequeña) para cada nivel de terremoto de diseño.

Sea que el análisis se realice dentro de un marco determinístico, o más aún si la evaluación es de carácter probabilística, es necesario realizar una importante cantidad de simulaciones numéricas, que significan análisis dinámico no lineal del sistema estructural espacial, ó al menos análisis estático no lineal (push-over). Es necesario considerar el modelo espacial para poder evaluar la demanda real de ductilidad en cada plano vertical resistente, teniendo en cuenta simultáneamente los efectos de traslación y rotación dentro del campo inelástico (torsión inelástica), señalado hoy como uno de los problemas abiertos a la discusión. El modelo matemático del sistema estructural presenta muchas alternativas. Una opción para obtener la solución numérica es utilizar una discretización en elementos espaciales unidireccionales (barras) para vigas y columnas, conjuntamente con elementos bidimensionales para losas y tabiques. Los inconvenientes son la amplia información que es

necesaria como dato y principalmente la complejidad del análisis no lineal.

Extraído de MODELOS NUMÉRICOS SIMPLIFICADOS PARA ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DE PLANOS SISMO-RESISTENTES Oscar Möller\*, Marcelo Rubinstein\*

### **2.3.- FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

Como se ha indicado anteriormente, los fundamentos legales del análisis "modal push-over" se encuentran en los códigos FEMA - 440 y ATC - 40, que si bien no son normas ecuatorianas, su aplicación es de uso internacional. Como apoyo a estos fundamentos, se empleara también el código ACI 318 - 05 para el diseño de hormigón armado, complementando además con el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC - 2002 para la parte de fuerzas sísmicas y espectros de diseño.

### **2.4.- RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES**

#### **2.4.1.- INGENIERÍA SISMO-RESISTENTE**

Es una tecnología que diseña y ejecuta procesos constructivos con elementos estructurales, distribuidas previa aplicación de principios básicos como la simplicidad, simetría, resistencia, rigidez y continuidad de las obras, que les permita resistir los usos y las cargas sísmicas a que estarán sometidas durante su vida útil.

La Ingeniería Sismo-resistente es una propiedad o atributo de que se dota a una edificación, mediante la aplicación de técnicas de diseño de su configuración geométrica y la incorporación en su constitución física, de componentes estructurales especiales que la capacitan para resistir las fuerzas que se presentan durante un movimiento sísmico, lo que

se traduce en protección de la vida de los ocupantes y de la integridad del edificio mismo.

Los principales objetivos de la ingeniería sísmica son:

- Prever las posibles consecuencias de fuertes terremotos en las zonas urbanas y la infraestructura civil.
- Diseñar, construir y salvaguardar estructuras frente a la exposición de un sismo y cumplir las expectativas de diseño, y el cumplimiento de los códigos de construcción.

Una estructura bien diseñada, no necesariamente tiene que ser muy fuerte o muy cara. Tiene que estar bien diseñada para resistir los efectos sísmicos, mientras que el mantenimiento de los daños llegue a un nivel aceptable.

### **El Diseño Sísmico**

El diseño sísmico se basa en los procedimientos de aprobación de la ingeniería es decir los principios y criterios destinados a diseñar o adaptar estructuras sometidas a la exposición de terremotos. Estos criterios sólo son compatibles con el estado actual del conocimiento sobre las estructuras de ingeniería sísmica. Por lo tanto, un edificio diseñado que sigue exactamente el código de normativa sísmica (CEC, ACI-318, ATC40 y otros) no garantiza la seguridad contra el colapso o daño grave.

El precio de diseños sísmicos pobres, puede ser enorme. Sin embargo, el diseño sísmico ha sido siempre una prueba y error, si el proceso se basa en leyes de la física o en el conocimiento empírico de los resultados estructurales de diferentes formas y materiales.

Para la práctica de diseño sísmico, análisis sísmico o evaluación sísmica de los actuales proyectos de ingeniería civil

y los nuevos, un ingeniero debe, normalmente, pasar un examen sobre los principios Sísmicos que incluyen:

- Datos Sísmicos y Criterios de Diseño Sísmico
- Características de los sistemas de ingeniería sísmica
- Fuerzas sísmicas
- Procedimientos de análisis sísmicos
- Detallado sísmico y control de calidad de construcción

Normalmente, de acuerdo con los códigos de construcción, las estructuras están diseñadas para "resistir" el terremoto más grande de una cierta probabilidad de ocurrencia en su situación. Esto significa que la pérdida de vidas humanas debe ser minimizada evitando el colapso de los edificios.

El diseño sísmico se lleva a cabo mediante la comprensión de los posibles modos de falla de una estructura, así como proporcionarle de la adecuada fuerza, rigidez, ductilidad y configuración para asegurar que la estructura pueda soportar aquellos modos de falla.

### **Los Requisitos De Diseño Sísmico**

Los requisitos de diseño sísmico dependen del tipo de estructura, la localidad del proyecto y sus autoridades, estableciendo los códigos de diseño sísmico y los criterios. Por ejemplo, los requisitos del Departamento de Transporte de California, llamado Los Criterios de Diseño Sísmico (COSUDE) es dirigido al diseño de nuevos puentes en California, incorporando un enfoque innovador basado en el desempeño sísmico.

La característica más significativa en la filosofía de diseño de la COSUDE es el paso de una evaluación basada en la fuerza de la demanda sísmica a una evaluación basada en el desplazamiento de la demanda y la capacidad. Por lo tanto, el enfoque adoptado recientemente se basa en la comparación de la demanda de desplazamiento elástico con la capacidad de desplazamiento

inelástico de los componentes estructurales primarios, garantizando un nivel mínimo de capacidad elástica en todas las posibles situaciones de la rotula plástica.

Además de la estructura diseñada, los requisitos de diseño sísmico incluyen una estabilización del suelo debajo de la estructura: a veces, en las fuertes sacudidas de tierra se rompe, lo que lleva al colapso de la estructura que reposa sobre él. Los siguientes temas deben ser de las principales preocupaciones:

La licuefacción.

La dinámica de empujes laterales en los muros de contención.

La estabilidad de taludes sísmicos.

La solución de los terremotos inducidos.

#### **2.4.2.- ESTRUCTURAS**

La Estructura de un edificio es el esqueleto que soporta todas las cargas.

Las cargas que soporta una estructura son todos aquellos factores que inciden sobre el edificio produciendo deformaciones, la estructura de un edificio no solo soporta su peso propio sino también otras cargas y situaciones que alteran su carga total inicial.

Además una estructura puede soportar modificaciones en la distribución de cargas, en los revestimientos y quizás pueda modificar el uso o actividad.

También actúan sobre la estructura aquellos fenómenos naturales como el viento, la nieve e incluso los movimientos sísmicos, habituales en algunas regiones del planeta.

Las Estructuras de Hormigón Armado se han difundido cubriendo casi toda la gama de edificaciones de baja y media altura por su flexibilidad y eficacia en las construcciones. Es el sistema constructivo más empleado en el mundo sin ninguna duda.

Existen otros sistemas estructurales, como las Estructuras con Muros Portantes de antigua tradición en la construcción; y otro sistema de gran difusión y desarrollo en algunos países industrializados es el de las Estructuras Metálicas.

### **Tipología y Generalidades**

Las Estructuras de Hormigón Armado constituyen una tipología clásica.

El tipo estructural más difundido es el entramado de barras con nudos rígidos, realizados "in situ", con continuidad de sus elementos. En algunos casos se pueden incorporar uniones con algún grado de libertad como juntas de dilatación o rótulas.

Estas estructuras se han extendido en todas las zonas de industrialización media o alta, con una relación de costes entre mano de obra y materiales muy razonable. Elegida también por las grandes ventajas que ofrece por su rigidez y óptimo comportamiento frente a agentes atmosféricos y al fuego.

La estructura normal de hormigón armado está compuesta por barras que se unen entre sí ortogonalmente. Las barras son piezas prismáticas en las que predomina el largo sobre la sección, por lo general, cuadrado o rectangular; aunque se ocupan otros tipos de secciones.

## **Materiales del Hormigón Armado**

La estructura de hormigón armado está compuesta por diferentes materiales que trabajan en conjunto frente a la acción de las cargas a que está sometida.

Los materiales que intervienen en su composición son:

Acero:

El acero presente en las barras y mallas, en las Armaduras cumple la misión de ayudar a soportar los esfuerzos de tracción y corte a los que está sometida la estructura.

Hormigón:

El hormigón tiene resistencia a la compresión, mientras que su resistencia a la tracción es casi nula. Tengamos en cuenta que un hormigón convencional posee una resistencia a la tracción diez veces menor que a la compresión.

Los refuerzos de acero en el hormigón armado otorgan ductilidad al hormigón, ya que es un material que puede quebrarse por su fragilidad.

En zonas de actividad sísmica regular, las normas de construcción obligan la utilización de cuantías mínimas de acero a fin de conseguir ductilidad en la estructura.

## **Armado**

El armado de una barra estructural consiste en disponer unas varillas de acero en sus zonas traccionadas. Es el acero que colabora con el hormigón en las zonas donde éste no es capaz de resistir los esfuerzos a que está sometida la sección.

La armadura de acero recibe los esfuerzos de tracción y corte, pero en algunos casos es necesario disponerlas para trabajar a la compresión.

### **Regla del Armado**

Para saber como será la deformación de la barra, es decir, el lugar donde tenderá a fisurarse, se debe conocer el comportamiento y la forma de trabajo de la barra.

Son las fisuras las que indican la posición de la armadura. A esto se lo llama La Regla del Cosido.

Veamos un ejemplo:

Una losa trabajando en voladizo, por ejemplo: un balcón.

El voladizo debe soportar su propio peso, el de las personas y objetos colocados encima. Frente a estos esfuerzos, el voladizo reacciona doblándose hacia abajo por flexión.

Las fibras superiores se estiran, y las inferiores se comprimen. La rotura de las fibras comienza en una zona cercana al enlace o nudo, porque es allí donde se produce la máxima tracción.

Entonces, la armadura debe ir cosiendo las grietas perpendicularmente, por lo tanto las barras de acero deberán ubicarse de manera longitudinal en la cara superior de la losa.

### **Estribos**

En las columnas y vigas, además de la armadura longitudinal, se coloca una armadura transversal conocida como estribo, cuya función es de refuerzo ya que colabora con la absorción de los esfuerzos de corte que se producen, y genera una mayor resistencia en la pieza sometida a estos esfuerzos.

## **Elementos Componentes de la Estructura de Hormigón Armado**

Columnas: Las barras verticales de la estructura se denominan pilares o soportes.

Vigas: Las barras horizontales de la estructura son las denominadas vigas, jácenas o riostras.

Pórticos: Los Pórticos son elementos estructurales de hormigón formados por columnas y vigas en toda la altura del edificio.

### **2.4.3.- ACCIONES DE CARGAS EN LA ESTRUCTURA**

Para que la estructura logre hallarse estable, se la diseña para resistir con un coeficiente de seguridad suficiente, la acción de las cargas verticales del peso propio y la sobrecarga de uso; y también se deben contemplar las acciones horizontales provocadas por efectos del viento, la nieve, los movimientos debidos a vibraciones o sismos y a acciones secundarias.

Una estructura de mal diseño puede estar muy bien calculada para resistir las acciones antes nombradas, pero lo correcto es diseñarla teniendo en cuenta las características de estas acciones.

Los métodos a seguir son:

Mediante el núcleo de comunicaciones verticales que se rigidiza con muros de hormigón.

Mediante muros exteriores o muros divisorios (pantallas) de hormigón armado.

Mediante entramados, vigas y soportes de hormigón armado.

Un caso particular de incidencia de cargas en la estructura, se encuentra en los Edificios de Altura.

#### 2.4.4.- EFECTO P-DELTA

Este es un efecto de segundo orden que sufren las estructuras, el cual debe ser considerado en las dos direcciones, en el siguiente gráfico se explica el efecto P-Delta de forma más detallada:

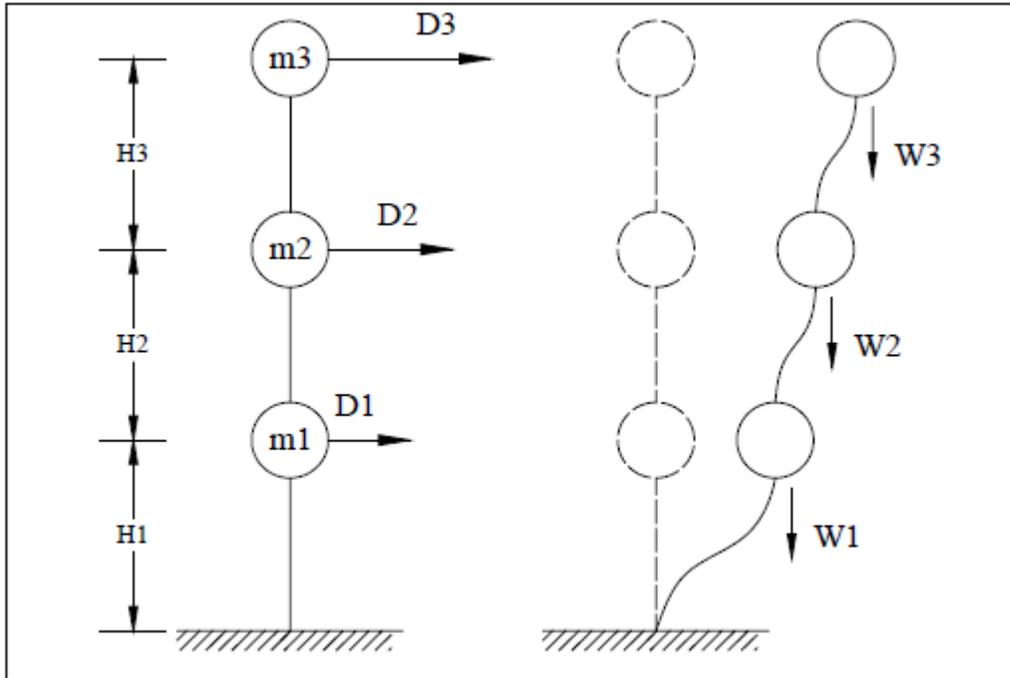


Figura 2 Esquema del efecto P-Delta

En el análisis del efecto P-Delta, se debe obtener el índice de estabilidad de piso, si este valor es menor que 0.10 no se toma en cuenta el efecto P-Delta. El índice de estabilidad se calcula de la siguiente forma:

$$Q_i = \frac{P_i \times \Delta_i}{V_i \times h_i}$$

$Q_i$  = Índice de estabilidad en el piso i.

$P_i$  = Es la suma de carga vertical por carga viva y muerta sin mayorar del piso i y los pisos superiores.

$\Delta_i$  = Es la deriva del piso i.

$V_i$  = Cortante sísmico en el piso i.

$h_i$  = Altura del piso considerado.

Cuando el índice de estabilidad es mayor a 0.30, la estructura es demasiado flexible o inestable, este índice nos indica que esta estructura está próxima al colapso o ya ha colapsado, en el caso de que los valores estén entre 0.1 y 0.3 se debe calcular un factor de mayoración mediante la siguiente ecuación:

$$f_{P-\Delta} = \frac{1}{1 - Q_i}$$

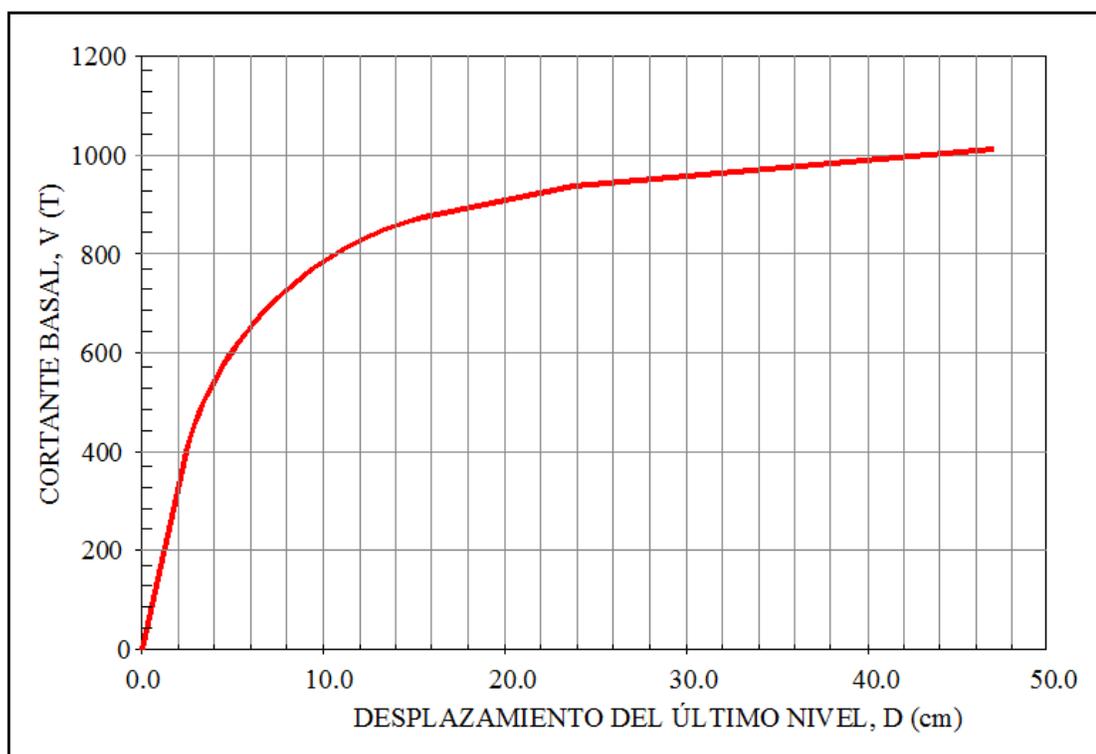
Este factor de mayoración debe ser multiplicado por las fuerzas horizontales producidas por el sismo en cada piso.

#### **2.4.5.- CAPACIDAD ESTRUCTURAL.**

Una vez determinado el riesgo sísmico, en general, debemos analizar la capacidad estructural, que depende de la configuración geométrica, resistencia de los elementos estructurales, y la deformación máxima de los mismos. Cabe mencionar que en este análisis de las capacidades de los elementos, diferirá si se toma en forma individual a cada elemento, o la configuración estructural de un edificio, siendo uno de los datos que difiere mayormente, la capacidad de los elementos estructurales más allá del rango elástico.

Para determinar la capacidad estructural que excede el rango elástico, es necesario utilizar algún tipo de análisis no lineal; para el caso del presente documento, se utilizará el análisis "Pushover". En el cual la magnitud de la carga lateral a la que se somete la estructura es incrementada de acuerdo con un cierto patrón predefinido. Con el aumento de la magnitud de

la carga, las conexiones débiles y los modos de falla de la estructura son encontrados. La carga es monotónica con los efectos del comportamiento cíclico e incremento de cargas estimadas; usando unos criterios de deformación de la fuerza monotónicos modificados, se presentan las conexiones más débiles, es decir que el modelo matemático que se asume para una estructura, se modifica para tener en cuenta la reducción de la resistencia de los elementos que ceden. El análisis Pushover estático es una tentativa de la ingeniería estructural para evaluar la verdadera fuerza de la estructura y esto promete ser un instrumento útil y eficaz para obtener la curva de capacidad. La curva de capacidad se determina para representar la respuesta estructural del primer modo de vibración de la estructura, basado en la hipótesis que, el primer modo fundamental de vibración de la estructura corresponde a la respuesta predominante ante una sollicitación sísmica, siendo esto válido para estructuras con períodos de vibración menores a 1 segundo. Si existe el caso de estructuras más flexibles, el análisis debe considerar los demás modos de vibración, de este modo si utilizamos una herramienta del análisis estructural asistido por computador como el ETABS, sustentamos un análisis Pushover más realista ya que el programa toma en cuenta los modos de vibración de acuerdo a los requerimientos del usuario.



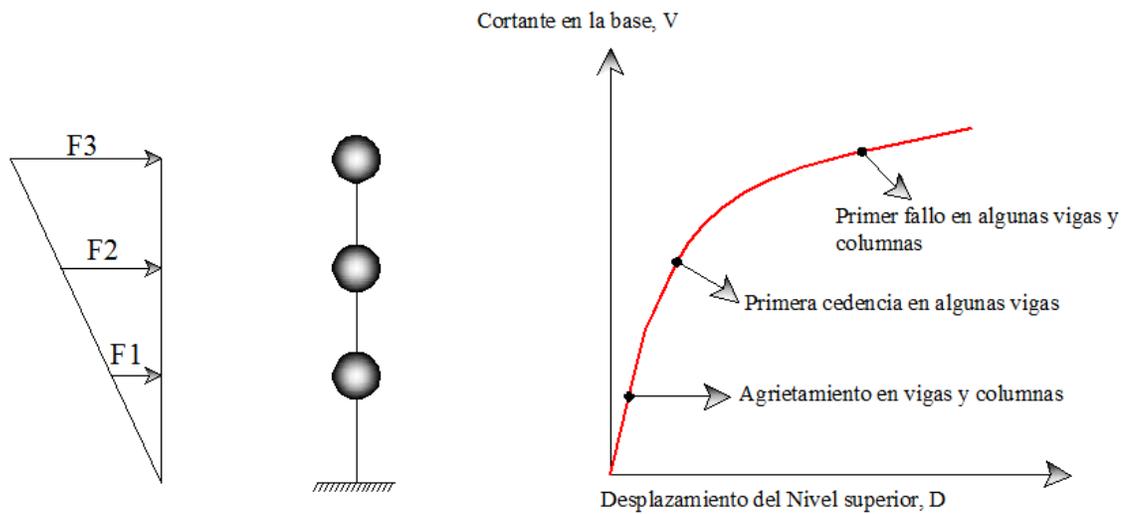
**Figura 3 Curva de Capacidad**

#### **2.4.6.- MÉTODO PUSH-OVER**

El análisis Pushover involucra un análisis inelástico de la estructura considerada, bajo un incremento gradual de vectores de fuerza o desplazamientos, representando el patrón de fuerzas de inercia o desplazamientos de respuesta en la estructura. Tiene la habilidad de modelar la formación, y rotación plástica de rótulas plásticas en la estructura, y por lo tanto puede ser de gran valor en la verificación del diseño.

El Análisis Pushover Tradicional tiene en cuenta el aporte del primer modo de vibración, considerado dominante por poseer, generalmente, el mayor factor de participación modal. Un aspecto importante en la aplicación de esta metodología es la

construcción de la curva de capacidad de la edificación. Esta curva se obtiene empujando el edificio horizontalmente mediante una distribución de carga predefinida, la cual se incrementa paso a paso hasta alcanzar un valor máximo de desplazamiento en el último piso, o el colapso de la estructura.



**Figura 4** Esquema del método Pushover

## **2.5.- HIPÓTESIS**

La aplicación del método "modal push-over" nos permitirá obtener el desempeño sísmico de estructuras aporticadas de Hormigón Armado.

### **2.5.1.- UNIDADES DE OBSERVACIÓN**

Edificios con pórticos de hormigón armado

### **2.5.2.- VARIABLES**

Variable Dependiente

- Obtención del desempeño sísmico de estructuras aporticadas de Hormigón Armado.

Variable Independiente

- Aplicación del método "modal push-over"

### **2.5.3.- TERMINO DE RELACIÓN**

Nos permitirá

## **CAPITULO III**

### **3.- METODOLOGÍA**

#### **3.1.- ENFOQUE**

La investigación a realizar será de modo cuantitativo, es decir por una preferente utilización de datos numéricos, orientándose a la comprobación de la hipótesis propuesta mediante el estudio de pórticos de Hormigón Armado y el análisis de los resultados obtenidos por la herramienta computacional.

#### **3.2.- MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN**

- Documental Bibliográfica
- Confrontación de Variables

#### **3.3.- TIPO DE INVESTIGACIÓN**

- Exploratorio
- Descriptivo
- Correlacional

### **3.4.- POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1.- POBLACIÓN**

Sera utilizado el modelo de un edificio de Hormigón Armado de 8 pisos conformado por pórticos, el cual se especificara con las características sísmicas para la ciudad de Ambato

#### **3.4.2.- MUESTRA**

La muestra será un edificio de Hormigón Armado de 8 pisos conformado por pórticos en la ciudad de Ambato, el tamaño de la muestra para esta investigación se considera apropiado ya que el hacer otros tipos de muestras prolongaría la investigación durante un extenso periodo, llevándolo hacia la obtención de resultados redundantes e infructuosos.

### 3.5.- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**VARIABLE INDEPENDIENTE:** Aplicación del método "modal push-over"

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TECNICAS DE INSTRUMENTACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El metotodo Modal Push-over es un metodo numerico para determinar la carga maxima y la capacidad de desplazamiento de una estructura, que considera el comportamiento no lineal de los materiales a partir de un cierto nivel de carga ante la aplicacion de fuerzas estaticas incrementales sobre la estructura que componen dichos materiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga maxima</li> <li>• Capacidad de desplazamiento</li> <li>• Fuerzas estaticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Punto de colapso de la estructura</li> <li>• Desplazamiento maximo en el tope</li> <li>• Derivas</li> <li>• Punto de fluencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Debe diseñarse una estructura para llegar hasta el punto de colapso?</li> <li>• ¿Cual debe ser el desplazamiento maximo admisible de diseño ?</li> <li>• ¿Como se relaciona la deriva con la capacidad de desplazamiento del portico ?</li> <li>• ¿Como se determina el punto de fluencia?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herramienta Computacional</li> <li>• Cuaderno de notas</li> <li>• Observación</li> </ul>

**VARIABLE DEPENDIENTE:** Obtención del desempeño sísmico de estructuras aporticadas de Hormigón Armado.

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TECNICAS DE INSTRUMENTACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un edificio con porticos de hormigon armado es una estructura conformada por columnas y vigas diseñadas para soportar las fuerzas de carga viva, carga muerta, fuerzas sismicas a las que ha sido solicitada la estructura en la cual sus componentes esta formadas por hormigon y acero para absover los momentos de flexion, compresion y torsion que estas fuerzas ocasionan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Columnas y Vigas de hormigon y acero</li> <li>• Momentos de Flexion, Compresion y Torsion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Columnas y Vigas</li> <li>• Hormigon</li> <li>• Acero</li> <li>• Momentos de flexion, compresion y Torsion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Con cuantos pisos debe contar la estructura?</li> <li>• ¿Que dimensiones debe tener las columnas y vigas?</li> <li>• ¿Cual sera la resistencia del hormigon ?</li> <li>• ¿Cual sera el limite de fluencia del acero?</li> <li>• ¿Sera que la estructura soportara todos los tipos de momentos actuantes?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herramienta computacional</li> <li>• Cuaderno de notas</li> <li>• Observación</li> </ul>

### **3.6.- TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

La técnica a emplear será la observación directa, no participante, estructurada, e individual usando como instrumento las herramientas computacionales.

### **3.7.- PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

#### **3.7.1.- PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Se hará una revisión crítica de la información recogida a cerca de las variables a estudiar, es decir, de los métodos de análisis no-lineal, para luego realizar una aplicación práctica de dichos métodos, obteniendo resultados que luego serán tabulados y graficados para que faciliten su interpretación y evaluación, con el fin de lograr los objetivos planteados.

#### **3.7.2.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Mediante la tabulación y representación gráfica de los resultados tales como la curva de push-over, se hará un análisis, evaluación e interpretación de datos obtenidos, que nos permita verificar la hipótesis y emitir conclusiones y recomendaciones a cerca de la investigación desarrollada; para ello nos ayudaremos también de una clara identificación de cada tabla y curva de resultados.

## **CAPITULO IV**

### **4.- MARCO ADMINISTRATIVO**

#### **4.1.- RECURSOS**

##### **4.1.1.- RECURSOS INSTITUCIONALES**

Dentro de los recursos institucionales se considera el uso de la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, la biblioteca virtual que se encuentra en la página web de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, también estará encargada de conceder un Director de Tesis capacitado en relación con el tema de investigación.

##### **4.1.2.- RECURSOS HUMANOS**

Investigador (Egresado Proponente)

Digitador

Un tutor o director de tesis

##### **4.1.3.- RECURSOS MATERIALES**

Para el desarrollo de la investigación se considera:

Material bibliográfico, suministros y materiales de escritorio, transporte y subsistencias, refrigerio, compra de CD, transcripción del perfil.

#### 4.1.4.- RECURSOS FINANCIEROS

##### 4.1.4.1.- PRESUPUESTO

N.-	CONCEPTOS	VALOR TOTAL
2	Material Bibliográfico	50.00
3	Suministros y materiales	30.00
4	Trans. Y Subsistencias	40.00
5	Transcripciones del perfil	100.00
6	Refrigerio	20.00
7	Compra de CD	10.00
8	Imprevistos	100.00
	VALOR TOTAL	\$350.00

**Tabla 1 Presupuesto**

##### 4.1.4.2.- FINANCIAMIENTO

El presente proyecto será autofinanciado.

4.2.- CRONOGRAMA

TIEMPO ACTIVIDADES	Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiem				Octubre				Noviem				Diciemb			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recolección de información	-----																															
Bibliografía					-----																											
Desarrollo capítulo I					--																											
Desarrollo capítulo II						--																										
Desarrollo capítulo III							--																									
Desarrollo capítulo IV								--																								
Desarrollo capítulo V									-----																							
Desarrollo capítulo VI																	-----															
Elaboración del informe Final																																
Presentación del informe																																

Tabla 2 Cronograma

## CAPITULO V

### 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.- CONCLUSIONES

- Al hacer el calculo y diseño de la estructura utilizando las normas presentadas en el CEC 2002, apenas se puede establecer el nivel de desempeño de la estructura, por medio de las derivas de piso, siendo el parámetro establecido de  $0,02/R$  (siendo R el valor del coeficiente de reducción de respuesta estructural Tabla 6)
- Es importante establecer el nivel de desempeño que tendrá la estructura por medio del push-over, aunque nuestra estructura es de categoría residencial, le hemos dado un nivel de seguridad muy bueno ya que presenta rotulas plásticas solo en vigas, del mismo modo para estructuras tipo hospitales, centros de educación, centros de emergencia como bomberos o policías; en los que se requiere que sigan en funcionamiento después de una catástrofe, darles un nivel de seguridad alto es muy importante.
- Se debe buscar una estructuración en base de columnas fuertes vigas débiles, para proporcionar la formación de articulaciones plásticas en las vigas al excederse la resistencia suministrada.
- Para cumplir con el objetivo de evitar daños estructurales ante sismos moderados, los reglamentos requieren que se mantengan los desplazamientos laterales del edificio dentro de límites admisibles.

- Es importante la incorporación del efecto P- $\Delta$ , en el análisis sísmico debido a que la capacidad resistente disminuye en el rango inelástico.
- Con el efecto P- $\Delta$  podemos ver que la estructura falla mas rápido debido a que se produce una mayor deformación, por lo que se producen rotulas plásticas en las vigas
- En la curva de push-over veremos como la estructura va perdiendo rigidez a medida que aumenta la deformación o ductilidad, y esto es debido a que la estructura esta disipando la energía que produce el sismo
- En la curva del espectro de capacidad veremos que cuando esta ocurriendo el sismo, el tiempo de vibración aumenta, el amortiguamiento aumenta y la rigidez disminuye, todo esto es debido a la ductilidad de la estructura

## **5.2.- RECOMENDACIONES**

- Al momento de utilizar una herramienta computacional, es importante entender los datos que se están ingresando al programa, como son los valores de las especificaciones de los materiales, las especificaciones de análisis, espectros de respuesta, etc.
- Es importante realizar una evaluación del lugar donde se va a construir ya que no es lo mismo construir en la costa que en la sierra o el oriente por los factores de la zona sísmica y los factores del tipo de suelo.
- Es importante realizar para cada proyecto un estudio del suelo para ver los valores de N del SPT, los valores de la velocidad de onda de corte Vs, etc.

## CAPITULO VI

### 6.- PROPUESTA

#### 6.1.- DATOS INFORMATIVOS

Para el desarrollo de la presente investigación se plantea calcular, y analizar una estructura de 8 pisos de hormigón armado conformado por pórticos, utilizando los criterios establecidos por el Código Ecuatoriano de la Construcción, lo establecido en el ACI 318-05 el código FEMA 273 y el ATC-40 y utilizaremos una herramienta computacional para ver la incidencia del método "push-over" en el calculo estructural.

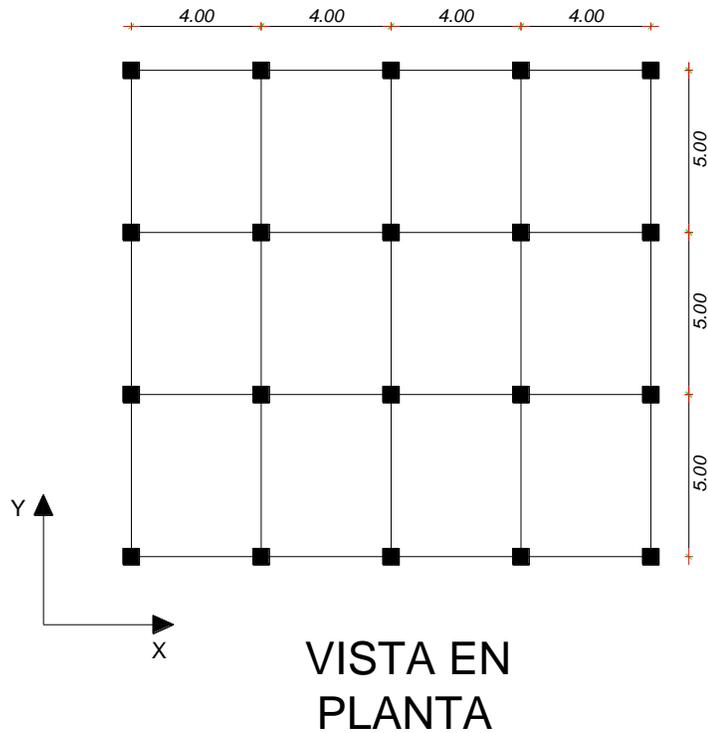
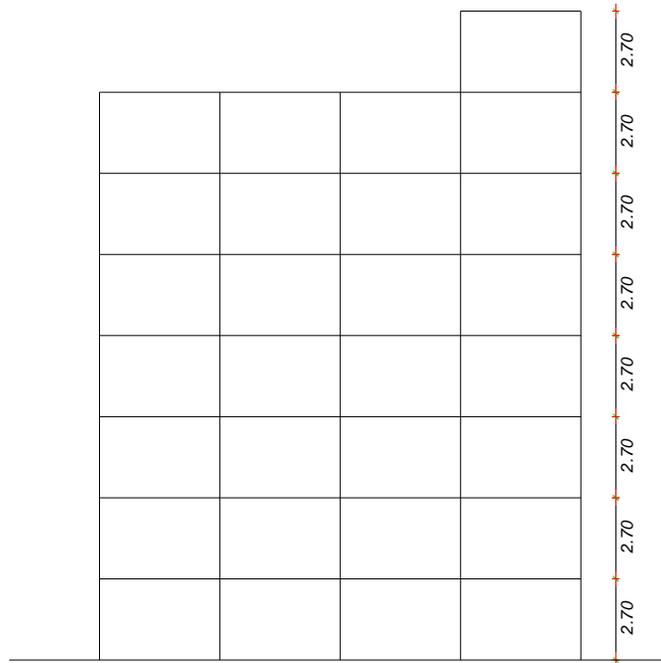
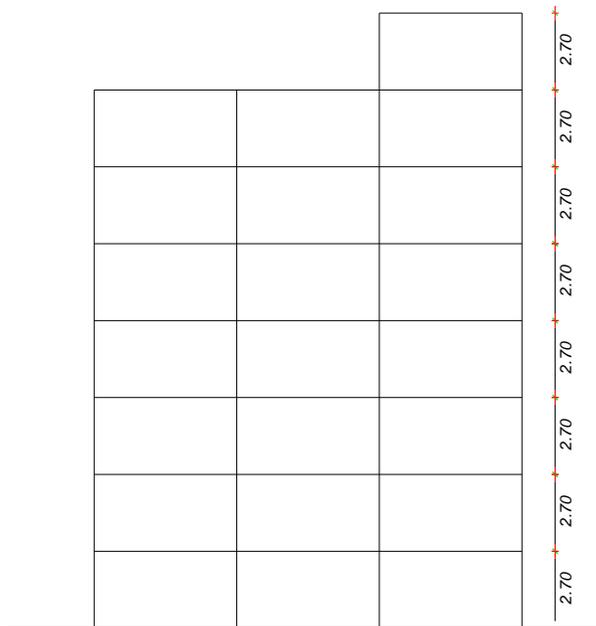


Figura 5 Vista en Planta de la Estructura



**Figura 6 Corte en el sentido X**



**Figura 7 Corte en el sentido Y**

## **6.2.- ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

Como el método modal "push-over" es un método dinámico es necesario conocer los antecedentes sísmicos del sector.

El lugar donde se encuentra el proyecto es en la zona de Ambato que es un lugar de alta peligrosidad sísmica, como el temblor ocurrido el 5 de agosto de 1949 en la que hubo grandes pérdidas humanas y económicas por lo que, hay que tener en cuenta un posible retorno de este sismo, por lo tanto hay que diseñar estructuras que soporten las fuerzas sísmicas.

## **6.3.- JUSTIFICACIÓN**

Debido a la realidad sísmica que tiene el Ecuador que es el resultado de los movimientos de las placas tectónicas así como también por efecto de la actividad volcánica, los terremotos en el campo estructural consisten en movimientos aleatorios horizontales y verticales de la superficie terrestre. A medida que la superficie se mueve, la inercia tiende a mantener la estructura en su sitio original, lo cual conlleva a la presencia de desplazamientos y fuerzas que pueden tener resultados catastróficos; por lo que es necesario realizar con responsabilidad los diseños estructurales dimensionando para resistir los desplazamientos y fuerzas inducidas por el movimiento del terreno.

Los modelos utilizados a nivel mundial tienen mucho que ver con las condiciones topográficas, climáticas y geotécnicas del sitio, siendo cada solución específica para cada caso. Se debe tener en cuenta todos estos tipos de variaciones para el desarrollo de un buen análisis.

Además todas las estructuras deben ser diseñadas y construidas para que con una seguridad aceptable sean capaces de soportar

todas las acciones que la puedan solicitar durante la construcción y su vida útil.

#### **6.4.- OBJETIVOS**

##### **6.4.1.- OBJETIVO GENERAL**

Realizar el cálculo de una edificación de Hormigón Armado del cantón Ambato y ver cual es el desempeño sísmico mediante el uso del método "modal push-over" en dicho calculo.

##### **6.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el predimensionamiento de los elementos estructurales
- Ingresar en el programa los parámetros de diseño
- Efectuar el análisis de la estructura
- Realizar un análisis modal push-over
- Verificar cual fue el desempeño sísmico de la estructura.
- Interpretar los resultados obtenidos

#### **6.5.- ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

Es aplicable la propuesta en base a las siguientes consideraciones:

- Se deberán aplicar las normas CEC 2002, ACI 3-18 y otras para el cálculo y diseño del proyecto en mención como respaldos, la descripción de los procedimientos de

análisis, vínculos y acciones que permitan interpretar los aspectos analíticos del proyecto estarán sustentados en los códigos antes mencionados.

- Se obtendrán los resultados esperados si la aplicación del modelo cumple con todas las especificaciones requeridas; de esta manera garantizar un buen análisis y diseño estructural.

## **6.6.- FUNDAMENTACIÓN**

### **6.6.1. ETAPAS EN EL PROCESO DE DISEÑO**

El proceso de diseño es el proceso creativo mediante el cual se le da forma a un sistema estructural para que cumpla una función determinada con un grado de seguridad razonable y que en condiciones normales de servicio tenga un comportamiento adecuado. Es importante considerar ciertas restricciones que surgen de la interacción con otros aspectos del proyecto global; las limitaciones globales en cuanto al costo y tiempo de ejecución así como de satisfacer determinadas exigencias estéticas. Entonces, la solución al problema de diseño no puede obtenerse mediante un proceso matemático rígido, donde se aplique rutinariamente un determinado conjunto de reglas y formulas.

#### **a) Etapa de estructuración**

Es probable que sea la etapa mas importante del diseño estructural pues, la optimización del resultado final del diseño depende de gran medida del acierto que se haya obtenido en adoptar los elementos estructurales (vigas y columnas), mas adecuados para una edificación específica.

En esta etapa de estructuración se seleccionan los materiales que van a constituir la estructura, se define el sistema estructural principal y el arreglo y dimensiones preliminares de los elementos estructurales mas comunes. El objetivo debe ser el de adoptar la solución optima dentro de un conjunto de posibles opciones de estructuración.

#### **b) Estimación de las solicitaciones o acciones**

En esta segunda etapa del proyecto, se identifican las acciones que se consideran que van a incidir o que tienen posibilidad de actuar sobre el sistema estructural durante su vida útil. Entre estas acciones se encuentra, por ejemplo, las acciones permanentes como la carga muerta, acciones variables como la carga viva. Acciones accidentales como el viento y el sismo.

#### **c) Análisis estructural**

Es el procedimiento que lleva a la determinación de la respuesta del sistema estructural ante la solicitación de las acciones externas que puedan incidir sobre dicho sistema. La respuesta de una estructura o de un elemento es su comportamiento bajo una acción determinada; está en función de sus propias características y puede expresarse en función de deformaciones, agrietamiento, vibraciones, esfuerzos, reacciones, etc.

Para obtener dicha respuesta requerimos considerar los siguientes aspectos:

Idealización de la estructura.

Seleccionar un modelo teórico y analítico factible de ser analizado con los procedimientos de cálculo disponible. La

selección del modelo analítico de la estructura puede estar integrada de las siguientes partes:

I.- Modelo geométrico. Esquema que representa las principales características geométricas de la estructura.

II.- Modelo de las condiciones de continuidad en las fronteras. Debe establecerse como cada elemento esta conectado a sus adyacentes y cuales son las condiciones de apoyo de la estructura.

III.- Modelo del comportamiento de los materiales. Debe suponerse una relación acción - respuesta o esfuerzo - deformación del material que compone la estructura.

IV.- Modelo de las acciones impuestas. Las acciones que afectan la estructura para una condición dada de funcionamiento se representan por fuerzas o deformaciones impuestas.

#### **6.6.2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

La principal función de un sistema estructural es la de absorber las acciones o sollicitaciones que se derivan del funcionamiento de la construcción.

##### **Acciones:**

Son todos los agentes externos que inducen en la estructura fuerzas internas, esfuerzos y deformaciones.

##### **Respuestas:**

Se representa por un conjunto de parámetros físicos que describen el comportamiento de la estructura ante las acciones que le son aplicadas.

**Estado límite:**

Es cualquier etapa en el comportamiento de la estructura a partir de la cual su respuesta se considera inaceptable.

**Resistencia:**

Es la intensidad de una acción hipotética que conduce a la estructura o alguna sección a un estado límite de falla. Por ejemplo, la resistencia a flexión será el momento máximo que es capaz de resistir la sección.

**6.6.3. ACCIONES Y SUS EFECTOS SOBRE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES****Clasificación:**

Atendiendo los conceptos de seguridad estructural y los criterios de diseño, la clasificación más racional de las acciones se hace en base a la variación de su intensidad con el tiempo. Se distinguen así los siguientes tipos de acciones:

**Acciones permanentes.**

Son las que actúan en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad puede considerarse que no varía con el tiempo. Pertenecen a este grupo las siguientes.

- 1.- Cargas muertas debidas al propio peso de la estructura y al de los elementos no estructurales de la construcción
- 2.- Empujes estáticos de líquidos y tierras
- 3.- Deformaciones y desplazamientos debido al esfuerzo de efecto del pre-esfuerzo y a movimientos diferenciales permanentes en los apoyos

4.- Contracción por fraguado del concreto, flujo plástico del concreto, etc.

**Acciones variables.**

Son aquellas que inciden sobre la estructura con una intensidad variable con el tiempo, pero que alcanzan valores importantes durante lapsos grandes

Se pueden considerar las siguientes:

- 1.- Cargas vivas, o sea aquellas que se deben al funcionamiento propio de la construcción y que no tienen carácter permanente
- 2.- Cambios de temperatura
- 3.- Cambios volumétricos

**Acciones accidentales.**

Son aquellas que no se deben al funcionamiento normal de la construcción y que puede tomar valores significativos solo durante algunos minutos o segundos, a lo mas horas en toda la vida útil de la estructura.

Se consideran las siguientes

- 1.-Sismos
- 2.-Vientos
- 3.-Oleajes
- 4.-Explosiones

Para evaluar el efecto de las acciones sobre la estructura requerimos modelar dichas acciones como fuerzas concentradas, lineales o uniformemente distribuidas.

Si la acción es de carácter dinámico podemos proponer un sistema de fuerzas equivalentes o una excitación propiamente dinámica.

#### **6.6.4.- NIVELES Y RANGOS DE DESEMPEÑO ESTRUCTURALES**

Se han definido tres niveles desempeño estructural los cuales tratan de guardar una correlación con las exigencias de desempeño estructural más usuales.

Los niveles de desempeño son:

##### 1. Nivel de Ocupación Inmediata (I-O)

Luego de haber ocurrido un evento sísmico, el daño en la estructura es mínimo, esta estructura puede ser ocupada inmediatamente con reparaciones mínimas que no son prioritarias.

##### 2. Nivel de Seguridad Vida (L-S)

Significa que la estructura ha sufrido daño significativo, pero no colapsará debido a que los elementos estructurales conservan una parte importante de su capacidad resistente; la estructura puede funcionar luego de unas reparaciones, pero se debe analizar qué tan conveniente es esto económicamente.

##### 3. Nivel de Prevención de Colapso (C-P)

Se ha producido un daño sustancial a la estructura, ha perdido en gran parte su resistencia y rigidez, se han producido grandes deformaciones permanentes. La estructura ha sufrido mucho daño por lo cual puede sucumbir si es que sucede una réplica de la excitación sísmica, este nivel no es técnicamente reparable, y se recomienda derrocar.

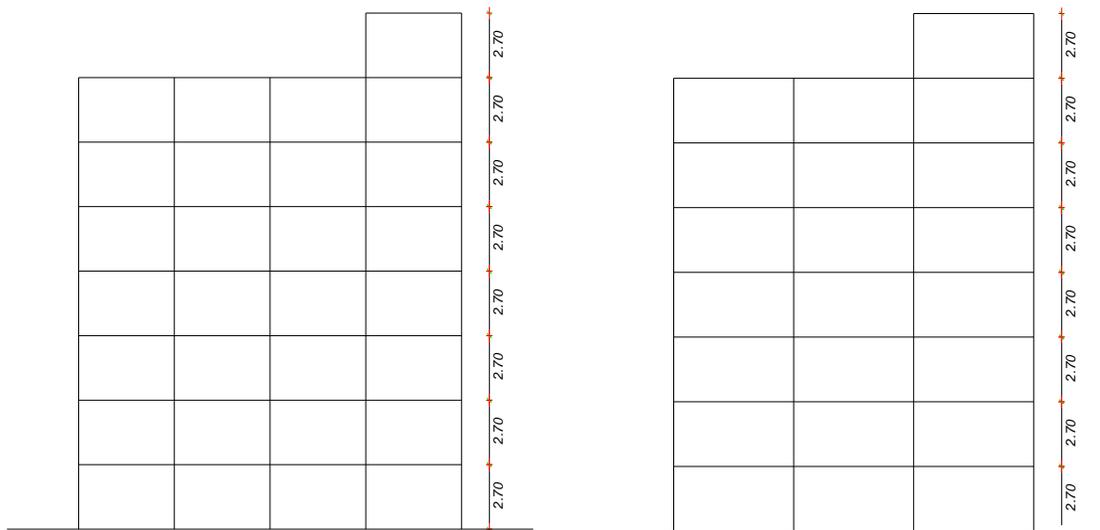
### 6.6.5. DATOS INICIALES

#### Configuración Estructural:

La estructura tiene una configuración regular en planta. Para evitar irregularidad geométrica vertical o por discontinuidad en los sistemas resistentes, los elementos estructurales verticales (columnas), se modelarán sin cambio de sección en toda la altura del edificio. Los elementos de accesibilidad vertical, como escaleras o ascensores, no se han tomado en cuenta para el modelo para evitar irregularidades tanto en planta como elevación por lo establecido en el ATC 40 y CEC 2000.

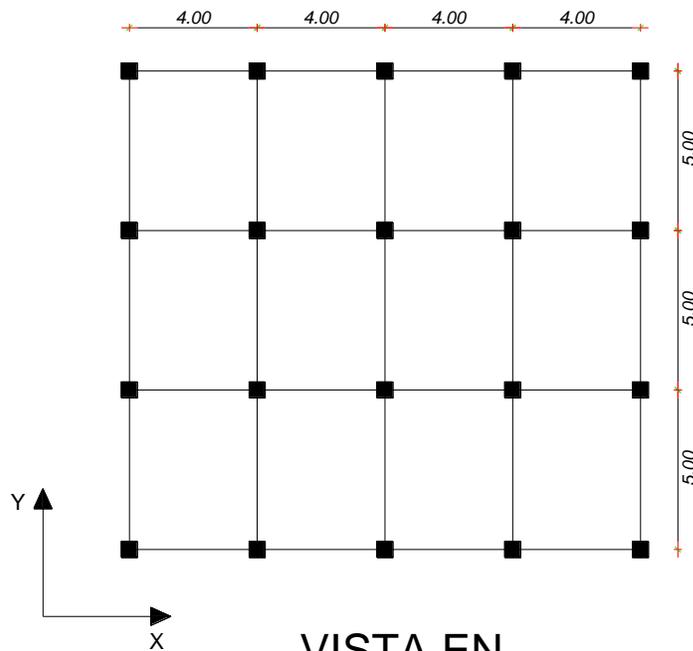
#### Sistema Estructural:

Se definió como un Sistema Estructural de Concreto Armado conformado por pórticos:



Corte X-X

Corte Y-Y



## VISTA EN PLANTA

### Requerimientos:

- Losa alivianada en 2 direcciones de 20 cm.
- Losa sobre vigas
- Sera un edificio residencial
- Diseño sísmico

### Especificaciones:

- $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
- $F'_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$
- Códigos a utilizar: ACI 318-05; CEC 2002; ATC-40; FEMA 273

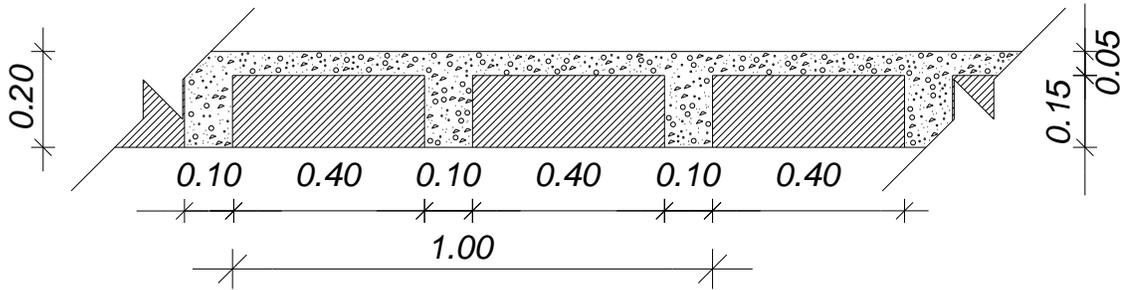
### Dimensiones:

Columna = 0,50 m. x 0,50 m.

Vigas = 0,30 m. x 0,45 m.

### 6.6.6. EQUIVALENCIA DE UNA LOSA ALIVIANADA A UNA LOSA MACIZA

- Esta equivalencia nos servirá para ingresar en el programa ETABS



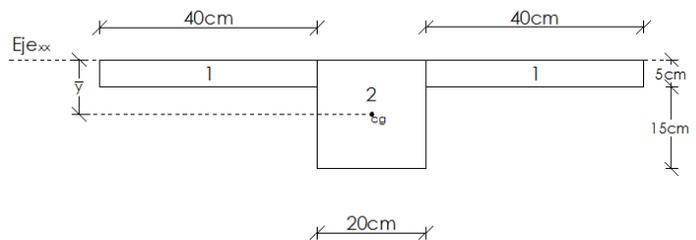
Para efectos de cálculo se considerara que el nervio mide 20cm ya que un metro de losa alivianada hay 2 alivianamientos de 40 cm. y 2 nervios de 10 cm.

- Determinaremos la inercia mediante el método de los ejes paralelos

$$I_{xx} = I_{cg} + A * y^2$$

$$y = \frac{2 * A_1 * y_1 + A_2 * y_2}{A}$$

$$y = \frac{2 * 5 * 40 * 2,5 + 20 * 20 * 10}{2 * 40 * 5 + 20 * 20} = 6,25\text{cm}$$



$$I_{xx} = \frac{b * h^3}{3}$$

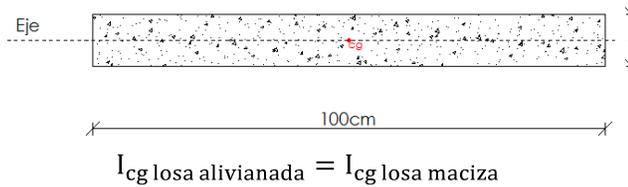
$$I_{xx} = \frac{40 \times 5^3}{3} \cdot 2 + \frac{20 \times 20^3}{3} = 56666,667 \text{cm}^4$$

$$I_{cg} = I_{xx} - A * y^2$$

$$I_{cg} = 56666,667 \text{cm}^4 - 800 \text{cm}^2 * (6,25 \text{cm})^2$$

$$I_{cg} = 25416,66 \text{cm}^4$$

- Determinar la sección equivalente de una losa alivianada a maciza relacionamos las inercias con respecto al centro de gravedad  $I_{cg}$



$$I_{cg} = \frac{b * h^3}{12} \rightarrow h = t = \text{altura de la losa}$$

Despejando  $t$  de la ecuación anterior tenemos:

$$t = \sqrt[3]{\frac{12 * I_{cg}}{b}} = \sqrt[3]{\frac{12 * 25416,667}{100}}$$

$$t = 14,5 \text{cm} = 0,145 \text{m}$$

$$CM_{L \text{ maciza}} = 0,145 \text{m} * 1 \text{m} * 1 \text{m} * 2,4 \text{ton/m}^3 = 0,348 \text{ton/m}^3$$

2,4ton/m<sup>3</sup> : peso específico del Hormigón

#### 6.6.7. LA CARGA VIVA

En el Código Ecuatoriano de la Construcción encontramos en la **Tabla 4.1 Cargas Uniformes y concentradas**, la carga viva dependiendo de su uso u ocupación.

- **Para Residencias Carga Viva = 200 Kg/m<sup>2</sup>**

También en el Código Ecuatoriano de la Construcción encontramos una reducción de carga viva dependiendo del número de pisos en la **Tabla 6.1 Reducción de cargas vivas unitarias**

Como nuestro edificio tiene 8 pisos contando con la cubierta CEC nos dice:

4 a 10 Pisos ----- 40 por ciento de reducción de carga viva

$$CV = 200 \text{ Kg/m}^2 \times 0.6$$

$$CV = 120 \text{ Kg/m}^2$$

La carga viva que tendrá la terraza y el tapa grada será menor ya que por obvias razones en esos lugares no habrá tanta circulación de carga viva:

$$CV = 80 \text{ Kg/m}^2$$

#### 6.6.8. CARGA DE PARED

CMP = 250 Kg/m<sup>2</sup> ----- (Carga Impuesta)

Nota: La carga muerta de pared se calculara dependiendo del proyecto.

### 6.6.9. CALCULO DEL ESPECTRO SÍSMICO

Para el análisis sísmico se trabajara de acuerdo a la Norma Técnica CEC 2002

Los parámetros y condiciones para obtener los valores de la aceleración espectral que se mencionan en la norma CEC 2002, son los siguientes:

➤ **FACTOR Z EN FUNCIÓN DE LA ZONA SÍSMICA**

**Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada**

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.4

Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño

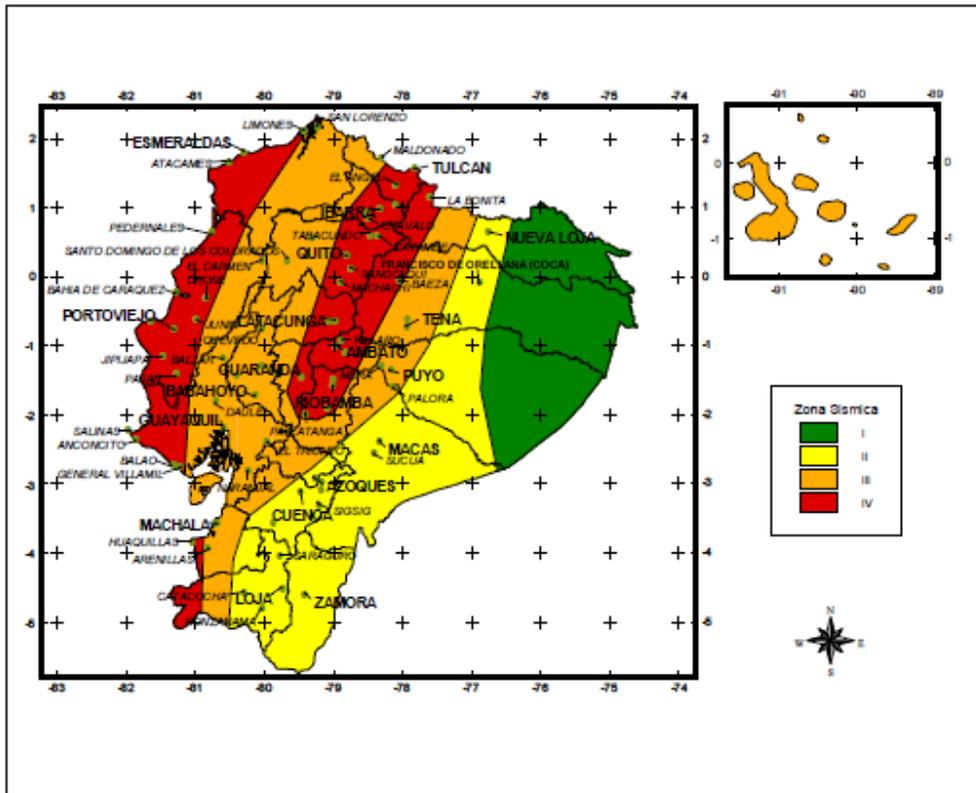


Figura 8 Extraída del CEC 2002 valores del factor Z en función de la zona sísmica

➤ **COEFICIENTE DEL SUELO S Y COEFICIENTE C<sub>m</sub> DEPENDIENDO DEL TIPO DE SUELO**

1. Perfil Tipo S1 (Roca o Suelo Firme): En este perfil se encuentran las rocas o suelos endurecidos con velocidades de onda de corte superiores a 750 m/s, con periodos de vibración menores a 0.20 s.

2. Perfil Tipo S2 (Suelos Intermedios): A este grupo pertenecen los suelos con características intermedias entre los Tipos 1 y 3.

3. Perfil Tipo S3 (Suelos Blandos o Estratos Profundos): En este grupo se encuentran los suelos que tengan periodos de vibración mayores a 0.6 s, además los suelos que presenten las siguientes características:

<b>Suelos Cohesivos</b>	<b>Velocidad de Ondas de Corte Vs (m/s)</b>	<b>Resistencia al Corte No drenada, Su (Kpa)</b>	<b>Espesor del Estrato (m)</b>
Blandos	< 200	< 25	> 20
Semiblandos	200 - 400	25 - 50	> 25
Duros	400 - 750	50 - 100	> 40
Muy Duros	> 750	100 - 200	> 60

<b>Suelos Granulares</b>	<b>Velocidad de Ondas de Corte Vs (m/s)</b>	<b>Valores N Del SPT</b>	<b>Espesor del Estrato (m)</b>
Sueltos	< 200	4 - 10	> 40
Semidensos	200 - 750	10 - 30	> 45
Densos	> 750	> 30	> 100

**Tabla 3 Extraída del CEC 2002 Características del suelo tipo S3**

4. Perfil Tipo S4 (Condiciones Especiales de Evaluación del Suelo): A este grupo pertenecen los suelos altamente compresibles y los que posean condiciones desfavorables, los cuales son los siguientes:

a. Suelos con alto potencial de licuefacción, colapsibles y sensitivos.

b. Turbas, lodos y suelos orgánicos.

c. Rellenos colocados sin control ingenieril.

d. Arcillas y limos de alta plasticidad ( $IP > 75$ ).

e. Arcillas suaves y medianamente duras con espesor mayor a 30 m.

<b>Perfil Tipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>S</b>	<b>Cm</b>
S1	Roca o suelo firme	1,0	2,5
S2	Suelos intermedios	1,2	3,0
S3	Suelos blandos y estrato profundo	1,5	2,8
S4	Condiciones especiales de suelo	2,0	2,5

**Tabla 4 Extraído del CEC 2002 Coeficiente del suelo S y coeficiente Cm**

➤ **FACTOR I RELACIONADO A LA IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA**

<b>Categoría</b>	<b>Tipo de uso, destino e importancia</b>	<b>Factor</b>
1. Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación, transmisión y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de Ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,0

**Tabla 5 Extraído del CEC 2002 Factor I relacionado con la importancia de la estructura**

➤ **COEFICIENTE DE LA IRREGULARIDAD EN PLANTA Y EN ELEVACIÓN**

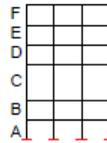
**IRREGULARIDADES EN ELEVACION**

Tipo 1 - Piso flexible -  $\phi_{Ei} = 0.9$

Rigidez  $K_c < 0.70$  Rigidez  $K_D$

ó

Rigidez  $K_c < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$



Tipo 2 - Distribución de masas -  $\phi_{Ei} = 0.9$

$m_D > 1.50 m_E$

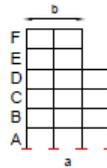
ó

$m_D > 1.50 m_C$



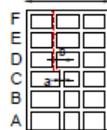
Tipo 3 - Irregularidad Geométrica -  $\phi_{Ei} = 0.9$

$a > 1.30 b$



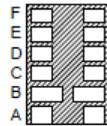
Tipo 4 - Desalineamientos en ejes verticales -  $\phi_{Ei} = 0.8$

$b > a$



Tipo 5 - Piso débil -  $\phi_{Ei} = 0.8$

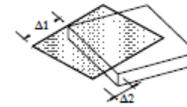
Resistencia Piso B < 0.70 Resistencia Piso C



**IRREGULARIDADES EN PLANTA**

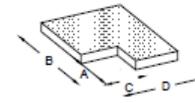
Tipo 1-Irregularidad torsional-  $\phi_{P1} = 0.9$

$$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta_1 + \Delta_2)}{2}$$

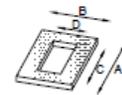


Tipo 2-Retrocesos excesivos en las esquinas -  $\phi_{P1} = 0.9$

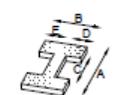
$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D$$



Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso -  $\phi_{P1} = 0.9$



$$1) C \times D > 0.5A \times B$$



$$2) (C \times D + C \times E) > 0.5 A \times B$$

Tipo 4 - Desplazamiento de los planos de Acción -  $\phi_{P1} = 0.8$   
de elementos verticales



Tipo 5 - Ejes estructurales no paralelos -  $\phi_{P1} = 0.9$

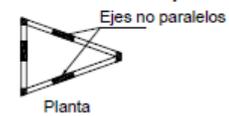


Figura 9 Extraído del CEC 2002 Valores de irregularidad en planta y elevación

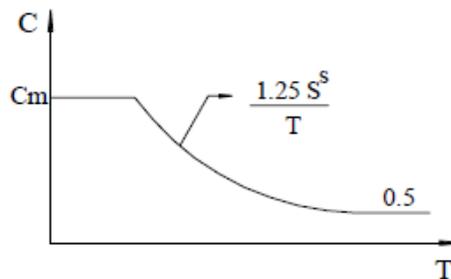
➤ **VALORES DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA ESTRUCTURAL R**

<b>Sistema Estructural</b>	<b>R</b>
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	12
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras.*	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras. *.	9
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio.	7
Estructuras de madera	7
Estructura de mampostería reforzada o confinada	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada	3

**Tabla 6 Extraído del CEC 2002 Valores del coeficiente de reducción de respuesta R**

Entonces los parámetros para nuestra estructura serán:

- Z: 0,4
- S: 1,5
- Cm: 2,8
- I: 1,0
- ØP: 0,9
- ØE: 0,9
- R: 10



**Figura 10 Extraído del CEC 2002 Espectro sísmico elástico del presente reglamento, que representa el sismo de diseño**

El tipo de suelo es el S3 del tipo granular semidenso con una velocidad de onda de corte Vs entre 200-750 y valor N del STP entre 10-30 ya que es el tipo de suelo que mas se ajusta a las características del suelo de Ambato.

#### 6.6.9.1.- PERIODO DE VIBRACIÓN

$$T = Ct \times (hn)^{3/4}$$

Donde:

hn = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura

Ct = 0,09 para pórticos de acero

Ct = 0,08 para pórticos espaciales de hormigón armado

Ct = 0,06 para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales y para otras estructuras

$$T = 0,08 \times (21,6)^{3/4}$$

$$T = 0,801 \text{ seg.}$$

$$C = \frac{1,25 \times S^5}{T}$$

$$C = \frac{1,25 \times 1,5^{1,5}}{0,801}$$

$$C = 2,866$$

C = No debe exceder del valor de Cm establecido en la tabla 3, no debe ser menor a 0,5 y puede utilizarse para cualquier estructura,

Como C es mayor que 2,8 por lo tanto C = 2,8

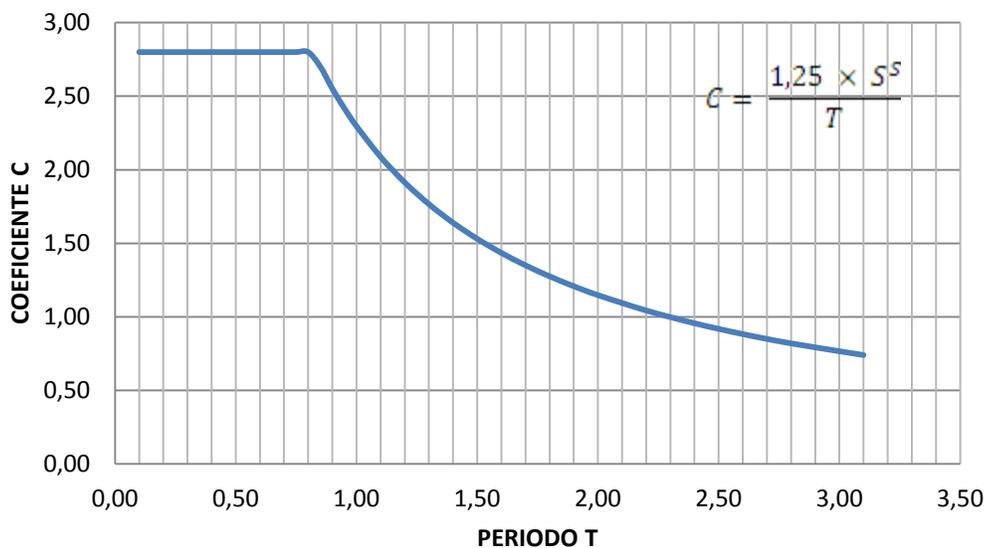
$$A = \frac{Z \times I \times C}{R \times \emptyset_p \times \emptyset_E} \times g$$

g = valor de la gravedad pero NO le multiplicaremos por ese valor para tener la aceleración en un valor adimensional

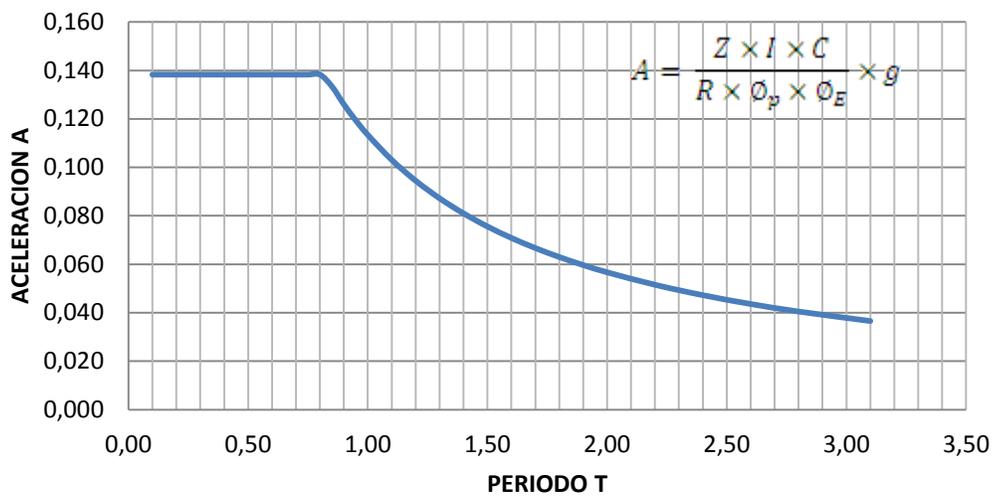
<b>ACELERACION ESPECTRAL</b>			
<b>Elástico</b>		<b>Inelástico</b>	
<b>T (seg)</b>	<b>C</b>	<b>T (seg)</b>	<b>A (g)</b>
0,10	2,80	0,10	0,138
0,15	2,80	0,15	0,138
0,20	2,80	0,20	0,138
0,25	2,80	0,25	0,138
0,30	2,80	0,30	0,138
0,35	2,80	0,35	0,138
0,40	2,80	0,40	0,138
0,45	2,80	0,45	0,138
0,50	2,80	0,50	0,138
0,55	2,80	0,55	0,138
0,60	2,80	0,60	0,138
0,65	2,80	0,65	0,138
0,70	2,80	0,70	0,138
0,75	2,80	0,75	0,138
0,80	2,80	0,80	0,138
0,85	2,70	0,85	0,133
0,90	2,55	0,90	0,126
0,95	2,42	0,95	0,119
1,00	2,30	1,00	0,113
1,10	2,09	1,10	0,103
1,20	1,91	1,20	0,095
1,30	1,77	1,30	0,087
1,40	1,64	1,40	0,081
1,50	1,53	1,50	0,076
1,60	1,44	1,60	0,071
1,70	1,35	1,70	0,067
1,80	1,28	1,80	0,063
1,90	1,21	1,90	0,060
2,00	1,15	2,00	0,057
2,20	1,04	2,20	0,052
2,40	0,96	2,40	0,047
2,60	0,88	2,60	0,044
2,80	0,82	2,80	0,041
3,10	0,74	3,10	0,037

**Tabla 7 Valores del espectro elástico e inelástico**

### ESPECTRO ELASTICO CEC 2002



### ESPECTRO INELASTICO CEC 2002



### 6.6.10. MODELACIÓN TRIDIMENSIONAL DE LA ESTRUCTURA EN ETABS

Al abrir el programa ETABS nos saldrá como primero un cuadro de dialogo en el cual simplemente le daremos clic en **OK**

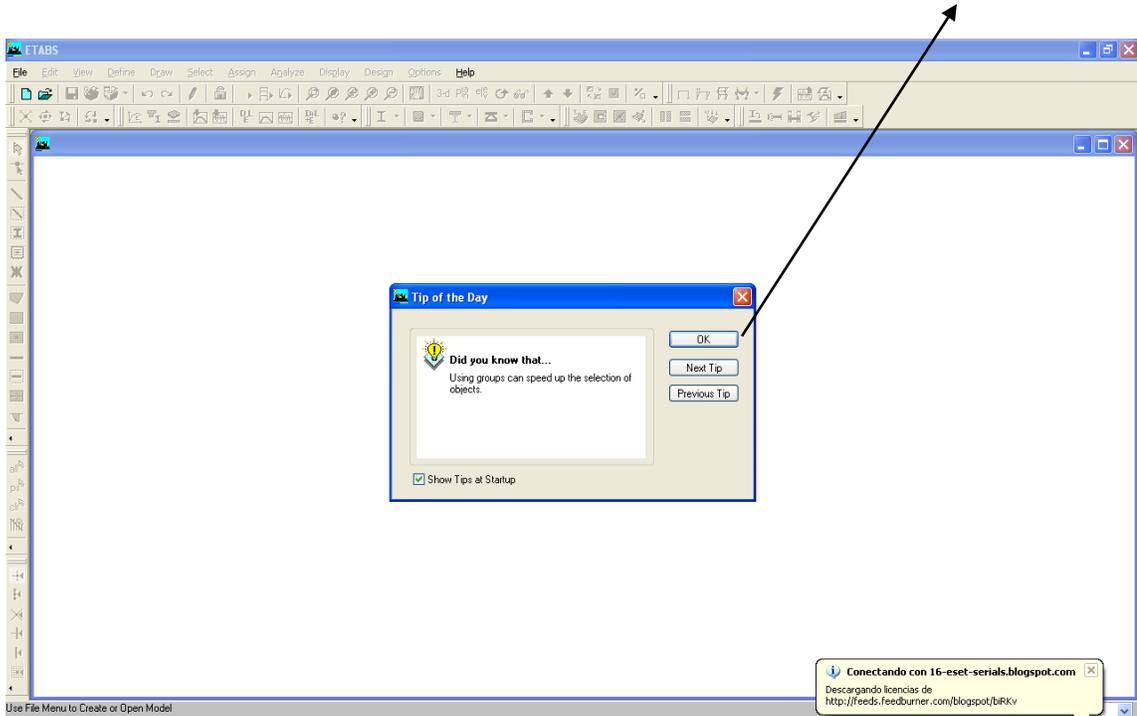


Figura 11 Pantalla de inicio de ETABS

En la parte inferior derecha escogemos las unidades en las que vamos a trabajar en este caso serán Kg/m

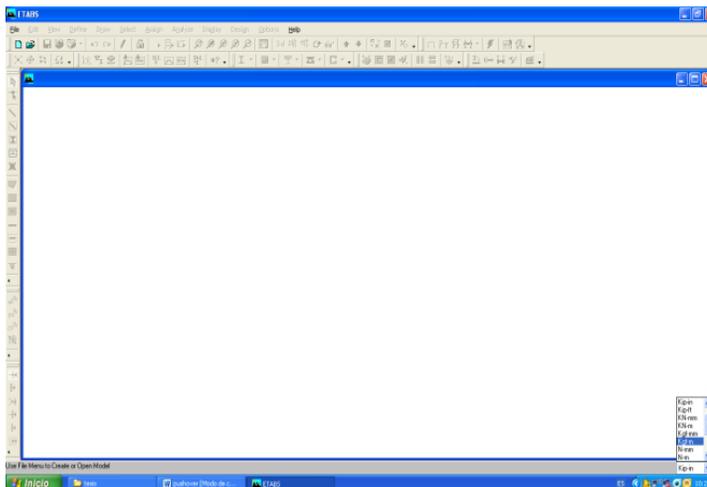


Figura 12 Unidades con las que se va a trabajar

Vamos a **FILE** que se encuentra en la parte superior izquierda y damos clic en **NEW MODEL**

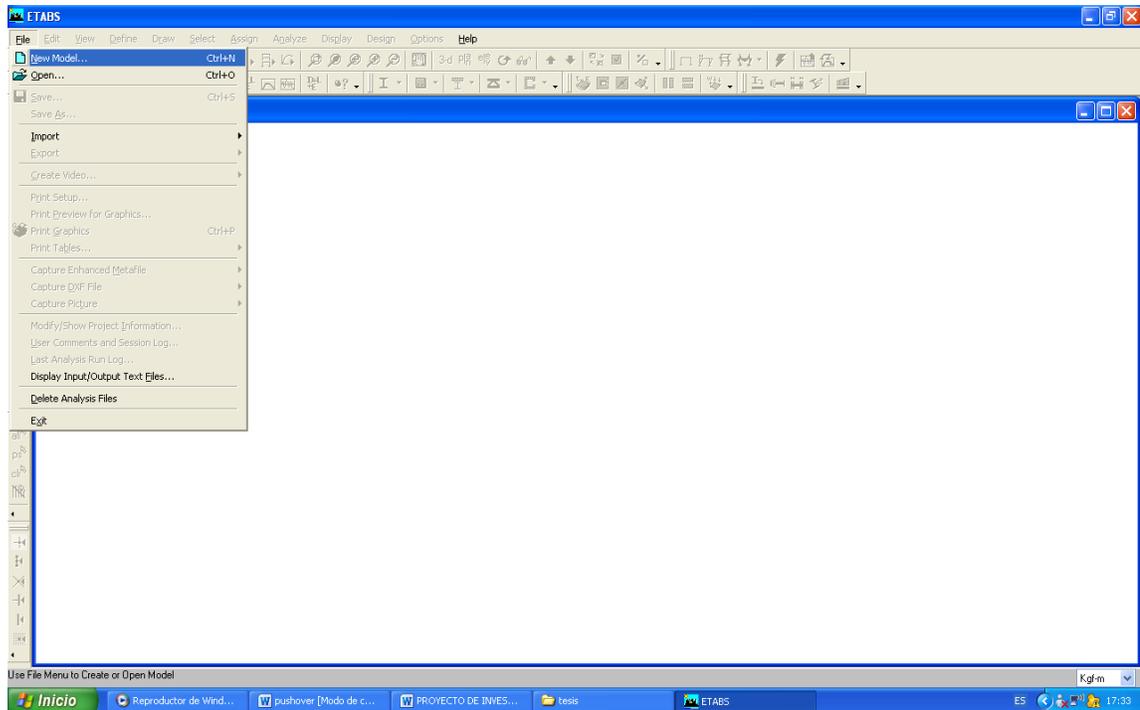
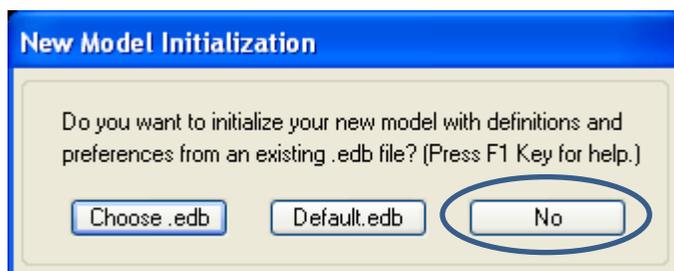


Figura 13 Agregar un nuevo modelo de trabajo en ETABS

A continuación nos saldrá un cuadro de dialogo en el que daremos clic donde dice NO



A continuación se nos desplegará un cuadro en el que ingresaremos las características físicas de la estructura como son: número de pisos, altura entre pisos, distancia entre columnas en los dos sentidos X y Y

Llenamos los recuadros con los datos de la estructura el número de ejes en las 2 direcciones el número pisos la altura entre pisos y el espacio entre ejes.

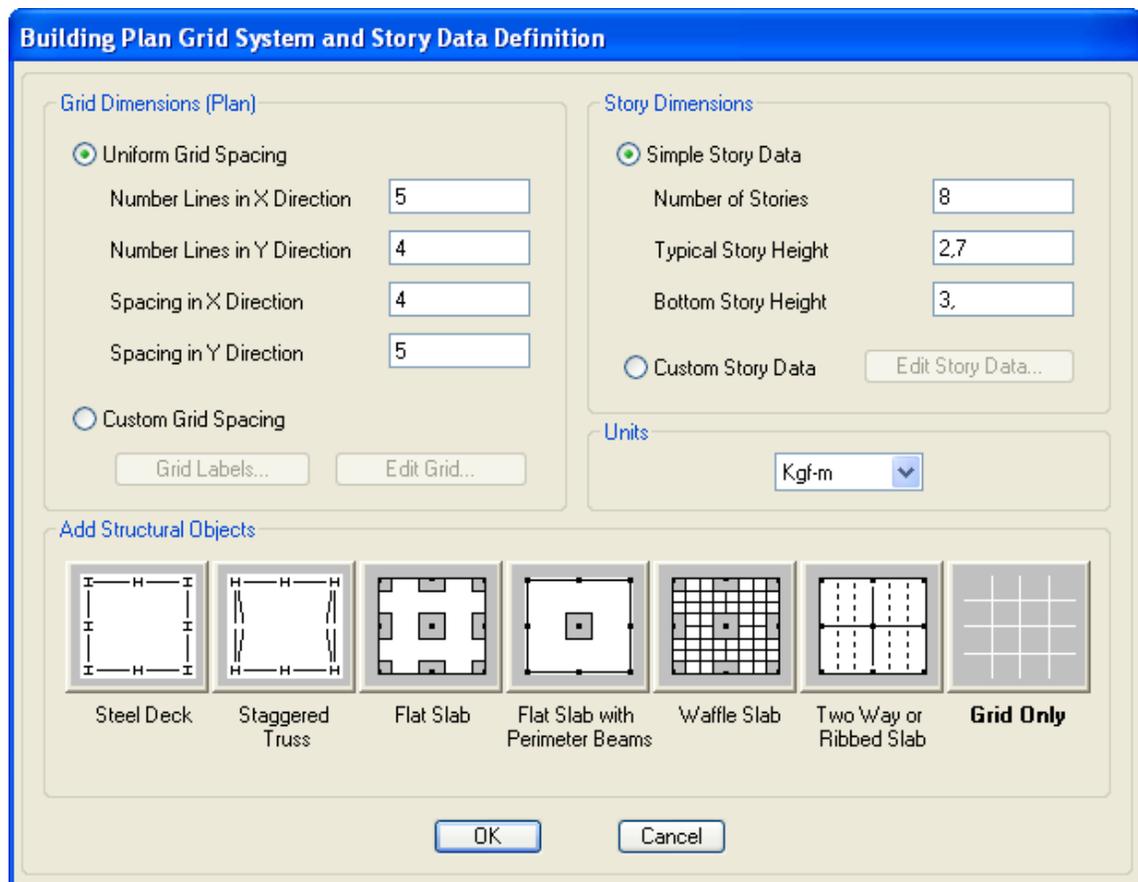


Figura 14 Datos de la definición de las características físicas de la estructura

Al dar clic en OK nos quedara así

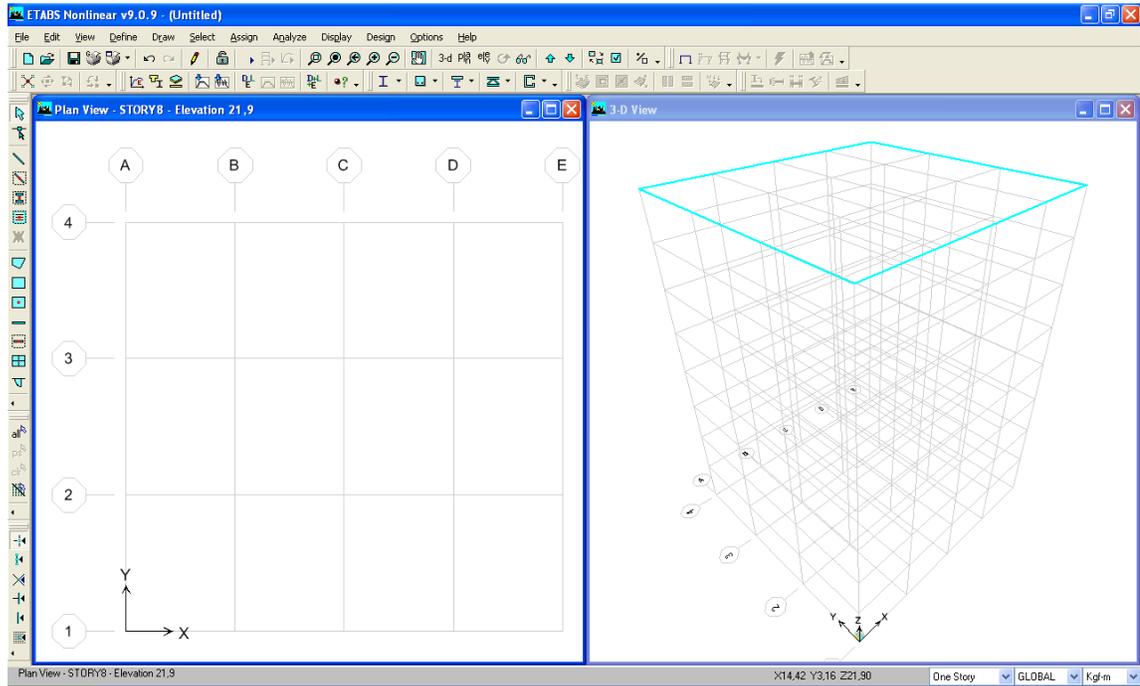


Figura 15 Malla de los espacios entre ejes y altura de pisos

Nota: en nuestro caso es una estructura con distancia entre ejes iguales, si alguna estructura tuviera diferentes distancias entre ejes simplemente damos doble clic en cualquiera de las líneas y se desplegara el cuadro de dialogo como el que se muestra a continuación, en el que podremos modificar la distancia entre ejes en los dos sentidos, se recomienda activar la opción **SPACING** para mayor facilidad.

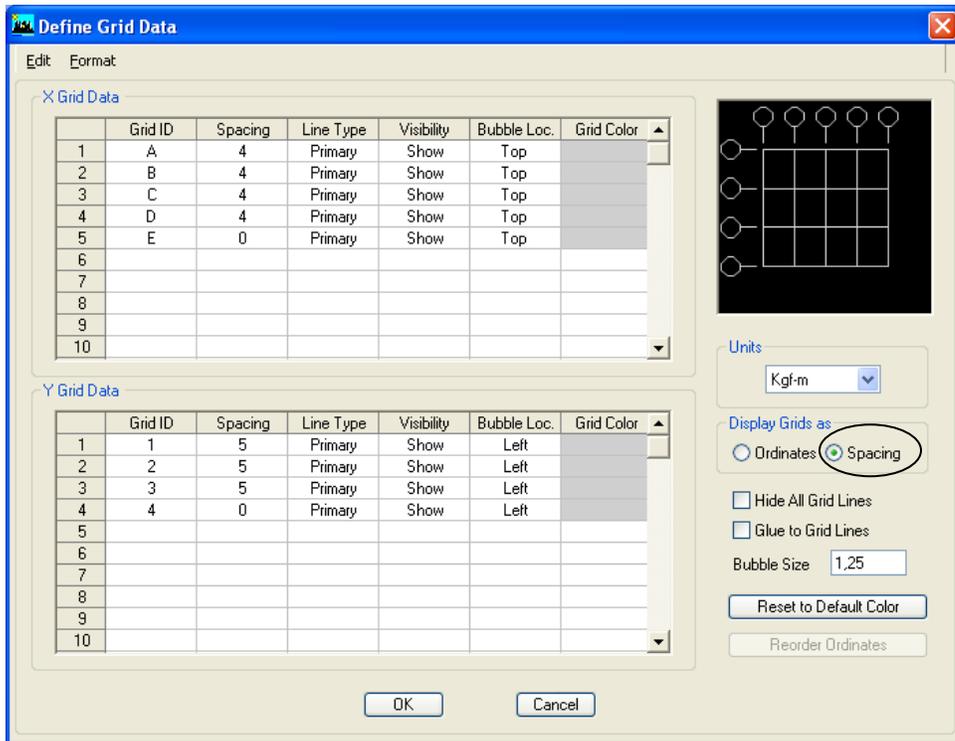
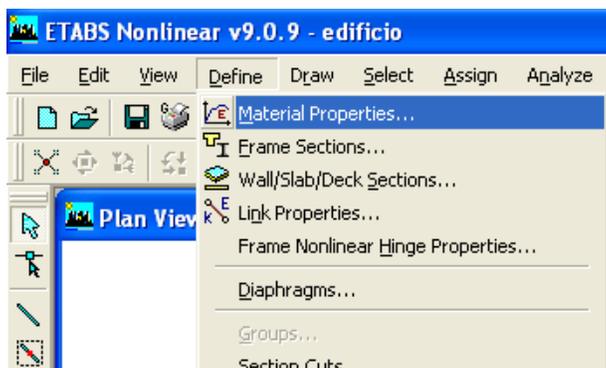


Figura 16 Ventana para modificar las distancias entre ejes

#### 6.6.10.1.- PROPIEDADES DEL MATERIAL

A continuación vamos a definir las propiedades de los materiales, en este caso como trabajamos con hormigón definiremos las propiedades del hormigón.

Vamos al menú **DEFINE – MATERIAL PROPERTIES**



Se nos desplegara el siguiente cuadro de dialogo, en el que estará seleccionado **CONC** de concreto y daremos clic en **MODIFY/SHOW MATERIAL**



Figura 17 Ventana para seleccionar el tipo de material

Para el hormigón estructural se definirán las propiedades según la tabla a continuación; para el modulo de elasticidad se aplica lo descrito en la sección 8.5 del ACI

$\gamma$  = peso específico del hormigón

$f'c$  = resistencia del hormigón = 2400000 Kg/m<sup>2</sup>

$f_y$  = 42000000 Kg/m<sup>2</sup>

$E = 4700^2 \overline{f'c}$  ---- modulo de elasticidad ACI (en MPa)

$E = 15100^2 \overline{f'c}$  ---- modulo de elasticidad (en Kg/cm<sup>2</sup>)

Masa por unidad de Volumen	$m = \gamma/g = 244.648 \text{ Kg seg}^2/\text{m}^4$
Peso por unidad de Volumen	$\gamma = 2400 \text{ Kg/m}^2$
Módulo de elasticidad	$E = 2339281941,109 \text{ kg/m}^2$
Relación de Poisson	$\mu = 0.20$

Tabla 8 Características del hormigón

**Tabla 9 Ventana para ingresar los valores de las características del hormigón**

- **El Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ).**- relaciona la deformación longitudinal y la deformación transversal. Para el coeficiente de Poisson relativo a las deformaciones elásticas bajo tensiones normales de utilización, se tomará un valor medio igual a 0,20

- **El coeficiente de expansión térmica.**- este valor se tomara por defecto ya que en nuestro medio no se hace este tipo de ensayo.

- **El modulo de corte (G).**- para la mayoría de los materiales, como los materiales isótopos, guarda una relación fija con el módulo de elasticidad longitudinal y el coeficiente de

Poisson:

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)}$$

El programa ETABS realiza esta relación y nos presenta automáticamente el valor, en este caso de 9,746 E+8

Damos clic en OK para finalizar y regresar a la pantalla inicial

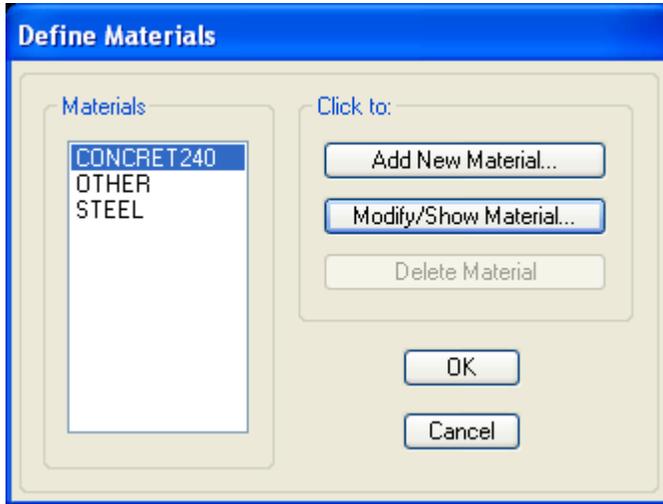
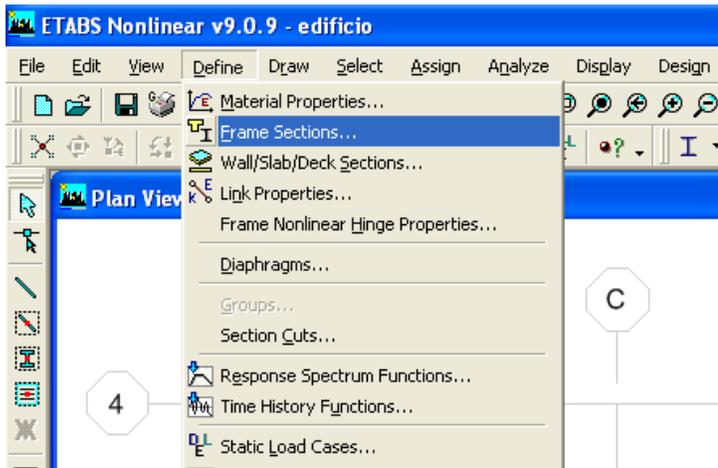


Figura 18 Ventana para finalizar las propiedades del hormigón

#### **6.6.10.2.- SECCIONES PARA COLUMNAS Y VIGAS**

A continuación definiremos las secciones de las columnas y vigas.

Iremos al menú **DEFINE - FRAME SECTION**



Para una mayor facilidad seleccionamos todas las secciones que vienen por defecto y las borramos presionando **DELETE PROPERTY**

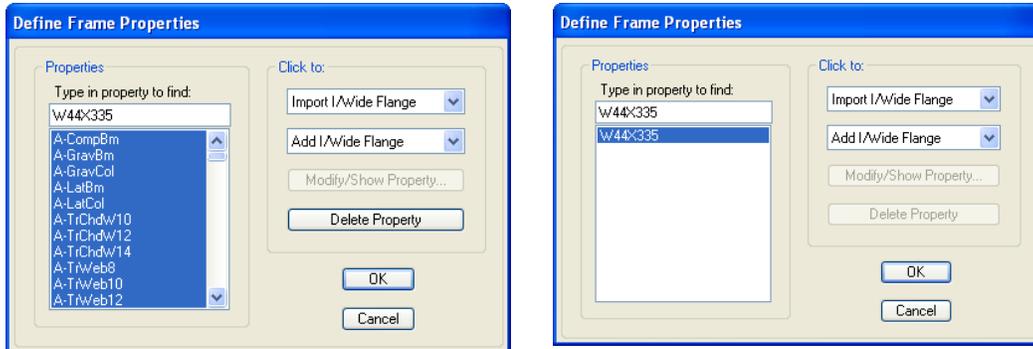


Figura 19 Ventana para ingresar una nueva sección de viga o columna

A continuación agregamos la sección que nosotros necesitamos buscando en la segunda pestaña **ADD RECTANGULAR**

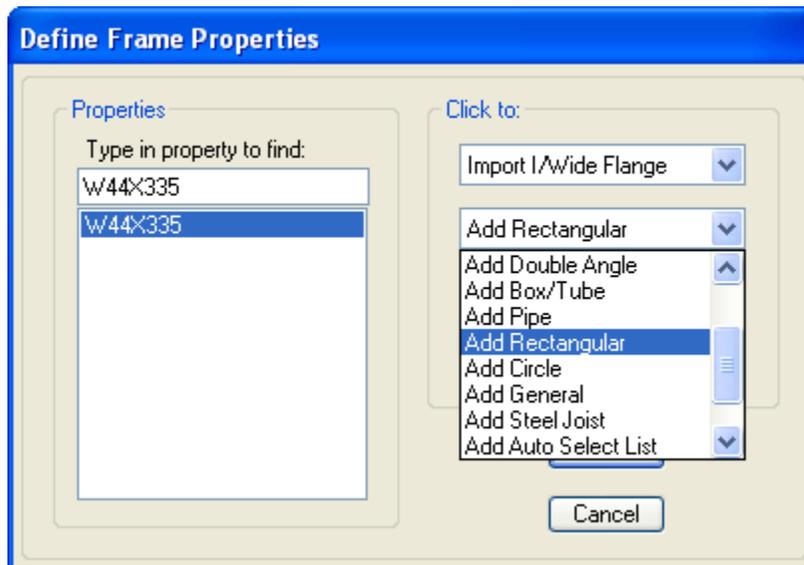


Figura 20 Ventana para seleccionar una sección rectangular

Se abrirá una ventana, en la que pondremos nombre COLUM1; las dimensiones en t2: 0,50 y t3: 0,50; y seleccionamos el material CONCRET240

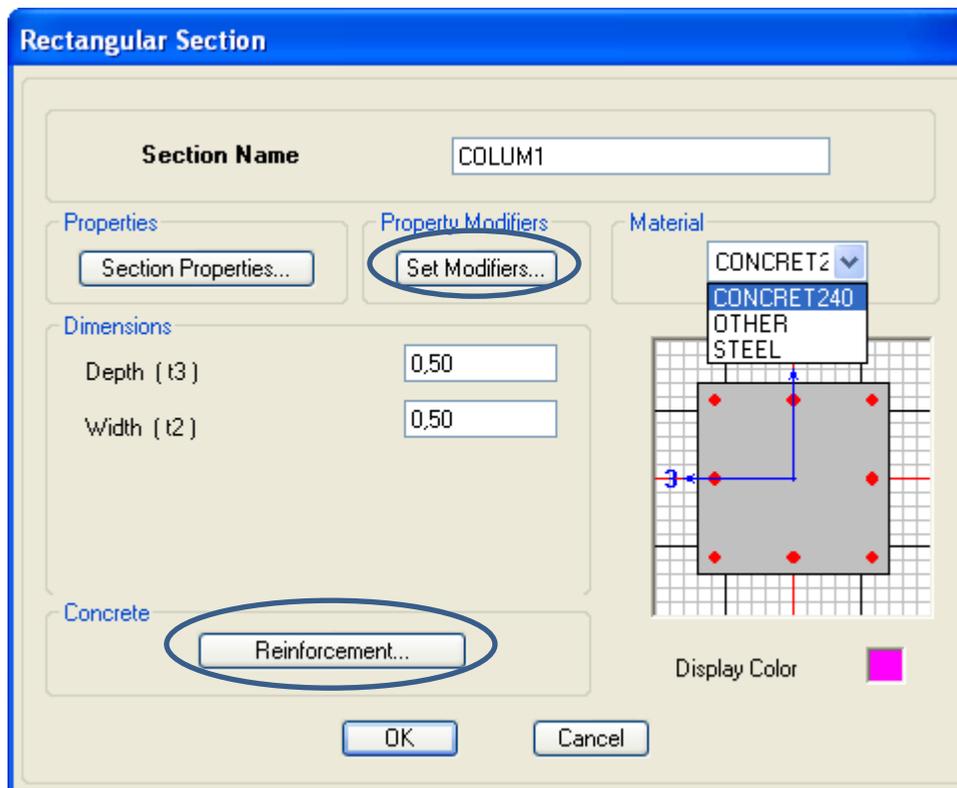
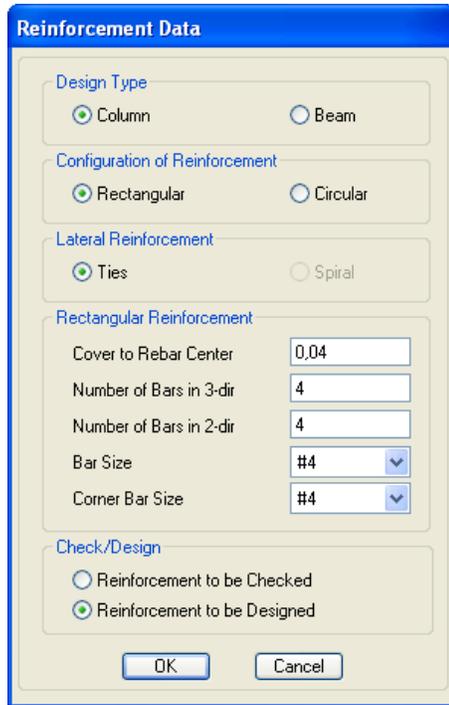


Figura 21 Ventana para ingresar las dimensiones y el material de la columna

En la sección REINFORCEMENT verificamos que:

- 1.- En el área de DESIGN TYPE este seleccionado COLUMN
- 2.- En el área de CONFIGURATION OF este seleccionado RECTANGULAR
- 3.- En el recuadro de COVER TO REBAR CENTER se asignara el recubrimiento en este caso de 4 cm.
- 4.- En el área de CHECK/DESIGN se nos pide indicar si queremos que el programa nos diseñe la sección o que nos revise una configuración, marcaremos DESIGNED para que el programa nos diseñe la sección.



**Figura 22** Ventana para ingresar las características de la columna

- En el recuadro de BAR SIZE y CORNER BAR SIZE seleccionamos el tamaño de las varillas #4 para saber a cuanto equivale en milímetros realizaremos la siguiente equivalencia:

El numero equivale a 1/8 de pulgada a este valor multiplicaremos por 25,4 mm ya que 1 pulgada = 25,4 mm

$$4/8 = 0,5 \text{ pulg.}$$

$$0,5 \times 25,4 = 12,7 \text{ mm.}$$

Presionamos OK y regresamos a la ventana de dialogo anterior

### **INERCIA AGRIETADA**

Se utiliza la inercia agrietada para considerar una reducción de la rigidez de los elementos estructurales, la sección de concreto de un elemento, viga o columna, cuando se somete a flexión se agrieta por su poca capacidad de resistir la tensión; también se considera la inercia agrietada por el proceso constructivo ya que al momento que el hormigón fragua este produce pequeñas grietas o fisuras, por lo tanto el CEC 2000 considera inercia agrietada:

Para Vigas de 0,5 (50 % de inercia bruta),

Para las columnas ya que estas están sometidas a la comprensión tienen menos agrietamiento por lo tanto se considera 0,8 (80 % de inercia bruta)

En el caso de losas se aplica lo del código ACI 318-99 en el capítulo 10.11.1, con el 25%, salvo que sea losa con viguetas o nervios, en donde se aplicaría igual que en las vigas.

A continuación damos clic en el recuadro de **SET MODIFIERS** cambiaremos en el cuadro de MOMENT OF INERTIA ABOUT 2 y 3 AXIS colocando 0,8 (Inercia Agrietada). CEC 2002 sección 6.1.2.1

Presionamos OK y listo.

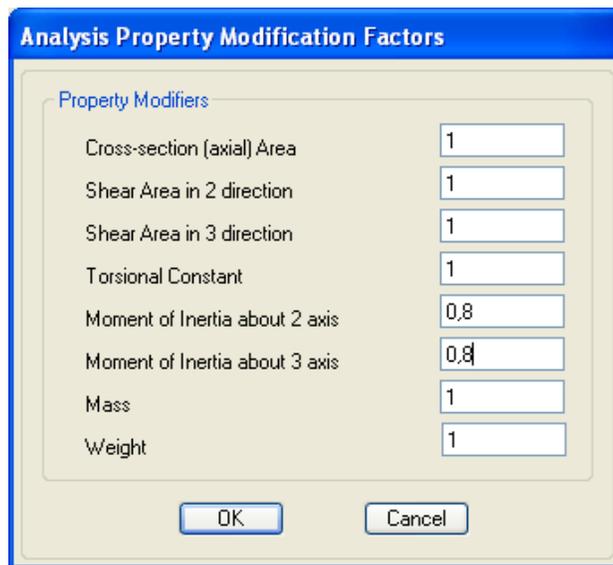


Figura 23 Ventana para ingresar los valores de inercia agrietada en columnas

Para las vigas volvemos a seleccionar **ADD RECTANGULAR** le asignaremos un nombre VIG30x45; en el material seleccionamos CONCRET240; e ingresamos las dimensiones t3: 0,45 t2:0,30

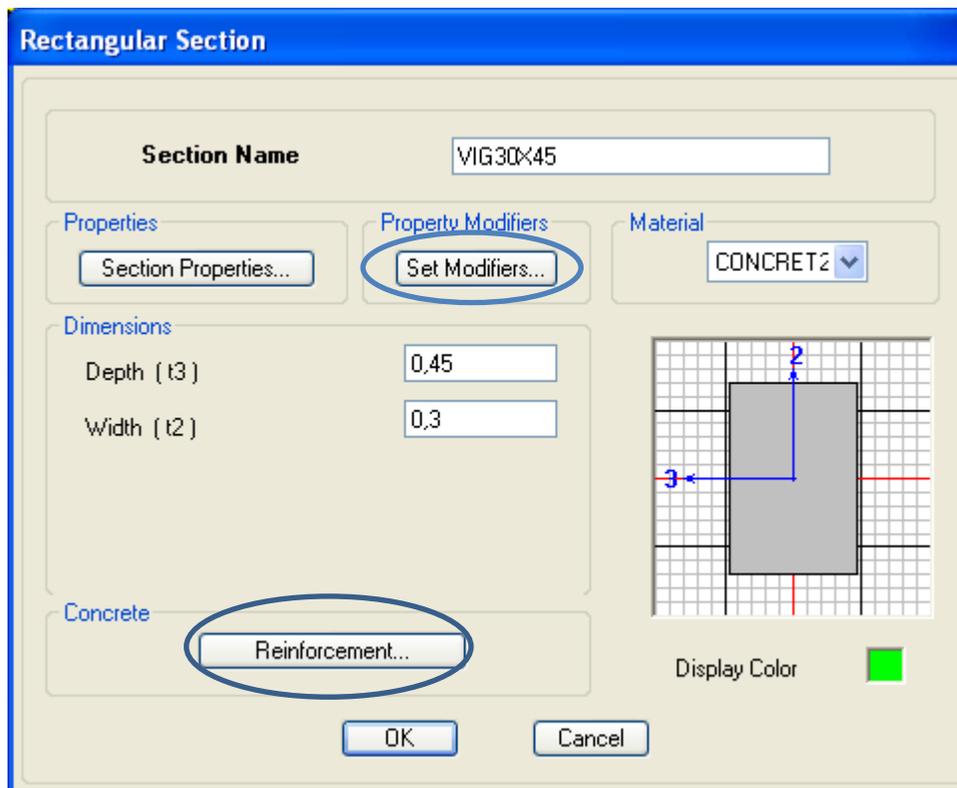


Figura 24 Ventana para ingresar las dimensiones y material de la viga

Damos clic en el cuadro de REINTFORCEMENT y verificaremos que

- 1.- En el área de DESIGN TYPE este marcado BEAM
- 2.- En el área de CONCRETE COVER TO REBAR los recubrimientos estarán de 3 cm.

The 'Reinforcement Data' dialog box is titled 'Reinforcement Data' and contains the following sections:

- Design Type:** Radio buttons for 'Column' and 'Beam'. 'Beam' is selected.
- Concrete Cover to Rebar Center:** Input fields for 'Top' (0.03) and 'Bottom' (0.03).
- Reinforcement Overrides for Ductile Beams:** A table with columns 'Left' and 'Right', and rows 'Top' and 'Bottom'. All values are 0.

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are located at the bottom.

Figura 25 Ventana para ingresar las características de la viga

Presionamos OK y regresamos a la ventana de dialogo anterior

A continuación daremos clic en el recuadro de **SET MODIFIERS** y cambiaremos el MOMENT OF INERTIA ABOUT 2 y 3 AXIS colocando

0,5 (Inercia Agrietada).

CEC 2002 sección 6.1.2.1

The 'Analysis Property Modification Factors' dialog box is titled 'Analysis Property Modification Factors' and contains the following sections:

- Property Modifiers:** A list of property modifiers with corresponding input fields:
 

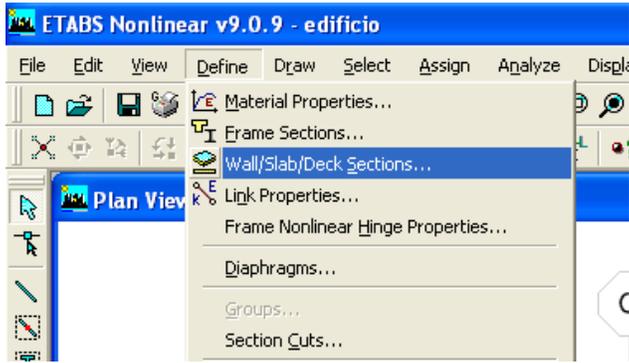
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,5
Moment of Inertia about 3 axis	0,5
Mass	1
Weight	1

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are located at the bottom.

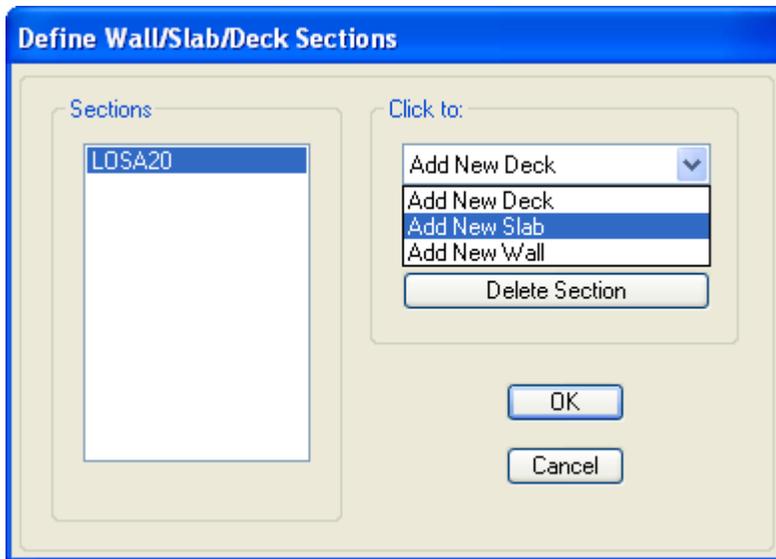
Figura 26 Ventana para ingresar los valores de inercia agrietada de la viga

### **6.6.10.3.- SECCIONES DE LOSA**

Para definir la sección de la losa iremos al menú **DEFINE - WALL/SLAB/DECK SECTION**



En el siguiente cuadro escogeremos de la pestaña ADD NEW SLAB



**Figura 27** Ventana para seleccionar la losa

En el siguiente cuadro llenaremos escogiendo el material ya antes designado CONCRET240 y colocaremos en la sección de MEMBRANE y BENDING el espesor de 0,145 m. que es la equivalencia de una losa alivianada de 20 cm.

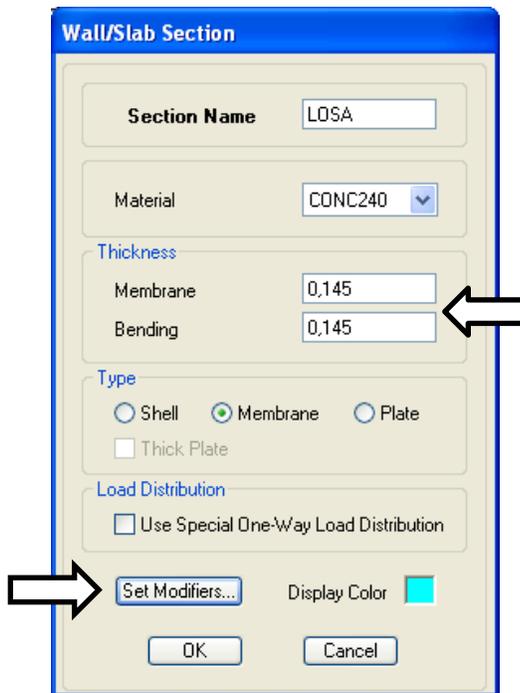


Figura 28 Ventana para ingresar las características de la losa

Presionamos SET MODIFIERS y en el recuadro de MEMBRANE F11 y F22 MODIFIER colocamos 0,5 establecido en el (CEC sección 6.1.2.1)

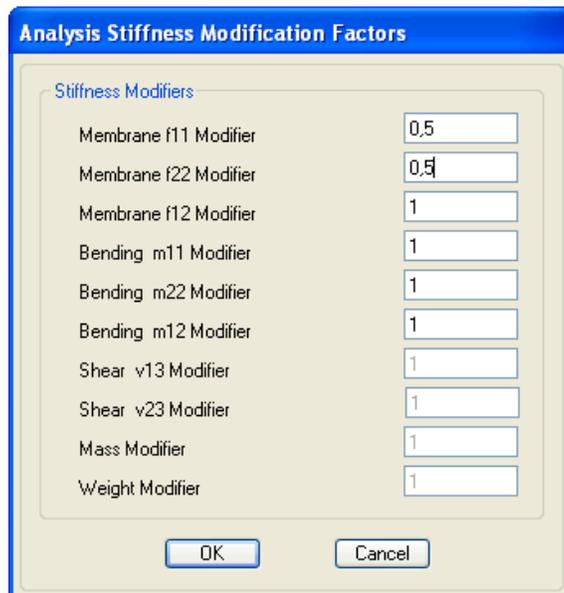


Figura 29 Ventana para ingresar los valores de inercia agrietada de la losa

#### **6.6.10.4.- CASOS PARA CARGAS ESTÁTICAS**

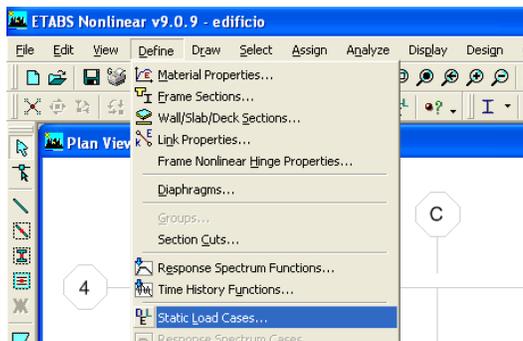
Para definir las cargas del edificio comenzaremos estableciendo que tipos de cargas actuaran en la estructura:

CM: carga muerta estará dada por el peso propio de la estructura

CMP: esta será la carga muerta de pared

CV: esta es la carga viva

Entonces iremos al menú **DEFINE – STATIC LOADS CASES**



A continuación se abra una ventana de dialogo en el que por defecto el programa viene con dos casos de carga DEAD y LIVE a los cuales simplemente los modificaremos:

Escribiremos CM para carga tipo DEAD (muerta) y presionamos MODIFY LOAD,

Para la carga viva escribimos CV para la carga tipo LIVE (viva) y presionaremos MODIFY LOAD;

Para la carga de pared CMP escribiremos en el casillero debajo de LOAD, en el casillero de TYPE escogeremos DEAD y en SELF WEIGHT MULTIPLIER colocaremos 0; a continuación presionaremos ADD NEW LOAD

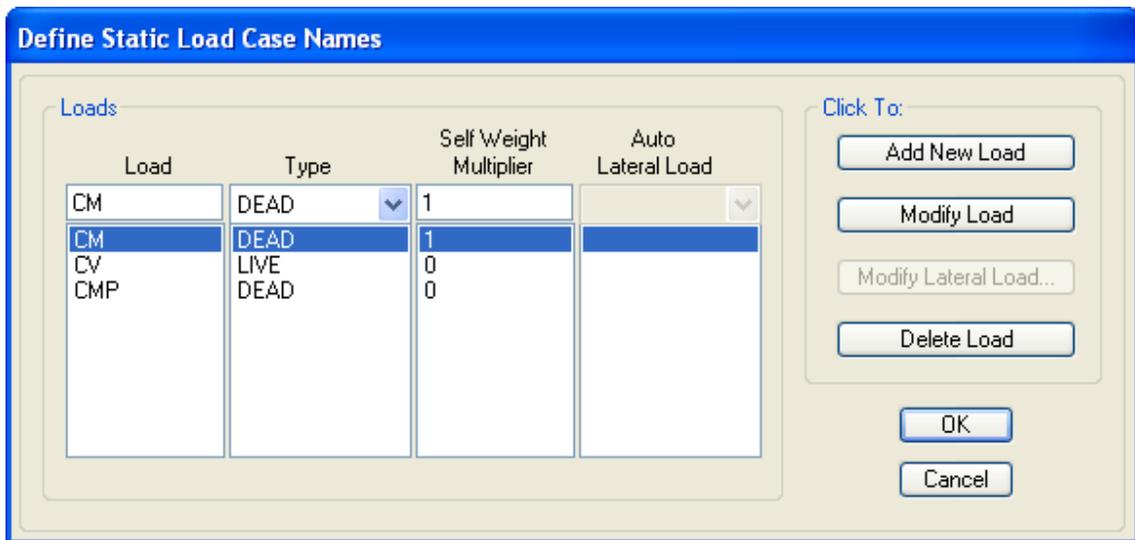


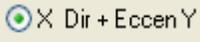
Figura 30 Ventana para ingresar los casos de carga

Para los casos de sismos pondremos el nombre de SISMOXPOS en el area de LOAD, en el tipo (TYPE) escogemos QUAKE; al activar la opcion QUAKE se nos activara la otra pestaña de AUTO LATERAL LOAD en la que escogeremos USER COEFFICIENT

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
SISMOXPOS	QUAKE	0	User Coefficient

Al escoger USER COEFFICIENT se nos activara un boton que es MODIFY LATERAL LOAD en el que daremos clic.

Se nos abrirá una ventana en la que llenaremos de la siguiente forma:

En el cuadro "USER DEFINED SEISMIC LOADING", Elegimos  Dir + Eccen Y  
 En la sección "DIRECTION AND ECCENTRICITY"; en "ECC. RATIO (ALL DIAPH.) verificamos que el valor sea 0.05 (5%) para el cálculo de la excentricidad, esto se hará para tomar en cuenta los efectos torsores que producirá el sismo

En la sección "FACTORS", en "BASE SHEAR COEFICIENT, C" ingresamos el valor pico de la aceleración obtenida en el espectro inelástico, que para nuestro caso es 0.138g.

El valor de "BUILD HEIGHT EXP. K" lo dejamos en uno ya que la distribución de las fuerzas sísmicas tendrá una variación lineal.

Hacemos clic en OK y habremos editado el primero de los casos sísmicos para el análisis estático.

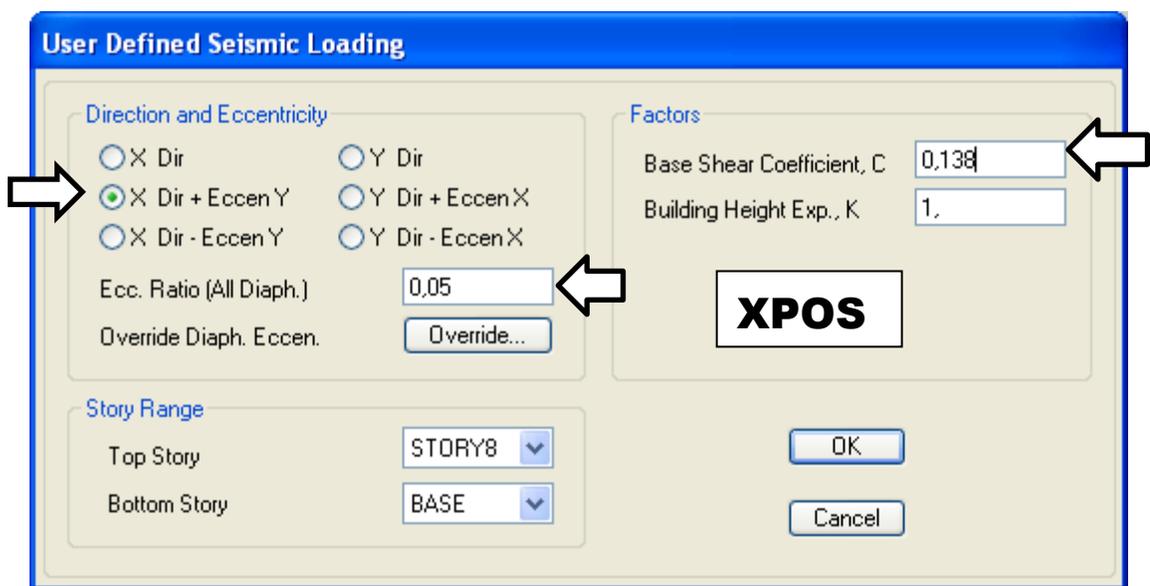


Figura 31 Ventana para definir las propiedades de la carga sísmica

Los tres casos restantes se realizan de la misma manera, se debe de tener en cuenta la dirección y la excentricidad para cada caso y el valor en "BASE SHEAR COEFICIENT, C" de 0.138g. Los otros tres casos para el análisis estático por fuerzas equivalentes quedarían de la siguiente manera:

**User Defined Seismic Loading**

**Direction and Eccentricity**

X Dir       Y Dir  
 X Dir + Eccen Y       Y Dir + Eccen X  
 X Dir - Eccen Y       Y Dir - Eccen X

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

**Factors**

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

**XNEG**

**Story Range**

Top Story

Bottom Story

**User Defined Seismic Loading**

**Direction and Eccentricity**

X Dir       Y Dir  
 X Dir + Eccen Y       Y Dir + Eccen X  
 X Dir - Eccen Y       Y Dir - Eccen X

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

**Factors**

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

**YPOS**

**Story Range**

Top Story

Bottom Story

**User Defined Seismic Loading**

**Direction and Eccentricity**

X Dir       Y Dir  
 X Dir + Eccen Y       Y Dir + Eccen X  
 X Dir - Eccen Y       Y Dir - Eccen X

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

**Factors**

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

**YNEG**

**Story Range**

Top Story

Bottom Story

Para concluir finalizaremos presionando OK

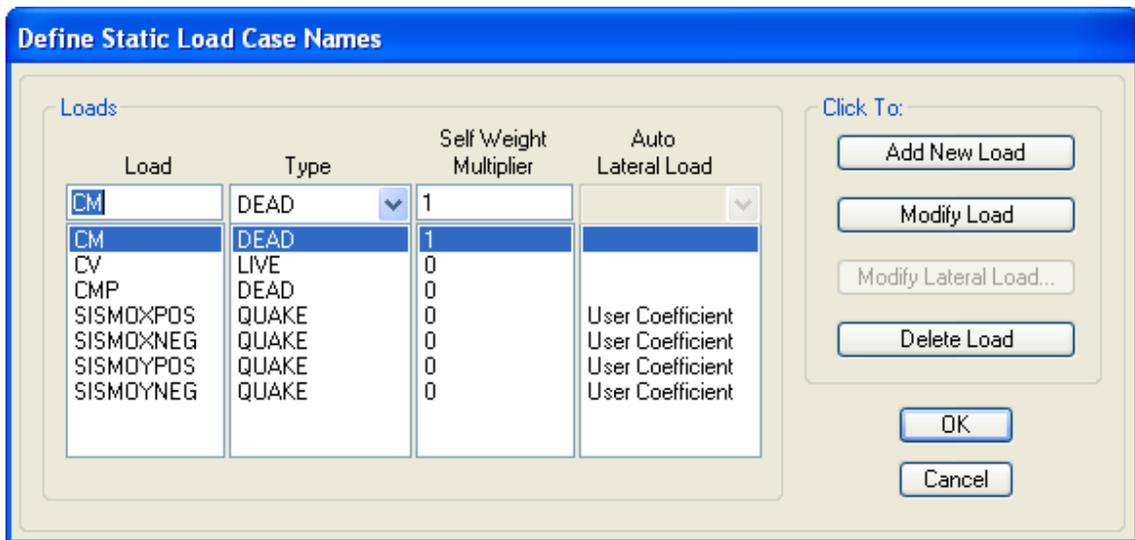
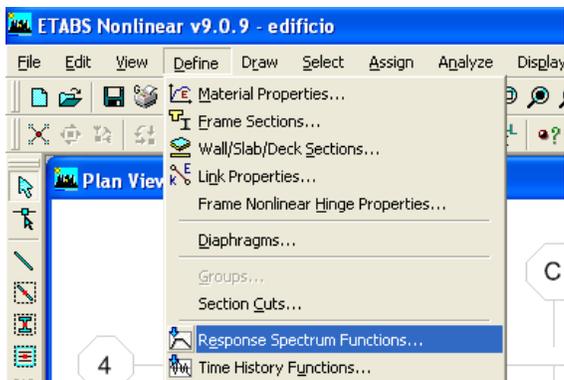


Figura 32 Ventana con 7 casos de carga

#### 6.6.10.5.- ESPECTRO DE RESPUESTA INELÁSTICO

Para ingresar el espectro de respuesta inelástico en el programa tomaremos los datos previamente obtenidos (periodo vs aceleración) Tabla 7, estos valores se guardaran en un archivo de extensión .txt que facilitaran que el programa lea los valores del espectro.

A continuación ingresaremos al menú DEFINE - RESPONSE SPECTRUM FUNCTIONS



Se nos desplegara el siguiente cuadro de dialogo en el que presionaremos en ADD SPECTRUM FROM FILE

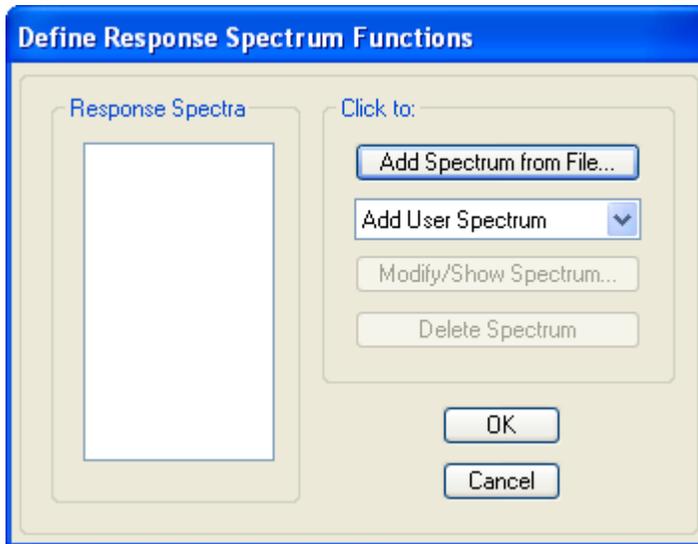


Figura 33 Ventana para ingresar el espectro inelástico

En la siguiente ventana de dialogo ingresaremos los valores de la siguiente forma:

- 1.- presionamos el cuadro de BROWSE en donde ubicaremos el archivo en el que hemos guardado el espectro inelástico con terminación .txt al encontrarlo presionamos abrir
- 2.- luego en la sección VALUES ARE seleccionamos PERIOD vs VALUE
- 3.- a continuación presionamos el botón de DISPLAY GRAPH
- 4.- damos un nombre a nuestro espectro inelástico
- 5.- presionamos OK para finalizar la creación del espectro inelástico

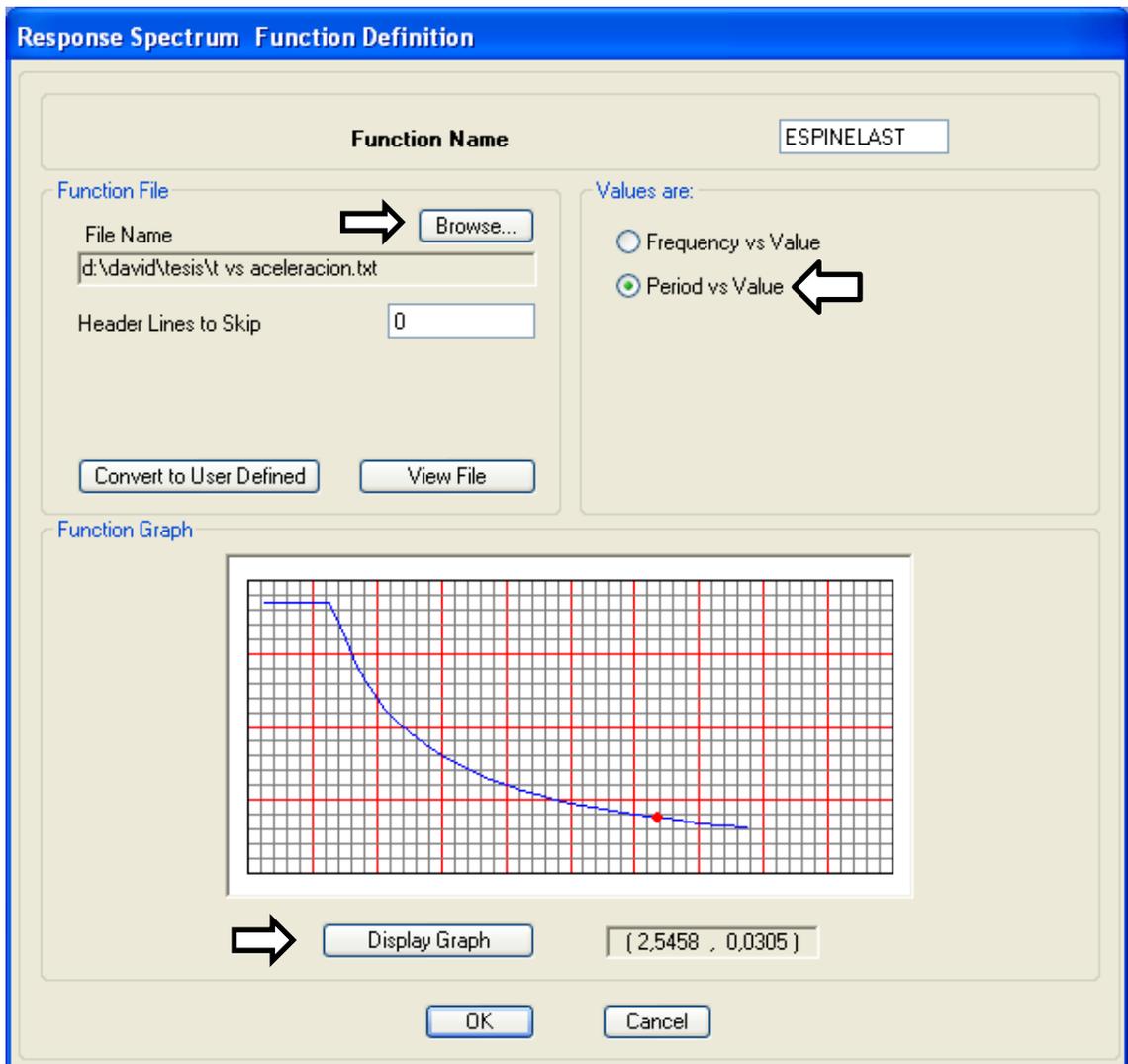
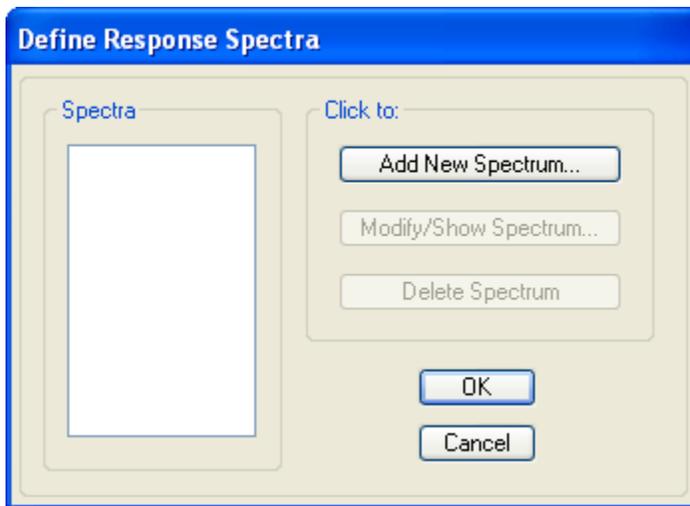


Figura 34 Ventana para crear el espectro inelástico

#### **6.6.10.6.- CASO PARA ANÁLISIS DINÁMICO POR CARGAS DE SISMO - MÉTODO DEL ESPECTRO DE DISEÑO**

El espectro que se definió en el paso anterior nos sirve para generar unos casos de cargas para un análisis dinámico. Desde el menú "DEFINE - RESPONSE SPECTRUM CASES" generamos dos casos para cada una de las direcciones, a diferencia del caso para cargas por fuerzas equivalentes, el programa realiza la conversión de la excentricidad sin la necesidad de indicar el signo.



Una vez que estamos en el cuadro "DEFINE RESPONSE SPECTRA", en la sección "CLICK TO", hacemos clic en, ADD NEW SPECTRUM

**Figura 35 Ventana para agregar un caso de carga para análisis dinámico**

El primer caso que crearemos será para la dirección "X".

- 1.- En la sección "INPUT RESPONSE SPECTRA", en "DIRECTION" "U1" seleccionamos como función el espectro que creamos.
- 2.- En "SCALE FACTOR" ingresamos el valor de la gravedad, ya que nuestro espectro tiene valores adimensionales, por lo que se debe introducir el valor de 9.81 m/s<sup>2</sup>; si nuestros valores del espectro inelástico ya estarían multiplicados por la gravedad el valor sería "uno".
- 3.- En la dirección UZ se trabajara para cuando se tenga voladizos y se trabajara con un factor de 2/3 del factor utilizado en U1

4.- El valor en "ECC. RATIO (ALL DIAPH.)" ingresamos 0.05 que seria el 5% del amortiguamiento respecto al critico (según norma CEC sección 3.1.8).

Hacemos clic en OK y habremos definido el caso para un análisis dinámico en la dirección "X".

El mismo procedimiento se realiza para la dirección "Y", escogiendo esta vez en "DIRECTION" el espectro en "U2".

El método CQC, Combinación Cuadrática Completa, método descrito por Wilson, Der Kiureghian, y Bayo. (1981).

El método GMC, Combinación Modal General, método descrito por Gupta (1990).

El método SRSS, Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados.

El método de La suma de valores absolutos, ABS

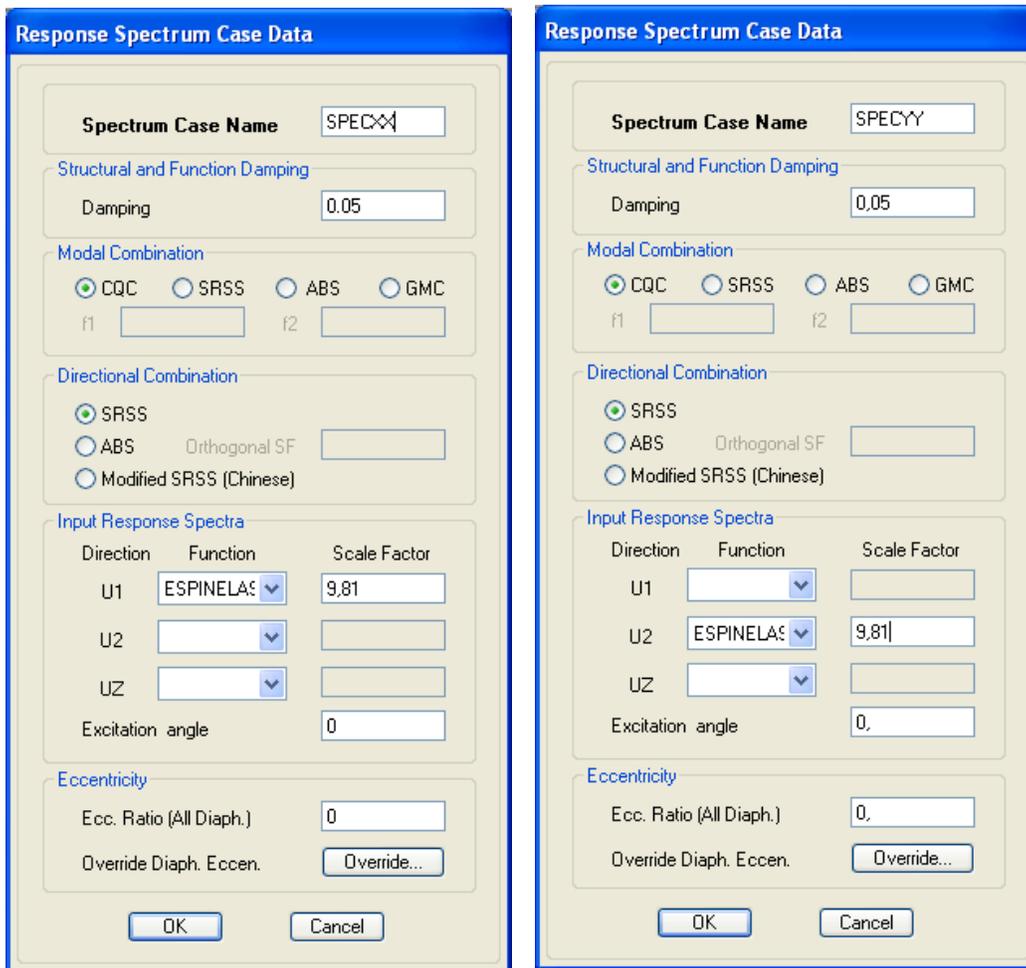


Figura 36 Ventana para ingresar los valores de la carga para análisis dinámico

#### **6.6.10.7.- CÁLCULO DE LA MASA PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO POR CARGAS DE SISMO**

El Etabs hace el cálculo de los distintos casos de carga, pero según las normas de Diseño Sísmico, se toman los casos de carga con porcentajes de participación (CEC en la tabla 6.1 de reducción de carga).

Para este caso se tomara el 100% para carga muerta y el 25% para la carga viva especificado en el CEC 2000 sección 6.1.1.

Para ingresar estos porcentajes iremos al menú DEFINE - MASS SOURCE

En el cuadro de diálogo "DEFINE MASS SOURCE", se tienen tres formas para definir la masa a ser calculada las que describiremos a continuación:

1.- "FROM SELF AND SPECIFIED MASS", el programa calcula la masa sólo teniendo en cuenta la propiedad "MASS PER UNIT VOLUME" del tipo de material y masas adicionales que se hayan introducido al modelo, no permite combinaciones de tipos distintos de carga.

2.- "FROM LOADS", el programa para el cálculo de la masa toma en cuenta la propiedad WEIGHT del material, se permite el uso de combinaciones según el tipo de carga.

3.- "FROM SELF AND SPECIFIED MASS AND LOADS", es una combinación de los 2 tipos anteriores, no olvidemos que muchas veces se introducen masas al sistema que en la segunda opción no se tendrían en cuenta, y cargas aplicadas directamente que no se tomaría en cuenta la primera opción.

Nosotros ocuparemos la segunda opción, y agregaremos las respectivas cargas con sus porcentajes.

Damos clic en OK y terminaremos con la definición de masas del sistema

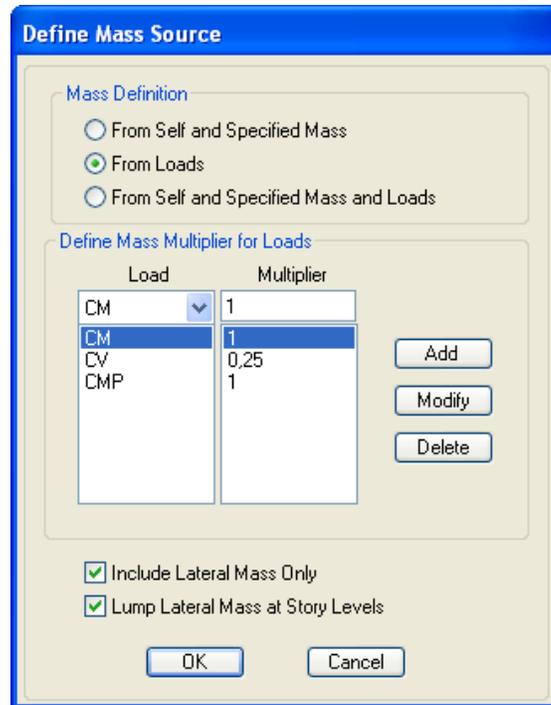


Figura 37 Ventana para la definición de masas del sistema

#### **6.6.10.8.- NO INCLUIR EFECTOS DE CARGA SÍSMICA ESPECIALES**

Ingresaremos al menú DEFINE - SPECIAL SEISMIC LOAD EFFECTS

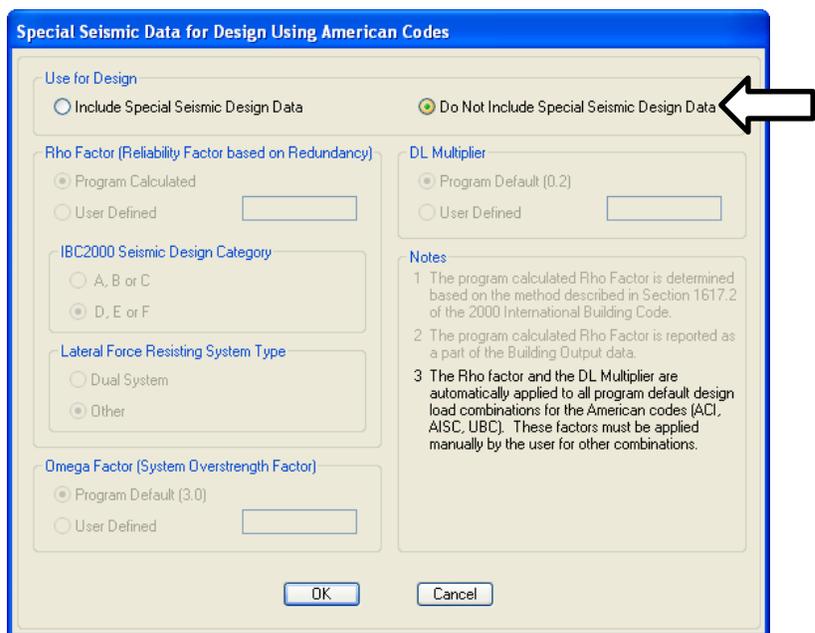
En este cuadro hay que definir cinco asuntos:

- 1) Rho factor,
- 2) IBC2000 Seismic Design category,
- 3) lateral force resisting system type,
- 4) Omega factor,
- 5) DL multiplier.

Estos efectos de carga sísmica están dados por Códigos Americanos así que para evitar mayoraciones no los incluiremos en nuestra modelación.

En el área de USE FOR DESIGN seleccionaremos la opción DO NOT INCLUDE SPECIAL SEISMIC..

Y presionamos OK para finalizar



**Figura 38** Ventana para excluir los efectos de carga sísmica especiales

#### 6.6.10.9.- ASIGNACIÓN DE LAS COMBINACIONES DE CARGA

Vamos al menú DEFINE y escogemos LOAD COMBINATION y presionamos ADD NEW COMBO y designamos las siguientes combinaciones de cargas dadas por el ACI 318 en el apéndice C

$$U1 = 1,4CM + 1,4CMP + 1,7CV$$

$$U2 = 1,05CM + 1,05CMP + 1,28CV + 1,4SISMXPOS$$

$$U3 = 1,05CM + 1,05CMP + 1,28CV + 1,4SISMXNEG$$

$$U4 = 1,05CM + 1,05CMP + 1,28CV + 1,4SISMYPOS$$

$$U5 = 1,05CM + 1,05CMP + 1,28CV + 1,4SISMYNEG$$

$$U6 = 0,9CM + 0,9CMP + 1,43SISMXPOS$$

$$U7 = 0,9CM + 0,9CMP + 1,43SISMXNEG$$

$$U8 = 0,9CM + 0,9CMP + 1,43SISMYPOS$$

$$U9 = 0,9CM + 0,9CMP + 1,43SISMYNEG$$

$$U10 = 1SISMXPOS + 1SISMXNEG + 1SISMYPOS + 1SISMYNEG$$

$$U11 = 0,9CM + 0,9CMP + 1ESPECXX$$

$$U12 = 0,9CM + 0,9CMP + 1ESPECYY$$

$$U13 = 1,2CM + 1,2CMP + 1CV + 1ESPECXX$$

$$U14 = 1,2CM + 1,2CMP + 1CV + 1ESPECYY$$

A la combinación U10 se le asignara en el programa en el cuadro de LOAD COMBINATION TYPE seleccionamos **SRSS** que corresponde a una combinación cuadrática (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados). CEC 2002 sección 6.11.6.1.

Por ultimo se agregara una envolvente que es la combinación de todas las combinaciones en el cuadro de LOAD COMBINATION TYPE seleccionamos **ENVE** y escogemos todas las combinaciones

ENV = U1 + U3 + U4 + U5 + U6 + U7 + U8 + U9 + U10 + U11 + U12 + U13 + U14

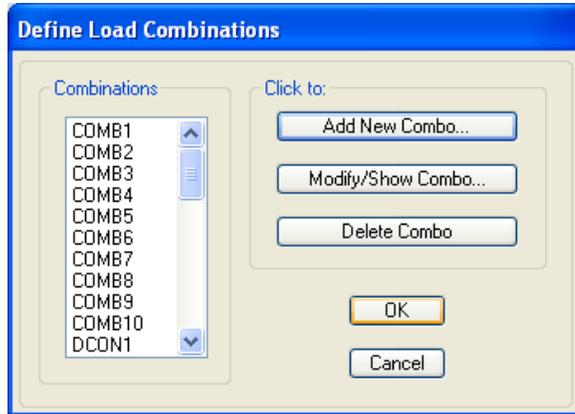
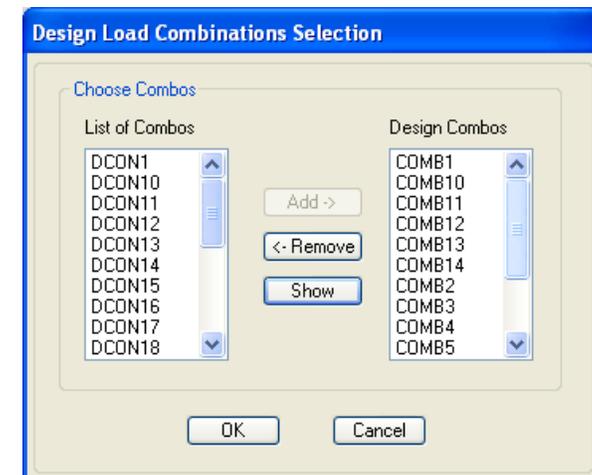


Figura 39 Ventana para ingresar las combinaciones de carga

Para asignar las combinaciones al programa vamos al menú DESIGN - CONCRETE FRAME DESIGN - SELEC DESIGN COMBOS y



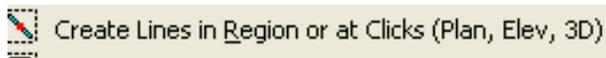
removemos las combinaciones hechas por el programa y agregamos las hechas por el usuario presionamos OK y listo

Figura 40 Ventana para designar las combinaciones al programa

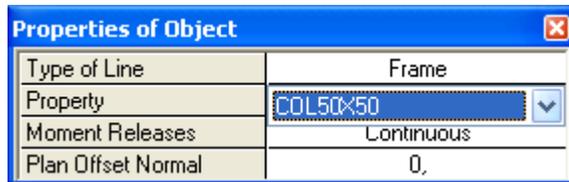
#### **6.6.10.10.- DIBUJO DEL MODELO**

Para el proceso de dibujar, no desarrollaremos el dibujo del modelo paso a paso, ya que cada usuario del programa tiene sus propios criterios para dibujar cada uno de los elementos, por tanto no se quiere que se tenga una metodología o forma estándar para el dibujo, así que simplemente daremos ciertos parámetros para el dibujo.

#### **PARA DIBUJAR COLUMNAS Y VIGAS**



Con esta herramienta podemos dibujar haciendo clic en la grilla de una manera automática, también con este comando podemos dibujar seleccionando una región, se puede utilizar en vista en planta, elevación y 3D



**Figura 41 Cuadro de dialogo para dibujar columnas o vigas**

Al hacer clic en el comando descrito anteriormente se nos desplegara un cuadro en el que simplemente escogeremos que es lo que queremos dibujar ya sea las columnas o las vigas

Al terminar de dibujar nos quedara así

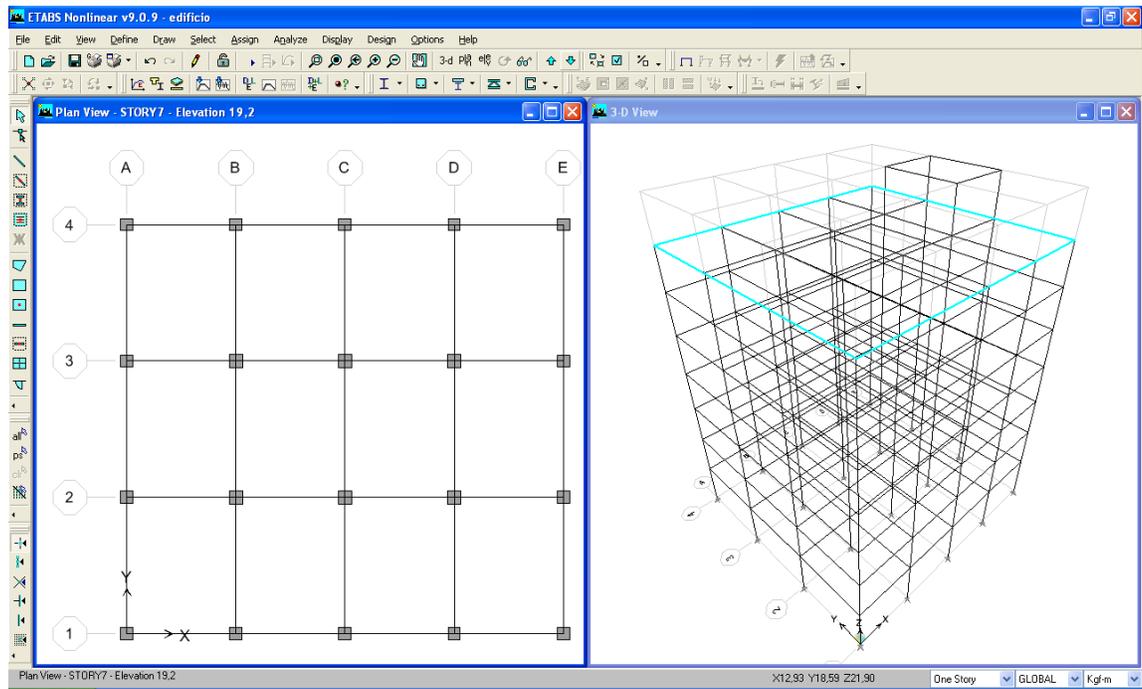


Figura 42 Dibujo de vigas y columnas

## DIBUJO DE LA LOSA

 Create Areas at Click (Plan, Elev)

Este comando nos ayudara para dibujar la losa, esta solo se activara cuando este en vista en planta, al hacer clic en algún lugar interno de la grilla nos dibujar un objeto cuyos limites serán las intersecciones de la grilla

Así mismo al activar este comando nos aparecerá un cuadro en el que escogeremos la losa y dibujaremos



Figura 43 Cuadro de dialogo para dibujar la losa

Para poder observar la losa ingresamos al menú VIEW - SET BUILDING VIEW OPTIONS y activaremos la opción OBJECT FILL

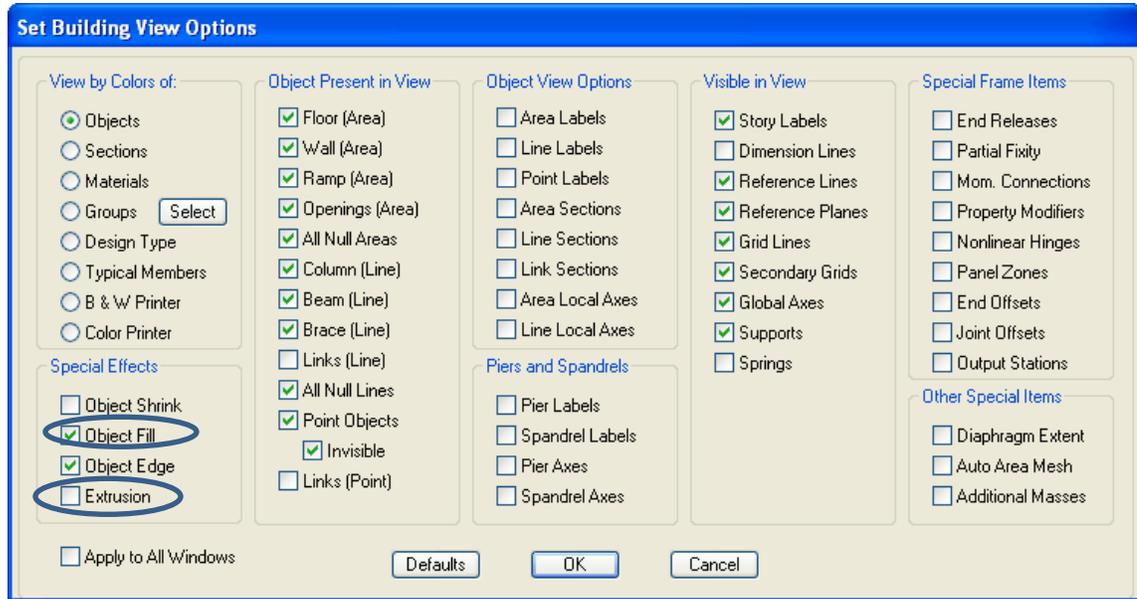


Figura 44 Ventana para activar opciones de vista

También si presionamos en el área que esta en 3D podemos activar a más de OBJECT FILL activaremos también EXTRUSION para tener una mejor visualización de la estructura

A continuación procederemos a dibujar todas las losas de nuestra estructura y nos quedara de esta forma

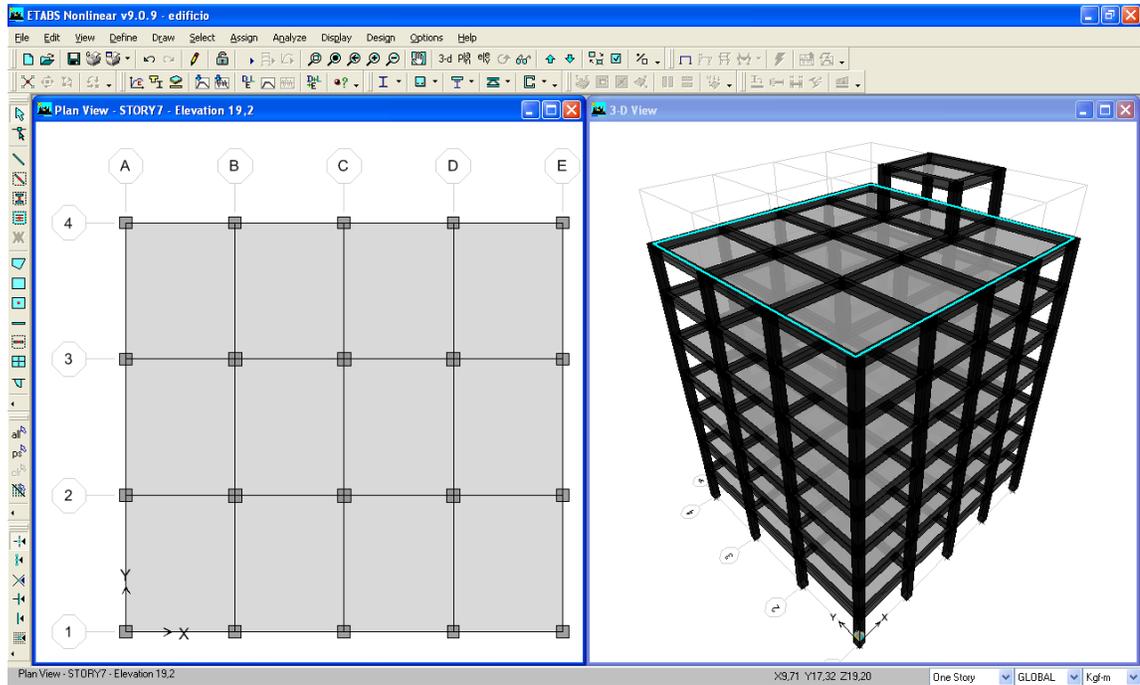


Figura 45 Dibujo de Losas

#### 6.6.10.11.- ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES

Al dibujar las columnas, se aprecia que en el nivel  $Z=0$ , el programa automáticamente dibuja apoyos en las bases, pero es necesario hacer el cambio a estos apoyos. Los apoyos en la base son comúnmente modelados como apoyos empotrados.

Para cambiar el tipo de apoyos se tiene que trabajar con los puntos de apoyo que tienen los elementos verticales en la base. Se seleccionan todos los puntos y por medio del menú "ASSIGN - JOINT POINT - RESTRAINTS SUPORTS" asignamos el tipo

de soporte que se desea.



En el cuadro "ASSINGS RESTRAINTS" podemos seleccionar si queremos realizar restricciones al desplazamiento o al giro de los apoyos.

Como se quieren modelar apoyos con hipótesis de empotramiento perfecto, simplemente seleccionamos las seis restricciones.



Figura 46 Ventana para asignar las Restricciones de los apoyos

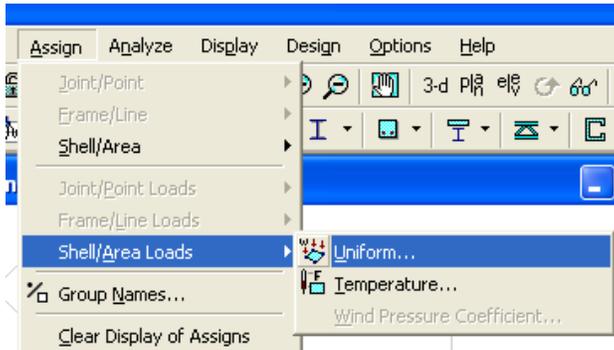
#### **6.6.10.12.- ASIGNACIÓN DE CARGAS**

En este modelo sólo se presentan cargas distribuidas aplicadas a las losas de entrepisos. El resumen de las cargas es el que se indica en la tabla siguiente:

NIVEL	CMP (Kg/m <sup>2</sup> )	CV (Kg/m <sup>2</sup> )
Tapa Grada	0	80
Terraza	100	80
Nivel 6	250	120
Nivel 5	250	120
Nivel 4	250	120
Nivel 3	250	120
Nivel 2	250	120
Nivel 1	250	120

Tabla 10 Resumen de cargas

Para ingresar las cargas de forma uniforme sobre la losa, en este caso del nivel 1 seleccionamos las losas de dicho nivel y luego ingresaremos al menú ASSIGN - SHELL/AREA LOADS - UNIFORM



A continuación se nos desplegará un cuadro en el que trabajaremos de la siguiente forma, escogemos en el LOAD CASES la carga muerta de pared CMP en la en la sección de LOAD escribiremos el valor de la carga en este caso 250 y revisamos que este en DIRECTION aplicado GRAVITY, y presionamos OK y habrá ingresado la carga de pared.

Así iremos ingresando en todos los pisos y haremos lo mismo para la carga viva.

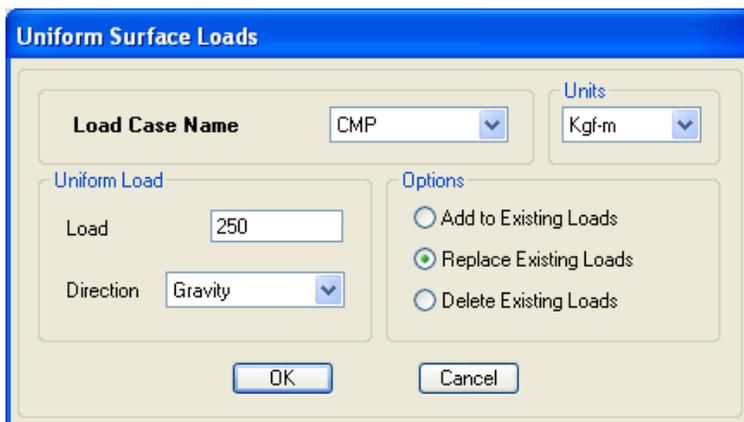


Figura 47 Ventana para ingresar el valor de carga muerta

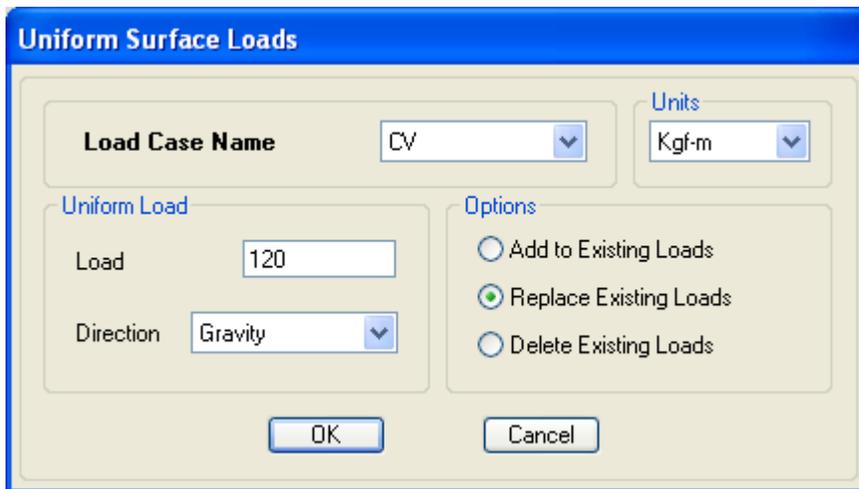


Figura 48 Ventana para ingresar el valor de carga viva

Haciendo clic derecho en una losa veremos las propiedades de la losa y en LOADS veremos las cargas que están actuando en la losa

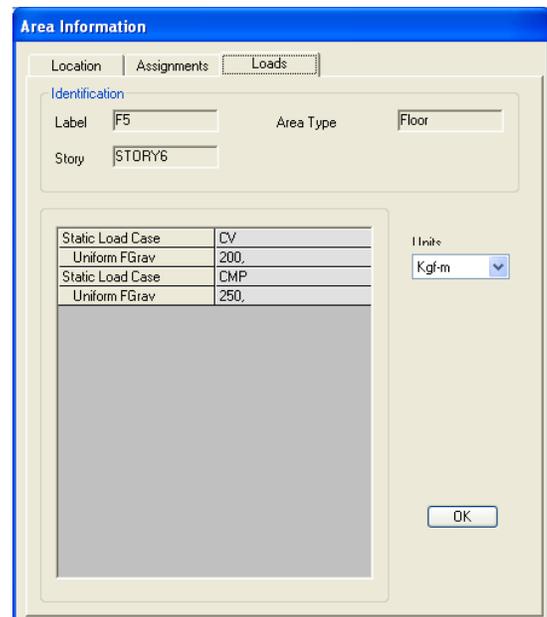
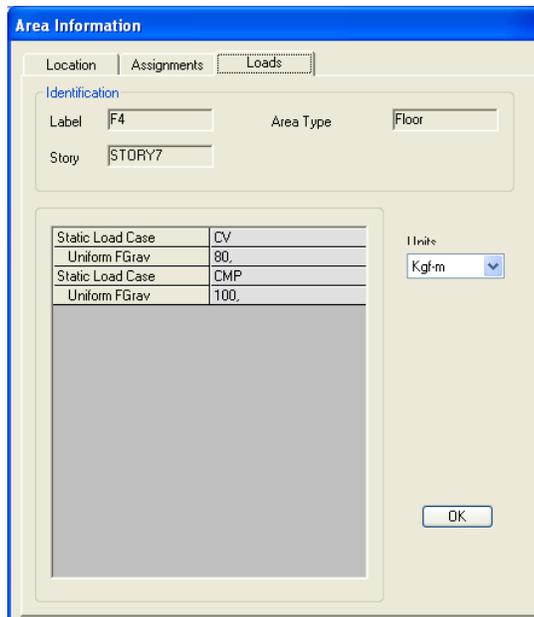
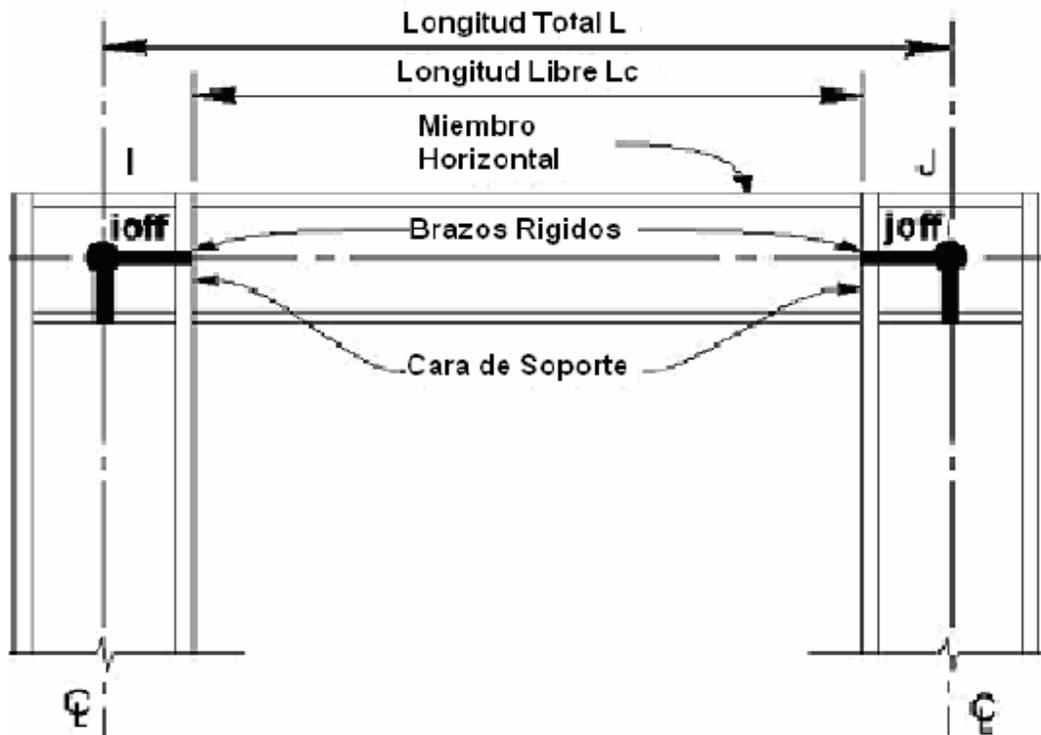


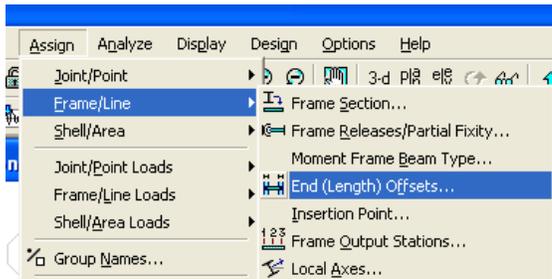
Figura 49 Ventana para ver las características de la losa

### 6.6.10.13.- ASIGNACIÓN DE BRAZOS RÍGIDOS

El programa puede calcular los brazos rígidos de la conectividad entre las propiedades de los elementos en el modelo. Se puede especificar factores de zona rígida en los elementos. Este es un factor utilizado para definir el porcentaje de la zona especificada a ser tratada como totalmente rígida por ejemplo 1 significara q es completamente rígido y si es cero no se aplicara brazos rígido será nulo. Las características de los brazos rígidos utilizados se pueden apreciar en la figura a continuación.



Seleccionamos toda la estructura ya sea marcando todo o por el comando que se encuentra en la parte izquierda llamada ALL, después iremos al menú ASSIGN - FRAME/LINE - END (LENGTH) OFFSETS



En el cuadro que aparece seleccionaremos AUTOMATIC FROM CONNECTIVITY y en el recuadro de RIGID-ZONE FACTOR colocaremos 0,5 especificando un valor de rigidez medio es decir semi-rigido y presionamos OK

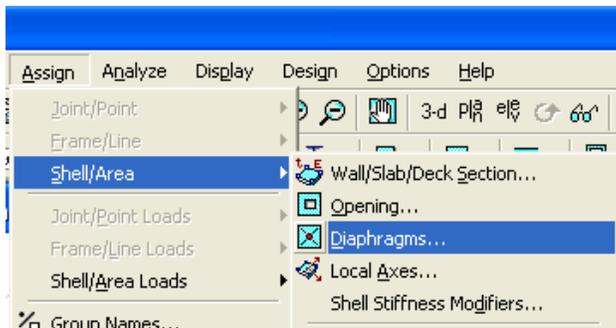


Figura 50 Ventana para asignar brazos rígidos

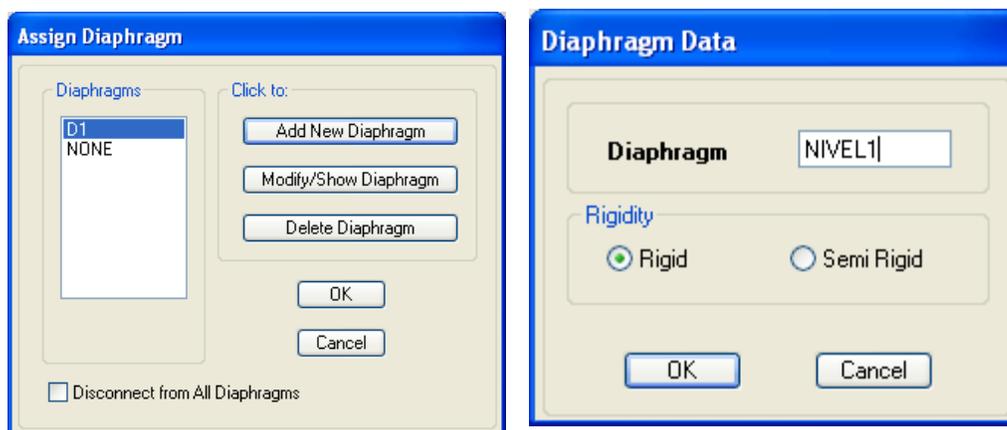
#### **6.6.10.14.- ASIGNACIÓN DE DIAFRAGMAS RÍGIDOS**

El modelo por cargas concentradas en los entrepisos nos permite calcular con hipótesis que todos los puntos en un nivel dado tengan los mismos desplazamientos. Entonces debemos de asignar diafragmas rígidos al modelo. El Etabs permite asignar diafragmas rígidos a los puntos del entrepiso o a las losas.

Seleccionamos las losas del piso y vamos al menú ASSIGN - SHELL/AREA - DIAPHRAGMS



A continuación se nos presenta un cuadro en el que presionamos ADD NEW DIAPHRAGM y damos un nombre a nuestro diafragma y presionamos OK



**Figura 51** Ventana para agregar un nuevo diafragma

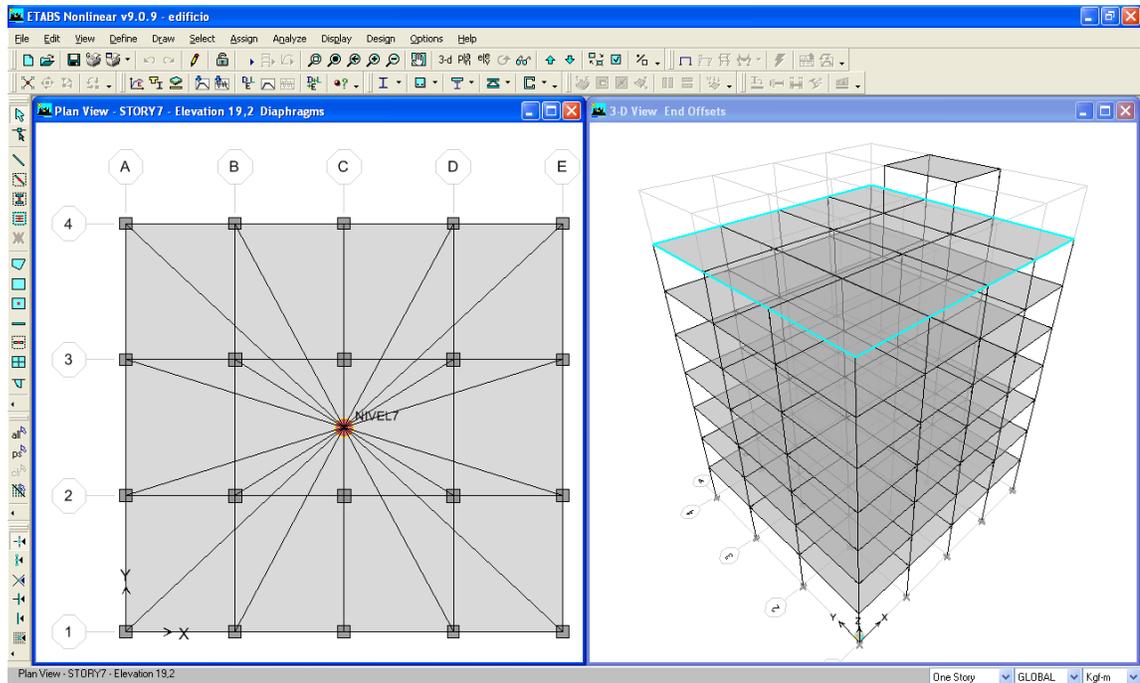


Figura 52 Ventana para ver los diafragmas de cada piso

#### **6.6.10.15.- MALLA DE ELEMENTOS FINITOS**

El método de los elementos finitos, es un método aproximado para el análisis estructural, a menores dimensiones de los elementos es mejor la precisión. No se puede recomendar la dimensión de estos elementos, ya que el proceso de ir dividiendo en elementos más pequeños sobrecarga la computadora y toma más tiempo de ejecución. En este caso tomaremos la medida de un metro pero esto no quiere decir que esta medida es la mejor aproximación para el análisis.

Asignaremos la malla de los elementos finitos, seleccionamos todas las losas entonces iremos al menú ASSIGN - SHELL/AREA - AREA OBJECT MESH OPTIONS

En el cuadro a continuación en el área de FLOOR MESHING OPTION seleccionamos la opción AUTO MESH OBJECT, ahí se nos activara los cuadros de abajo en los que activaremos todas las

opciones, en FURTHER SUBDIVIDE AUTO MESH colocaremos 1 (un metro)

Si tuviéramos muros o rampas activaríamos la opción SUBDIVIDE OBJECT INTO ELEMENTS y colocaríamos igualmente 1

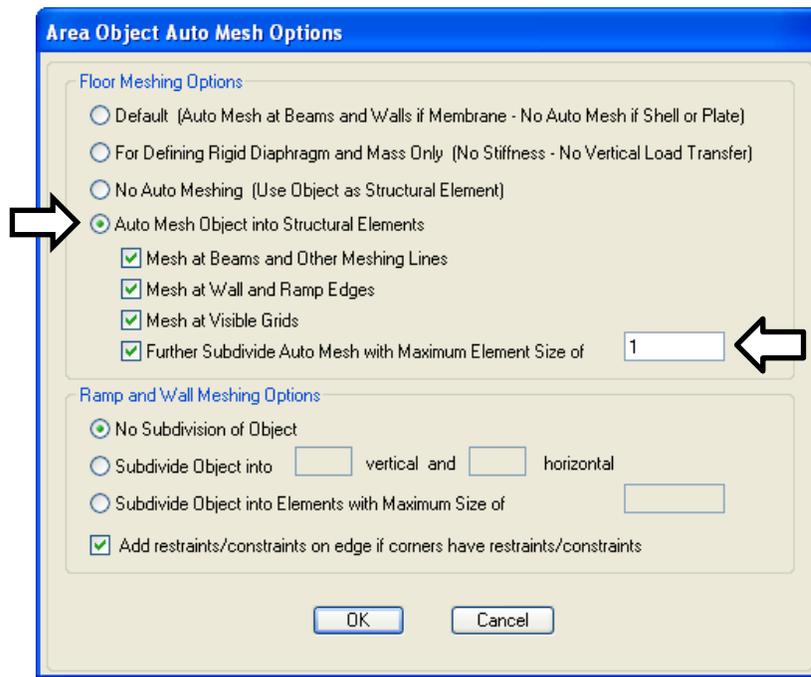
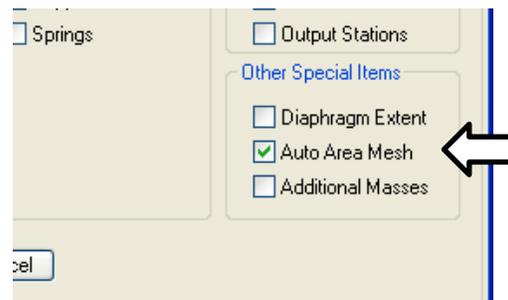


Figura 53 Ventana para agregar la malla de elementos finitos

Presionamos OK y listo

Para ver la malla nos vamos a la opción  en el menú VIEW - SET BUILDING VIEW OPTIONS y escogemos en el área de OTHER SPECIAL ITEMS seleccionamos AUTO AREA MESH



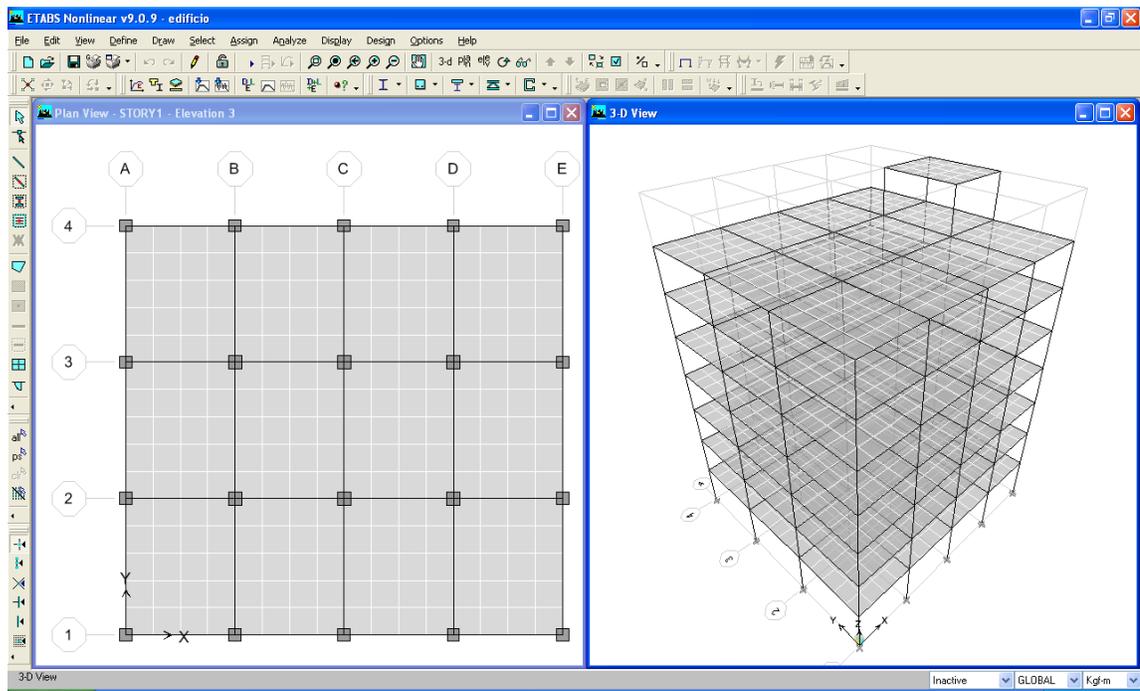
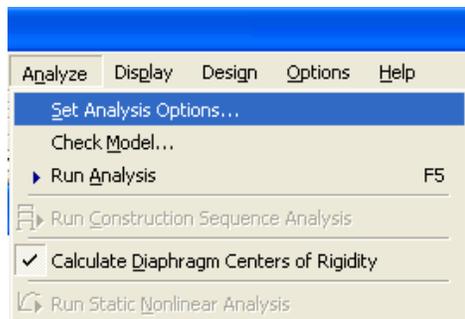


Figura 54 Ventana para ver la malla de elementos finitos

#### 6.6.10.16.- CONFIGURACIÓN DE LAS OPCIONES DE ANÁLISIS

Vamos al menú ANALYZE – SET ANALYSIS OPTIONS



En el cuadro seleccionamos la opción FULL 3D, y verificamos que este seleccionado DINAMYC ANALYSIS, hacemos clic en el cuadro de SET DYNAMIC PARAMETERS

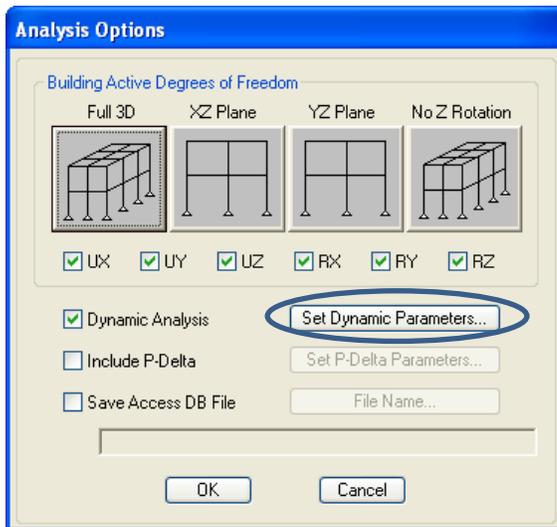


Figura 56 Ventana de las opciones de análisis

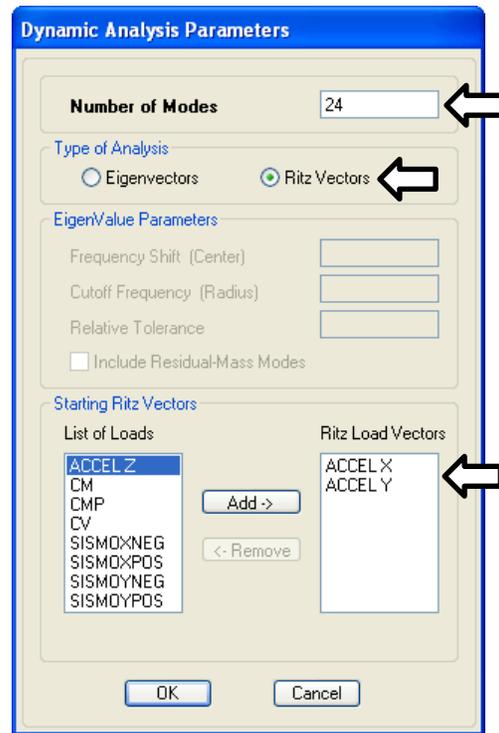


Figura 55 Ventana para la configuración de los parámetros del análisis dinámico

En la sección de NUMBER OF MODES escribimos 24, estaremos considerando 3 modos de vibración por piso recomendado por "VLACEV TOLEDO ESPINOZA" en su trabajo "EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON ETABS", en el área de TYPE OF ANALYSIS escogemos la opción RITZ VECTORS, en la sección RITZ LOAD VECTORS marcamos la opción ACCEL Z y presionamos REMOVE, indicamos al programa que no considere las aceleraciones verticales, presionamos OK y listo finalizamos con las opciones de análisis.

Antes de realizar el análisis es necesario revisar si está presente algún error en el modelo, ingresamos por el menú ANALYZE - CHECK MODEL. Y marcamos todas las opciones, clic en OK y el programa revisará si se presenta algún error (WARNING), de ser el caso nos indicará que error hay que corregir.

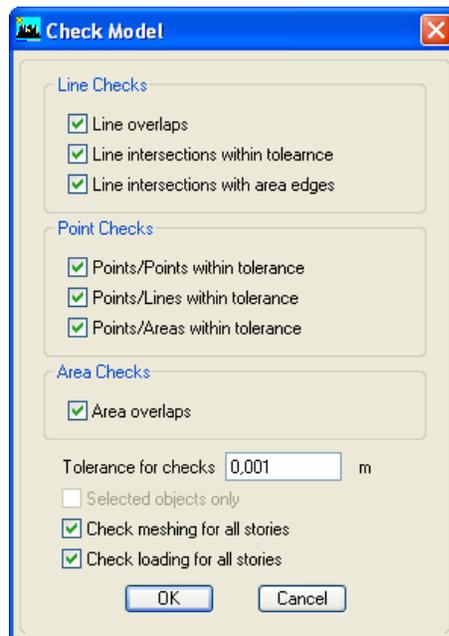


Figura 57 Ventana para verificar errores en el modelo

### 6.6.10.17.- ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

Como paso siguiente nos queda correr el modelo, hacemos clic en el ícono en forma del símbolo PLAY o mediante el menú ANALYZE - RUN ANALYSIS o también por medio de la tecla "F5". Se mostrará un cuadro de diálogo donde se muestra el análisis. Cuando el programa finaliza el proceso de análisis, mostrará en la ventana el modelo deformado.

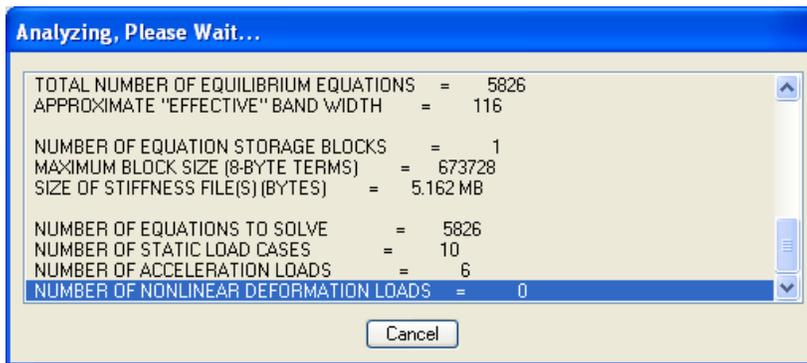


Figura 58 Ventana del proceso de análisis de la estructura

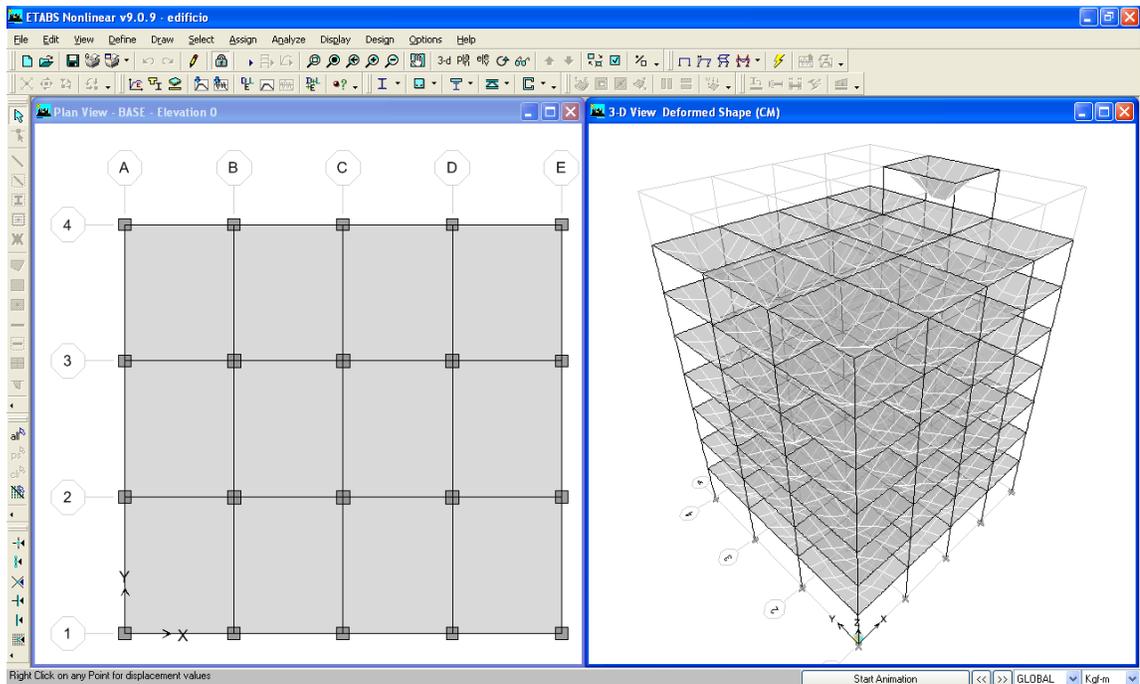


Figura 59 Estructura deformada después del análisis

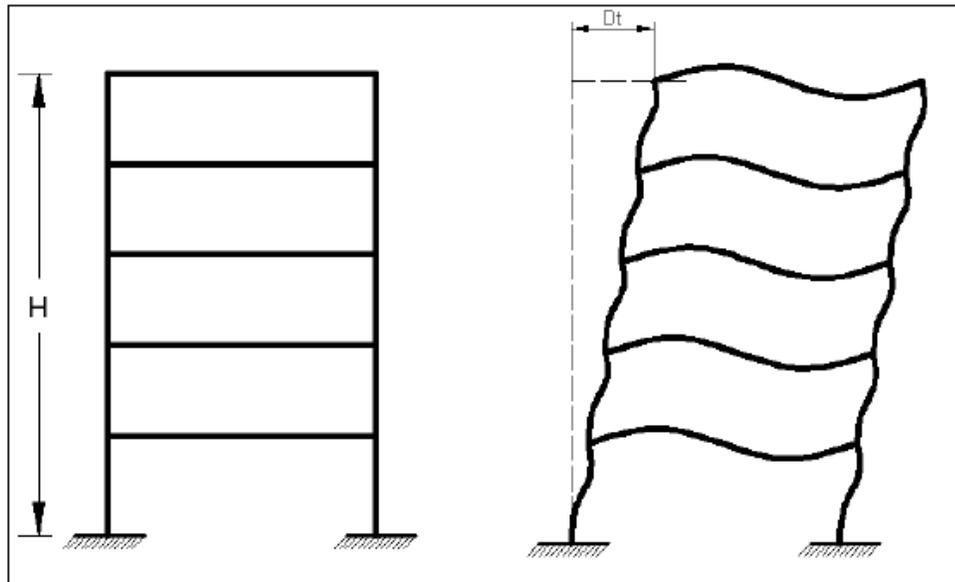
### 6.6.11.- VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS DE PISO

#### **DERIVA GLOBAL**

La deriva global es la relación entre el desplazamiento en el tope del edificio; el cual se obtuvo de la curva de capacidad, y la altura total del mismo así:

$$\gamma_g = \frac{D_t}{H}$$

En donde  $\gamma_g$  es la deriva global del edificio,  $D_t$  es el desplazamiento en el tope del edificio y  $H$  es la altura total del edificio

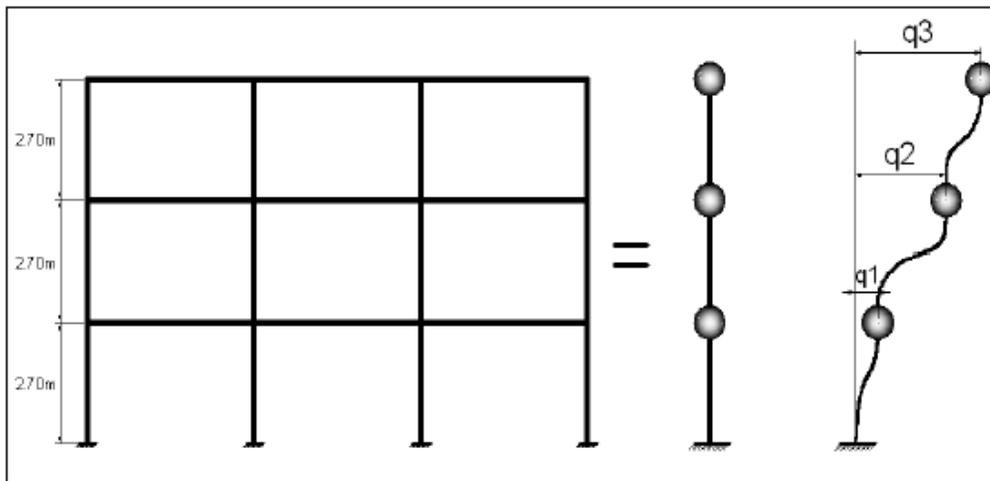


**Figura 60 Datos necesarios para obtener la deriva global del edificio**

#### **DERIVA DE PISO**

Se obtiene el comportamiento de una estructura ante la acción de un sismo y se halla los desplazamientos en cada piso como se muestra en la figura 60.

Se define a la deriva de piso como la relación entre el desplazamiento relativo de piso dividido para la altura de piso. Por ejemplo en la gráfica se tiene un edificio de tres pisos y en cada uno de los pisos se tiene un desplazamiento diferente, entonces para obtener la deriva de cada piso dividimos el desplazamiento de cada piso para la altura de entre-piso.



**Figura 61 Edificio de tres pisos con desplazamientos de piso ante un sismo**

El CEC 2002 nos dice acerca de las derivas de piso en el capítulo 6.8

“Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos  $\Delta M$  de la estructura, causada por el sismo de diseño.

Límites de la deriva.- El valor de  $\Delta M$  debe calcularse mediante:

$$\Delta M = R \times \Delta E$$

No pudiendo  $\Delta M$  superar los valores establecidos en la Tabla 11.”

Estructuras de	$\Delta_y$ máxima
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0,020
De mampostería	0,010

Tabla 11 Extraído del CEC 2002 Valores de Delta máximo

Sabiendo que: La deriva máxima es 0,02 y  $R = 10$ ; despejaremos la deriva para la estructura

$$\Delta_E = \frac{\Delta_M}{R}$$

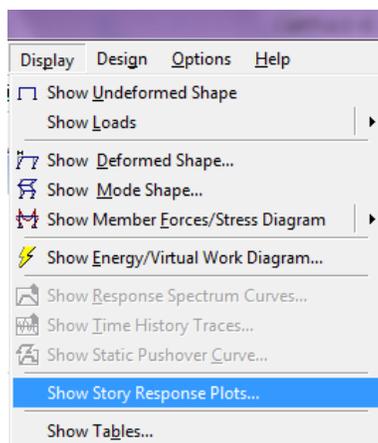
$$\Delta_E = \frac{0,02}{10}$$

$$\Delta_E = 0,002$$

Entonces las derivas de nuestra estructura no deben ser mayores que 0,002

#### 6.6.11.1.- VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS EN ETABS.-

En el programa ETABS a continuación de haber mandado analizar la estructura vamos al menú DISPLAY - SHOW STORY RESPONSE PLOTS



A continuación se nos desplegara una ventana de dialogo, en el área de SHOW escogemos MAXIMUM STORY DRIFTS el programa nos mostrara en que piso se presenta la máxima deriva por sismo

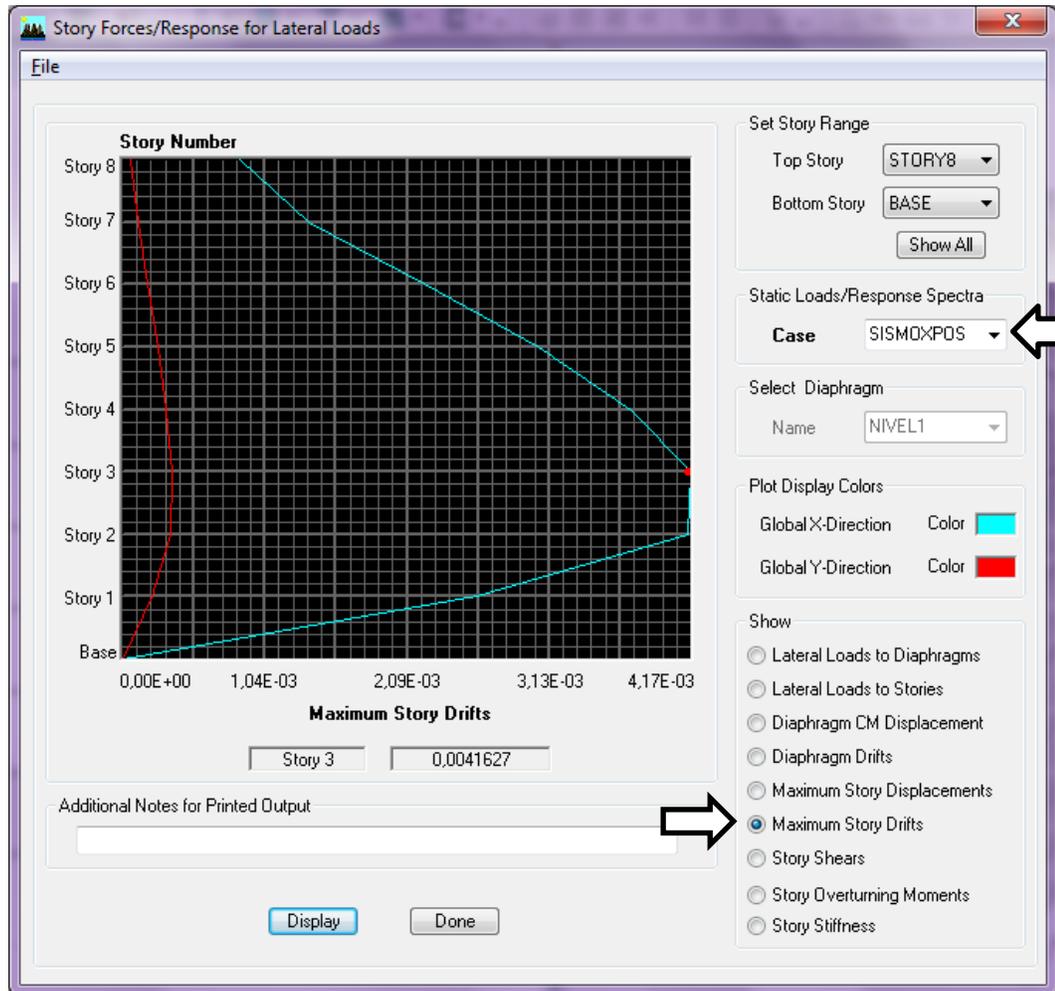


Figura 62 Deriva Máxima por el sismo en X

Para el sismo en X tenemos una deriva de 0,0041

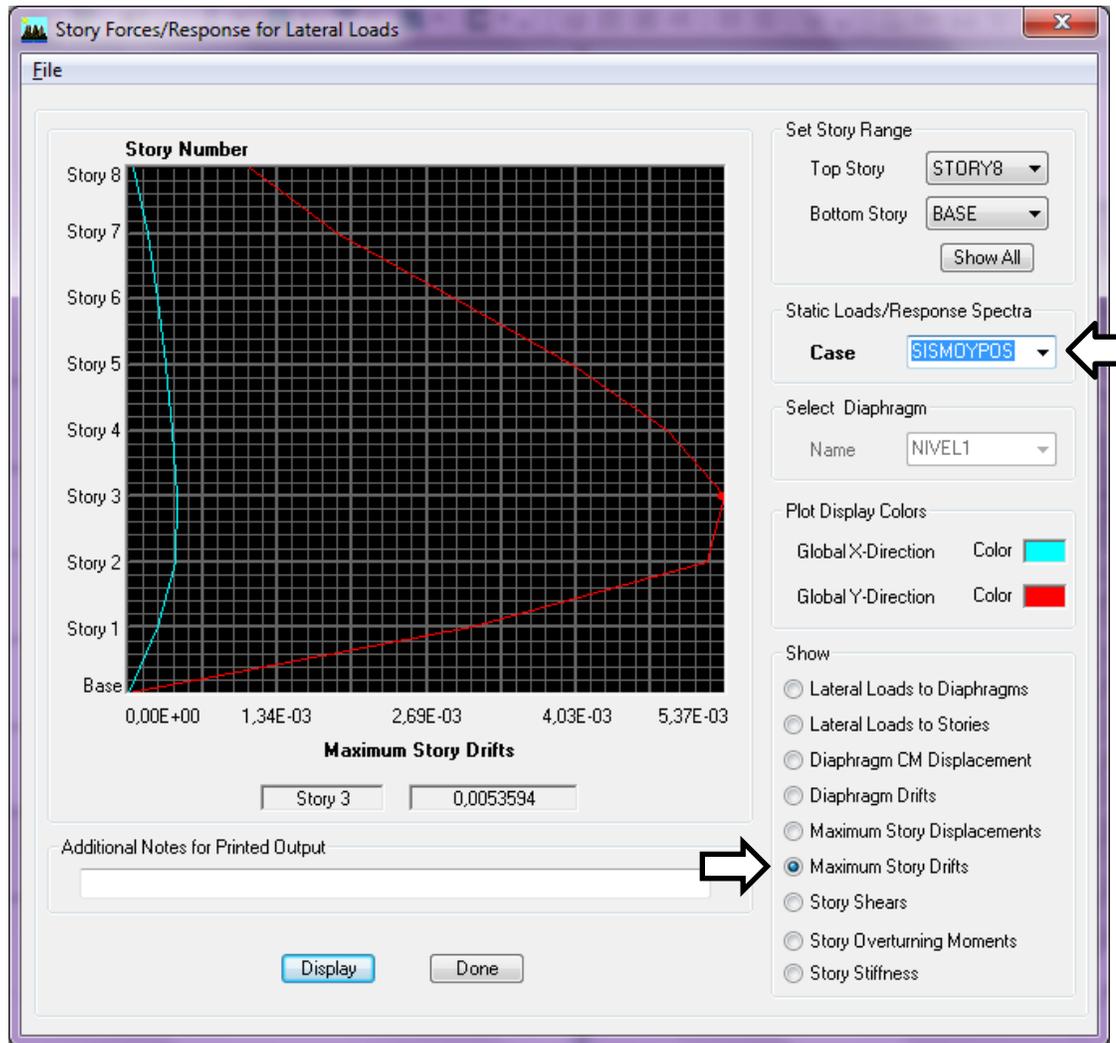


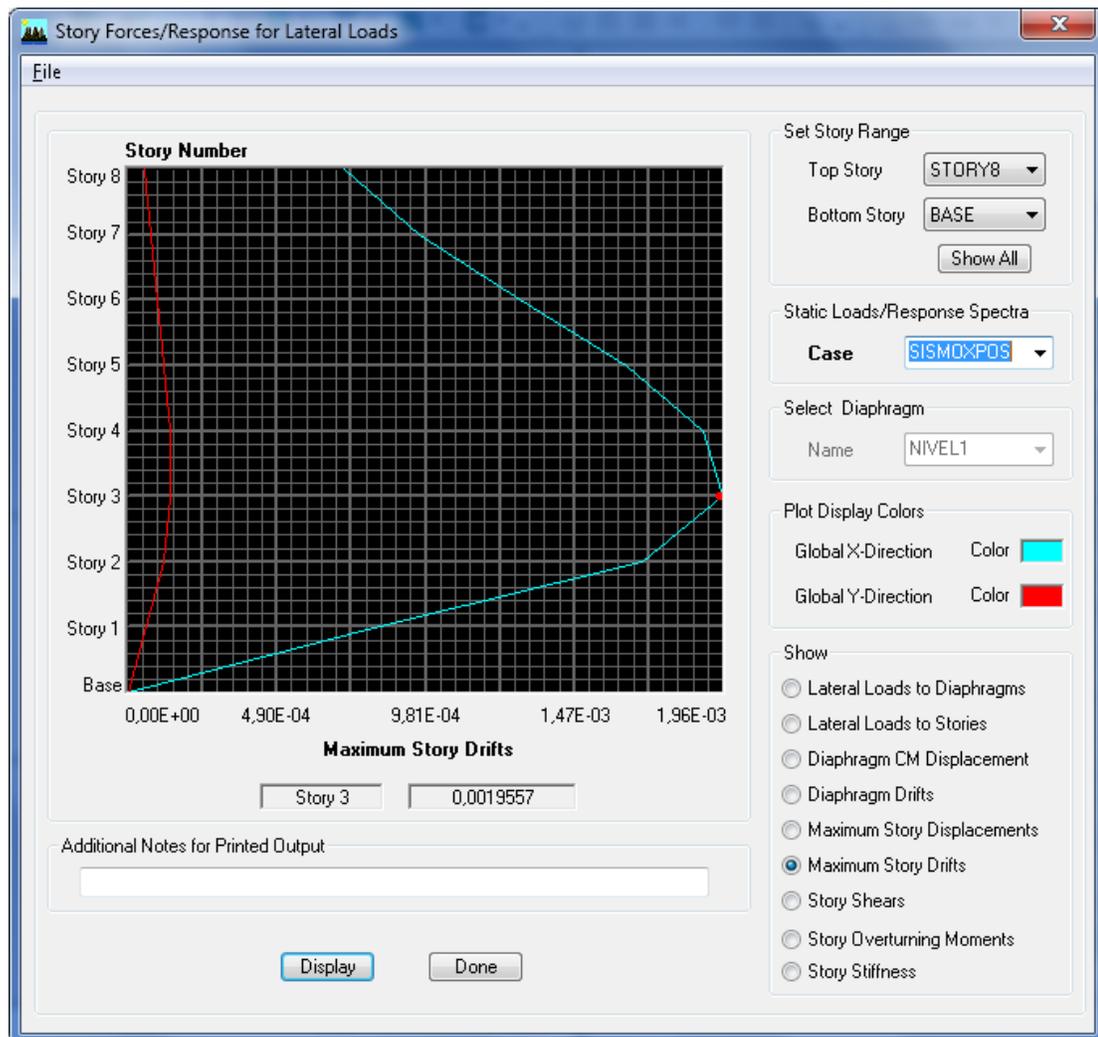
Figura 63 Deriva máxima dad por el sismo en Y

Para el sismo en Y tenemos una deriva de 0,0053

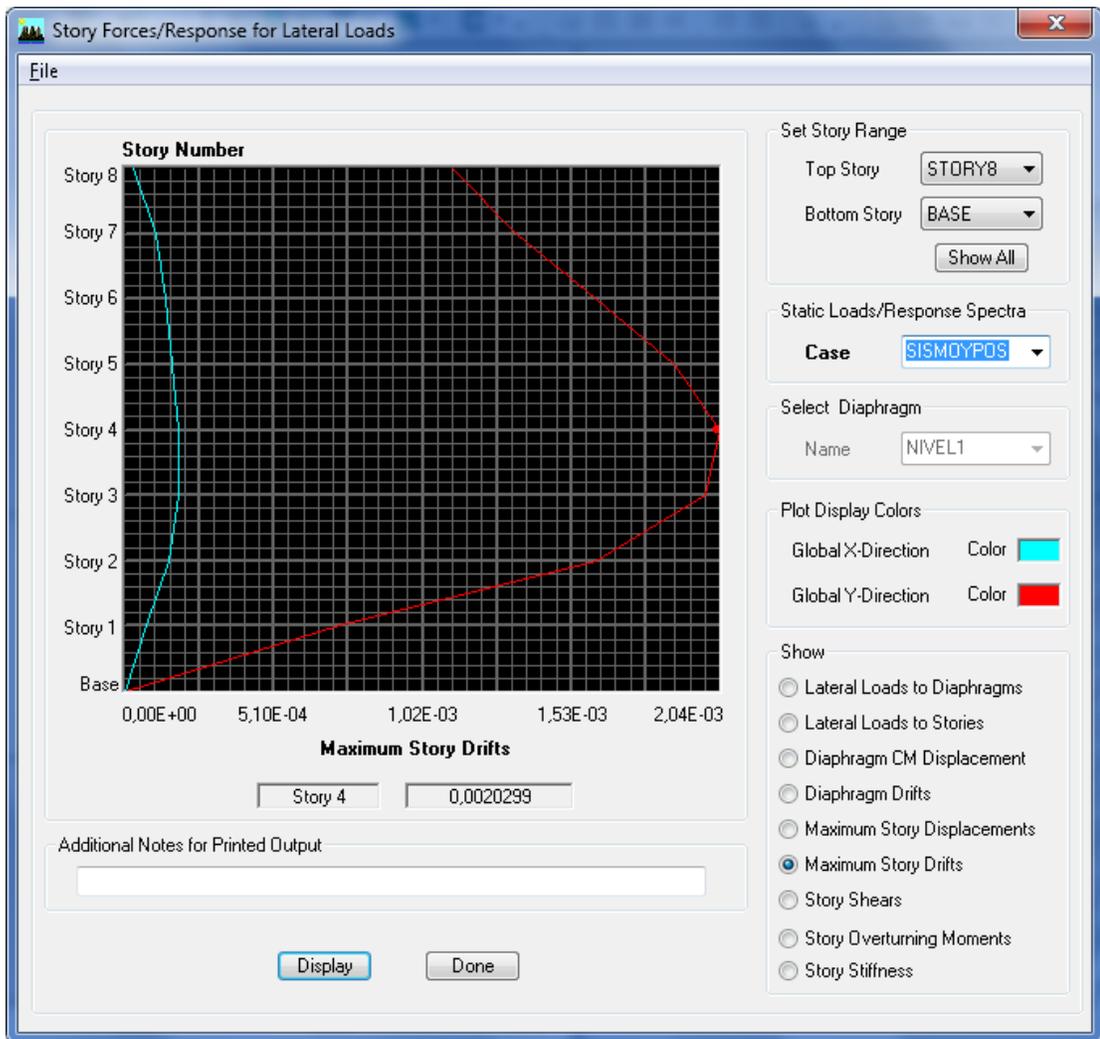
Como las derivas de nuestro edificio son mayores que 0,002 la estructura no soportara la fuerza sísmica por lo tanto hay que aumentar las secciones de columnas y vigas hasta que esta deriva sea menor o igual a 0,002.

Sección de Columna: 0,75 x 1,00 (m)

Sección de Viga: 0,40 x 0,50 (m)



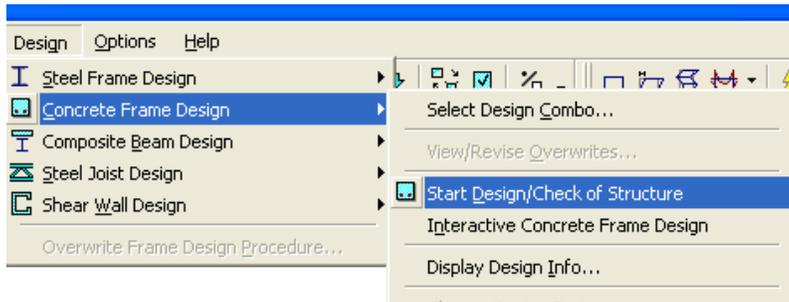
Deriva en X 0,0019



Deriva en Y 0,0020

### 6.6.12.- DISEÑO DE LAS ÁREAS DE ACERO

Para ver las áreas de acero vamos al menú DESIGN - CONCRETE FRAME DESIGN - START DESIGN/CHECK al hacer clic el programa analizará la estructura y nos presentará las áreas de acero.



Para ver en  $\text{cm}^2$  vamos en la parte inferior derecha y cambiamos a cm y esas serán las áreas de acero con las que hay que diseñar la estructura.

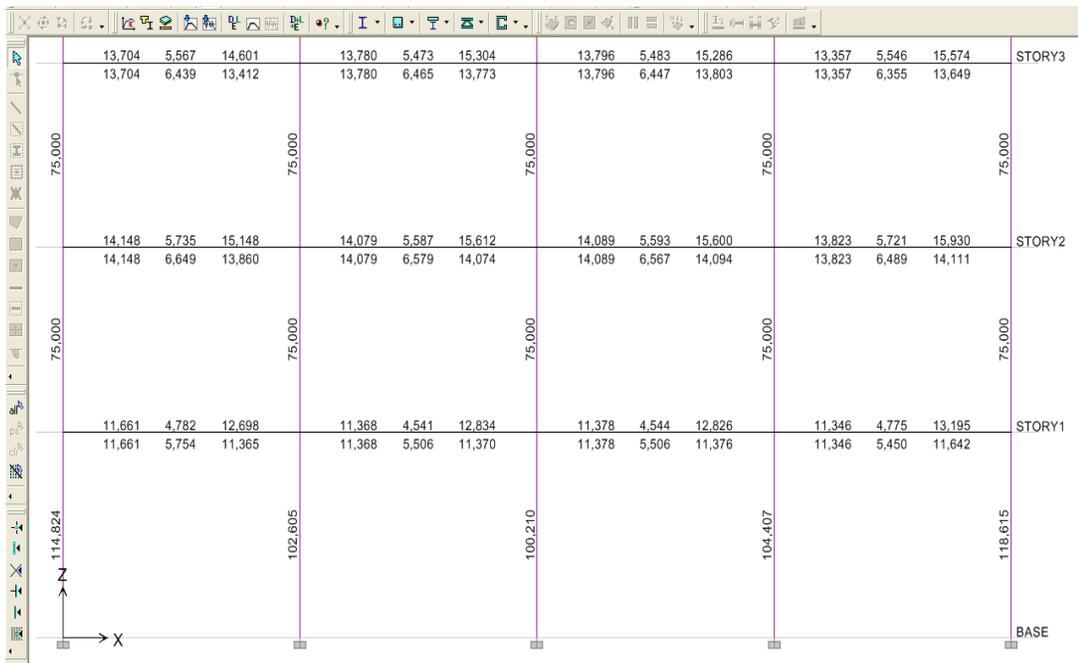


Figura 64 Presentación de las áreas de acero en cada elemento

### **6.6.13.- PUSH-OVER**

La técnica del push-over, consiste en aplicar a la estructura cargas estáticas monotónicas (sin ninguna disminución, la carga aumenta continuamente), en forma incremental hasta llevar a la estructura al colapso,

Existen varios criterios para definir el punto de fallo o punto de colapso de una estructura. Algunos de esos criterios consideran que el fallo en una estructura se alcanza cuando el desplazamiento lateral máximo  $D_t$  tiene un valor del 4 % de la altura total. Este coeficiente se obtiene a partir de un criterio del ACI-318-2005 y está definido en código FEMA-273 en el capítulo 3, el cual establece que la estructura en el rango inelástico se deformará un 4% de la altura total de la estructura.

#### **6.6.13.1.- ASIGNACIÓN DEL PUSH-OVER EN ETABS**

En el programa de ETABS vamos al menú DEFINE - STATIC NONLINEAR/PUSHOVER CASES en la ventana que se nos abre presionamos ADD NEW CASE

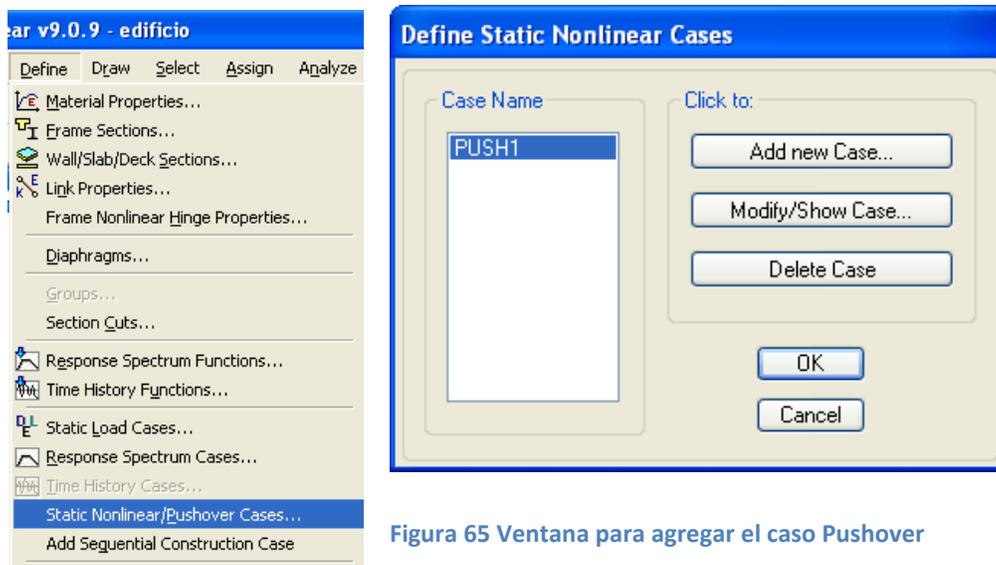


Figura 65 Ventana para agregar el caso Pushover

En la ventana desplegada llenaremos de la siguiente forma:

1.- Ingresaremos el 4% de la altura del edificio en el área de OPTIONS en PUSH TO DISP. MAGNITUDE  $0,04 \times 21,6 = 0,864$

2.- Además se debe definir el nudo de control, según el Código FEMA 273 establece que el nudo de control debe estar localizado en el último piso en el centro de rigideces considerando que éste no se encontrará en una azotea que no sea parte de la estructura para nuestro caso estará en STORY 8 nudo 11.

3.- En la opción "MEMBER UNLOADING METHOD", existen 3 alternativas que considera ETABS para los ciclos de carga y descarga de la estructura, estas alternativas son:

- UNLOAD ENTIRE STRUCTURE
- APPLY LOCAL REDISTRIBUTION
- RESTART USING SECCANT STIFFNESS

FEMA 273 establece que, cualquier método que considere inercia agrietada para cada paso de los ciclos de carga y descarga de la estructura es adecuado para el análisis, y que la redistribución de las cargas en cada elemento dependerá del patrón de cargas que se asume para cada modelo matemático. Los tres anteriores consideran por defecto del consumo de energía durante los ciclos de histéresis, la acumulación de deformación plástica irreversible a lo largo de los ciclos de carga y la reducción de la rigidez con los ciclos de descarga y recarga, pero el hecho de utilizar el método reiniciar los ciclos de carga y descarga usando la rigidez secante (RESTART USING SECCANT STIFFNESS) representa una mejor aproximación para el modelo, estas consideraciones se encuentran en FEMA 273 sección 2.6.

4.- En el área de LOAD PATTERN seleccionamos los sismos con escala 1; ETABS se encarga de la distribución de la fuerza

sísmica con el coeficiente de aceleración que ya se ingresó anteriormente.

5.- En el área de GEOMETRIC NONLINEARITY EFFECTS seleccionamos NONE no tomaremos en cuenta el efecto P-DELTA

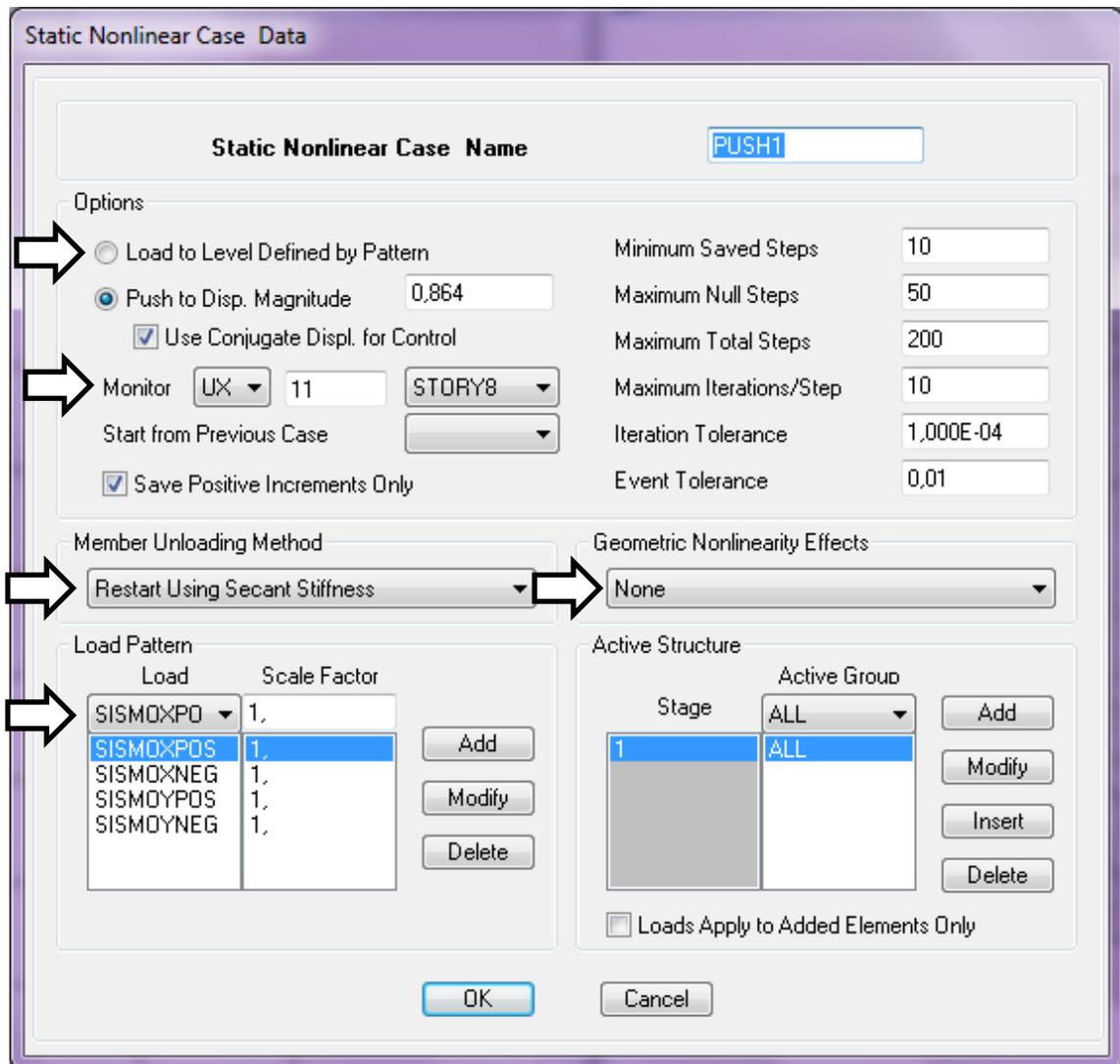


Figura 66 Ventana para definir el caso de Pushover

### 6.6.13.2.- ASIGNAR ROTULAS PLÁSTICAS O BISAGRAS A VIGAS Y COLUMNAS

Para asignar las rotulas plásticas en las columnas seleccionamos todas las columnas y vamos al menú ASSIGN - FRAME/LINE - FRAME NONLINEAR HINGES una de las consideraciones que se tiene en el diseño de las columnas es que estas trabajan a carga axial y momento (PMM), también lo que hay que considerar en el programa, es el ingreso de las distancias relativas donde se ubican las articulaciones; en el inicio (0) y fin (1) de los elementos de la siguiente manera;

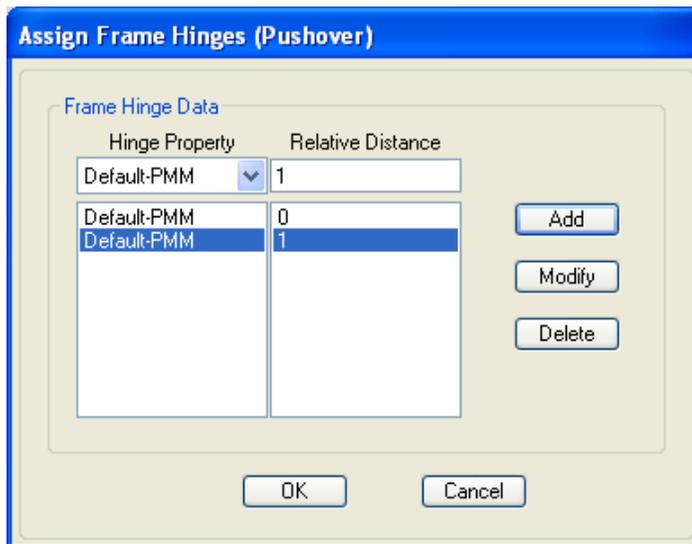


Figura 67 Ventana para ingresar las rotulas plásticas en columnas

De la misma forma se hará para las vigas, seleccionando esta vez todas las vigas pero sabiendo que estas solo trabajan para momento M3 también se tiene que colocar las propiedades de las articulaciones al principio y al fin.

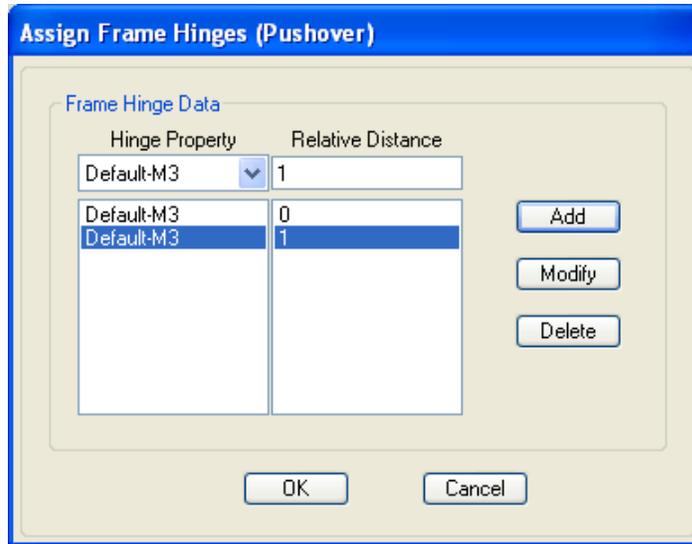
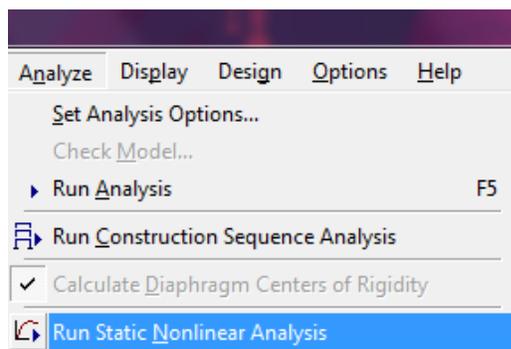


Figura 68 Ventana para ingresar las rotulas plásticas en vigas

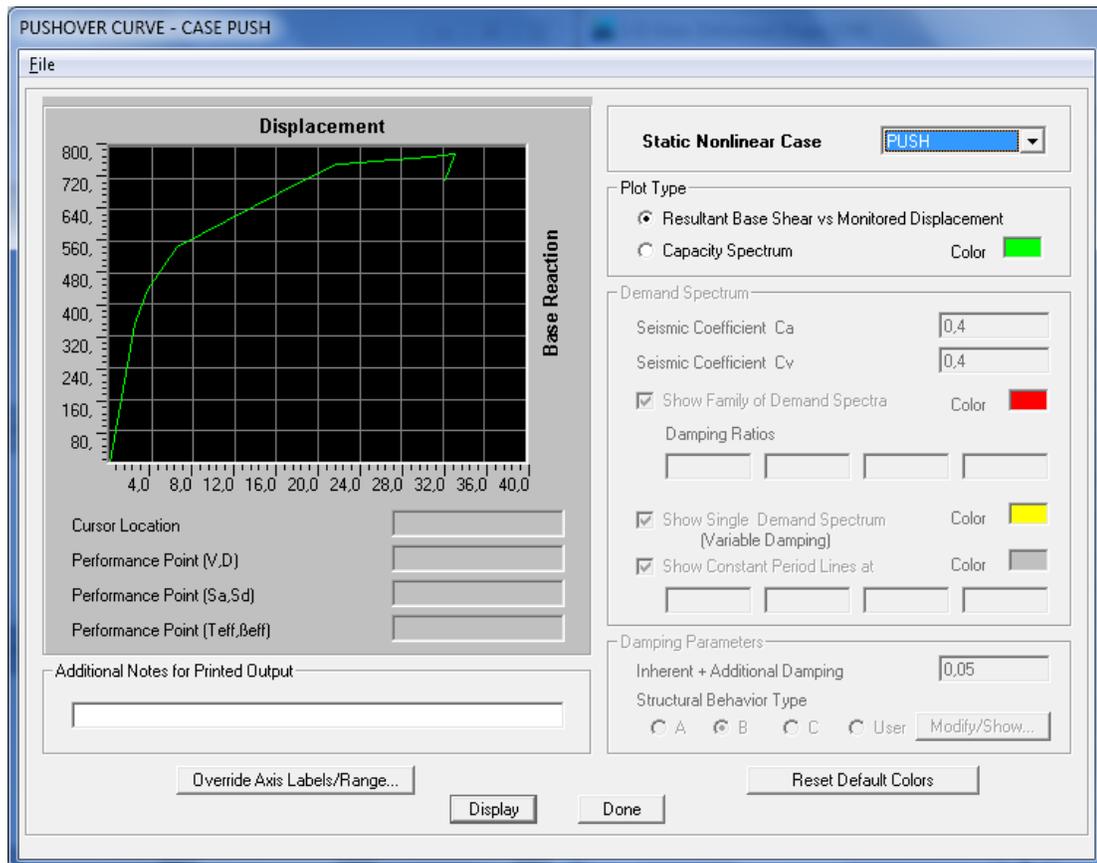
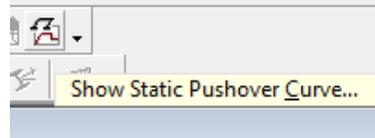
#### **6.6.13.3.- ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL**

Una vez que ya se han definido los parámetros del método Pushover, se debe ejecutar el programa como un análisis normal, es decir se tiene que realizar primero un análisis elástico. Cuando se ha realizado esto, se debe ejecutar el análisis estático no lineal ingresaremos al menú ANALYZE - RUN STATIC NONLINEAR ANALYSIS.



#### **6.6.13.4.- CURVA DE PUSHOVER.-**

Luego de haber ejecutado el Análisis No lineal Estático, ETABS nos provee de una herramienta muy útil que es SHOW STATIC PUSHOVER CURVE, la cual nos presenta la curva de capacidad es decir una gráfica Cortante Basal vs. Desplazamiento Controlado.



**Figura 69 Curva Pushover sin efecto P-Delta**

**VEAMOS COMO LA ESTRUCTURA VA PERDIENDO RIGIDEZ A MEDIDA QUE AUMENTA LA DEFORMACIÓN O DUCTILIDAD, SIMPLEMENTE LA ESTRUCTURA ESTA DISIPANDO LA ENERGÍA QUE PRODUCE EL SISMO**

### **6.6.13.5.- ESPECTRO DE CAPACIDAD.-**

Para tener una mejor visualización de datos cambiaremos las unidades a Ton/cm; Para ver el espectro de capacidad seleccionamos de la curva de Pushover la opción CAPACITY SPECTRUM en la que se nos cambiara la forma de ver la imagen de la curva de Pushover, se nos activara unas casillas en las que llenaremos de la siguiente forma.

Los valores de  $C_a$  y  $C_v$  hemos sacado del capítulo 4 del código ATC-40 en las que dependiendo del tipo de suelo, de la zona sísmica y de la cercanía del sismo se tendrá los coeficientes sísmicos

Si recordamos **el tipo de suelo de nuestro proyecto es el S3 del tipo granular semidenso con una velocidad de onda de corte  $V_s$  entre 200-750 y valor N del STP entre 10-30**

Tabla 4-3 Tipos de perfil de suelo

Tipo de perfil de suelos	Propiedades del suelo promedio para los 30 m. superiores del perfil del suelo			
	Descripción	Velocidad de onda de corte $V_s$ (m/s)	Ensayo estándar de penetración N (golpes/ft)	Resistencia a corte no drenado, $S_u$ (KPa)
SA	Roca dura	> 1500		
SB	Roca	760 a 1500		
SC	suelo muy denso y roca blanda	360 a 760	> 50	> 100
SD	Perfil de suelo rígido	180 a 360	15 a 50	50 a 100
SE	Perfil de suelo sólido	< 180	< 15	< 50
SF	Suelo que requiere evaluación específica del lugar			

Tabla 12 Extraído del ATC-40 Tipos de perfil de suelo

Tabla 4-4 Factor de Zona Sísmica

ZONA	1	2A	2B	3	4
Z	0,075	0,15	0,2	0,3	0,4

Nota: La zona sísmica debe determinarse del mapa de zonas

**Tabla 13 Extraído del ATC-40 Factor de zona sísmica**

**Tabla 4-5 Factores de Cercanía a la fuente**

Tipo de lugar de origen del sismo	Distancia mas próxima a la fuente del sismo conocido							
	≤ 2Km		5 Km		10 Km		≥ 15 Km	
	Na	Nv	Na	Nv	Na	Nv	Na	Nv
A	1,5	2,0	1,2	1,6	1,0	1,2	1,0	1,0
B	1,3	1,6	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Nota: Los factores de cercanía a la fuente pueden basarse en la interpolación lineal de valores para distancias diferentes a las que se muestran en las tablas.

**Tabla 14 Extraído del ATC-40 factores de Cercanía a la fuente**

**Tabla 4-6 Tipo de lugar de origen del sismo**

Tipo de lugar de origen del sismo.	Descripción a la fuente del sismo	Definición a la fuente del sismo	
		Magnitud del momento Máximo M	Proporción de deslizamiento, SR (mm/año)
A	Fallas que pueden producir eventos de gran magnitud y que tienen una alta relación de actividad sísmica.	$M \geq 7,0$	$SR \geq 5$
B	Otras fallas además de los tipos A y C		
C	Fallas que no pueden producir eventos de gran magnitud y que tienen una relación de actividad sísmica relativamente baja.	$M < 6,5$	$SR < 2$

**Tabla 15 Extraído del ATC-40 tipo de lugar del origen del sismo**

Tabla 4-7y8 Coeficiente Sísmico Ca y Cv

Coeficiente de respuesta del terreno										
Perfil del suelo	Zona 1		Zona 2A		Zona 2B		Zona 3		Zona 4	
	Ca	Cv	Ca	Cv	Ca	Cv	Ca	Cv	Ca	Cv
SA	0,06	0,06	0,12	0,12	0,26	0,16	0,24	0,24	0,32xNa	0,32xNv
SB	0,08	0,08	0,15	0,15	0,2	0,2	0,3	0,3	0,40xNa	0,40xNv
SC	0,09	0,013	0,18	0,25	0,24	0,32	0,33	0,45	0,40xNa	0,56xNv
SD	0,12	0,18	0,22	0,32	0,28	0,4	0,36	0,54	0,44xNa	0,64xNv
SE	0,19	0,26	0,3	0,5	0,34	0,64	0,36	0,84	0,32xNa	0,32xNv
SF	Se deben realizar investigaciones geotécnicas y análisis de respuesta dinámica del lugar para determinar los coeficientes de sismicidad									

Tabla 16 Extraído del ATC-40 Coeficientes sísmicos Ca y Cv

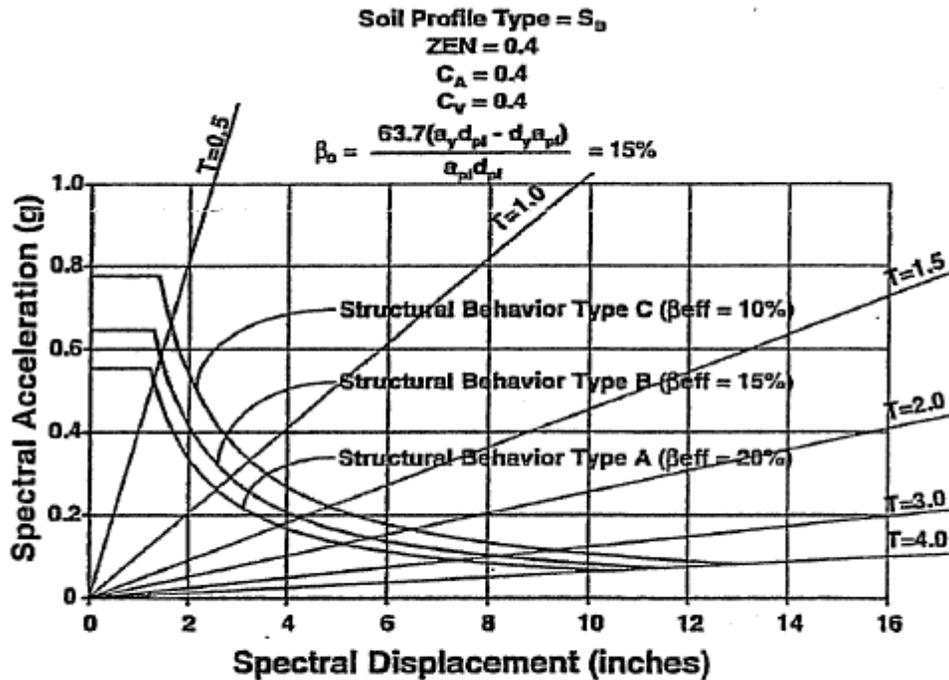


Figure 8-19. Example ADRS Response Spectra for Structural Behavior Types A, B and C

Vamos a escoger el perfil de suelo SD que es el perfil de suelo que mas se acerca al de nuestro proyecto los valores de  $N_a$  y  $N_v$  serán uno ya que el registro que tenemos del epicentro del terremoto 1949 que es el mas fuerte hasta la fecha fue en la ciudad de Pelileo y como estamos en la zona 4 nuestros valores serán  $C_a = 0,44$  y  $C_v = 0,64$

En la parte izquierda aparecerán los siguientes valores:

Max. Capacidad de Cortante Basal  $V = 765,429$  Ton.

Max. Capacidad de Deformación  $D = 26,408$  cm.

Aceleración Espectral De Desempeño  $S_a = 0,276$  g.

Desplazamiento Espectral De Desempeño  $S_d = 13,769$  cm.

Tiempo efectivo de vibración  $T_{eff} = 1,413$  seg

El Damping (amortiguamiento) efectivo  $B_{eff} = 0,239$

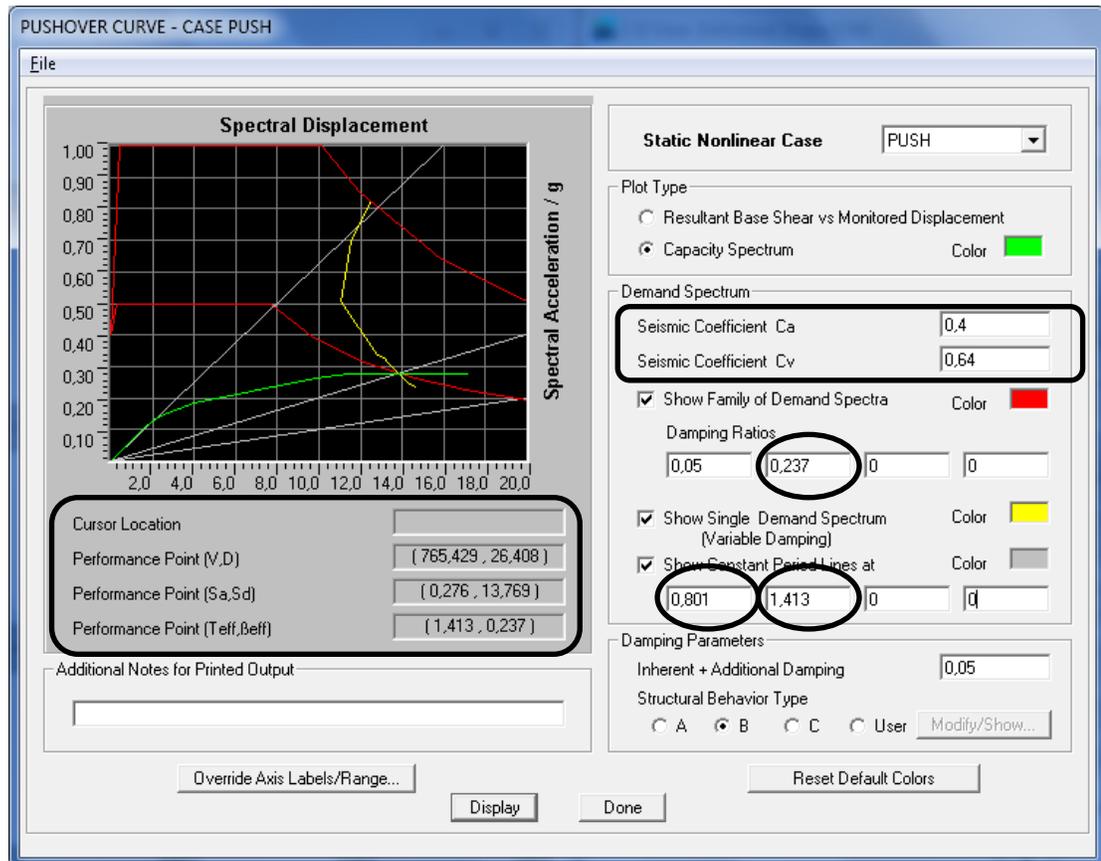


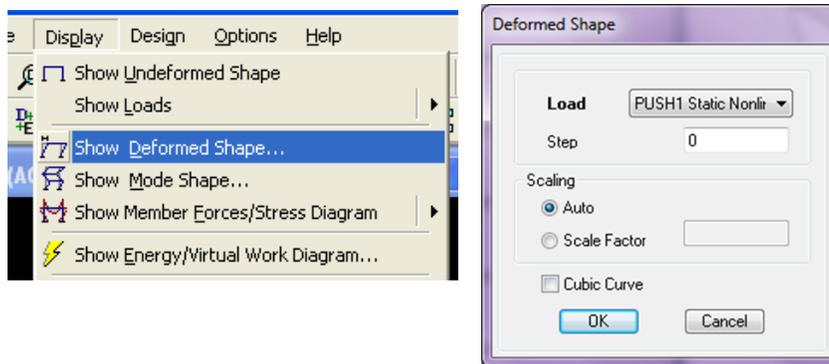
Figura 70 Espectro de capacidad

En la segunda casilla del Damping o el amortiguamiento ingresaremos el valor que nos da el programa  $B_{eff} = 0,237$ , en las casillas de las líneas de periodo, en la primera casilla ingresaremos el periodo de vibración de la estructura antes calculado  $T = 0,801$  en el segundo casillero ingresaremos el tiempo efectivo  $T_{eff} = 1,413$

**CUANDO ESTA OCURRIENDO EL SISMO EL PERIODO DE VIBRACIÓN AUMENTA, EL AMORTIGUAMIENTO AUMENTA Y LA RIGIDEZ DISMINUYE, TODO ESTO ES DEBIDO A LA DUCTILIDAD DE LA ESTRUCTURA**

#### **6.6.13.6.- RESULTADOS DE DEFORMACIONES POR EL PUSHOVER.-**

Para ver la deformación de la estructura por el método Pushover vamos al menú DISPLAY - SHOW DEFORMED SHAPE y en cuadro escogemos la carga de PUSH1 para que nos muestre la deformación de la estructura por el análisis de PUSHOVER



**Figura 71 Ventana para ver la deformación por carga de Pushover**

El FEMA-273 y el ATC - 40 han desarrollado procedimientos de modelado, criterios de aceptación y procedimientos para el análisis Pushover. El código FEMA 273 define criterios de fuerza-deformación para las articulaciones usadas en el análisis Pushover, se identifican los puntos A, B, C, D, y E que son usados para definir el comportamiento de deflexión de la articulación, además de tres puntos IO, LS y CP que son usados para definir los criterios de aceptación para la articulación. (Los puntos IO, LS y CP significan Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida y Prevención de Colapso respectivamente.), los valores de deformación que pertenecen a cada uno de estos puntos IO, LS, CP varían dependiendo del tipo de elemento estructural así como muchos otros parámetros definidos por el FEMA-273.

Las articulaciones coloreadas indican el estado de las mismas, es decir, donde se encuentran a largo de su curva fuerza-

desplazamiento. La leyenda para los colores de la articulación se incluye en el fondo de la pantalla de ETABS. Los puntos **B, IO, LS, CP, C, D y E** se muestran como niveles de acuerdo al estado de la articulación y van de acuerdo con el nivel de desempeño.

La Figura 72 representa la curva de deformación plástica, en la que se muestra la fuerza y la deformación en una rótula plástica, y se identifican cinco puntos denominados A, B, C, D y E; entre B y C, se definen tres puntos marcados como IO, LS y CP

A = origen corresponde a la condición sin carga lateral.

B = límite de fluencia nominal que corresponde al inicio de daños estructurales.

C = límite de seguridad estructural. Representa el punto de máxima capacidad. El tramo entre B y C tienen una pendiente entre el 5 y el 10%, pero como el punto C es difícil de predecir, puede considerarse una línea recta horizontal. La abscisa en C corresponde a la deformación en que comienza una degradación significativa de la resistencia. Más allá de esta deformación, no puede ser garantizada la reversión de las fuerzas laterales cíclicas. Para los elementos frágiles como el concreto, esta deformación está muy cerca de la deformación a la que se alcanzó la fluencia. Para los elementos dúctiles como el acero, esta deformación es mayor que la deformación de fluencia.

D = esfuerzo residual. Los tramos C-D y D-E pueden tener una pendiente especificada. La caída en la resistencia de C a D representa el fracaso inicial del elemento estructural. Puede estar asociado con fenómenos como la fractura del refuerzo longitudinal, desprendimiento del hormigón, o fallas en el

confinamiento del refuerzo transversal. Más allá del punto C por lo general no es confiable la resistencia a cargas laterales. Por lo tanto no se debe permitir a deformarse más allá de este punto.

E = colapso. El punto E es un punto que define la máxima deformación más allá de la cual el elemento ya no puede sostener la carga gravitacional. En algunos casos, la falla inicial en C puede resultar en la pérdida de resistencia gravitacional, en cuyo caso el punto E puede tener una deformación igual que en C.

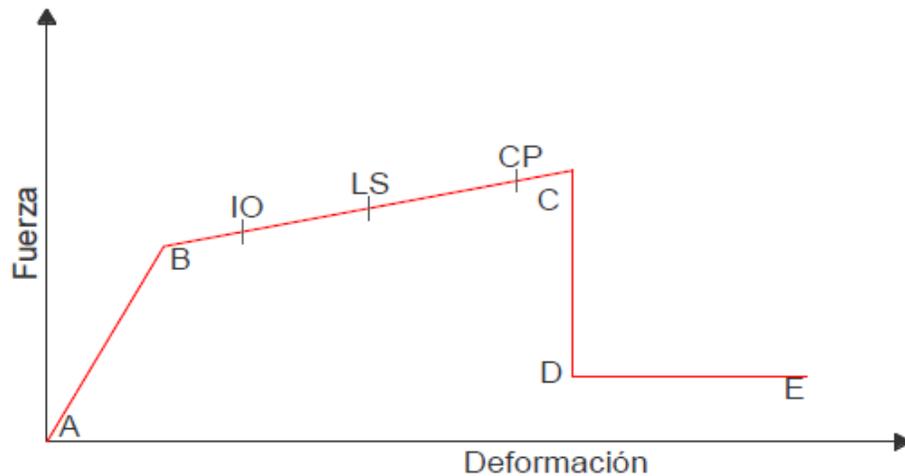
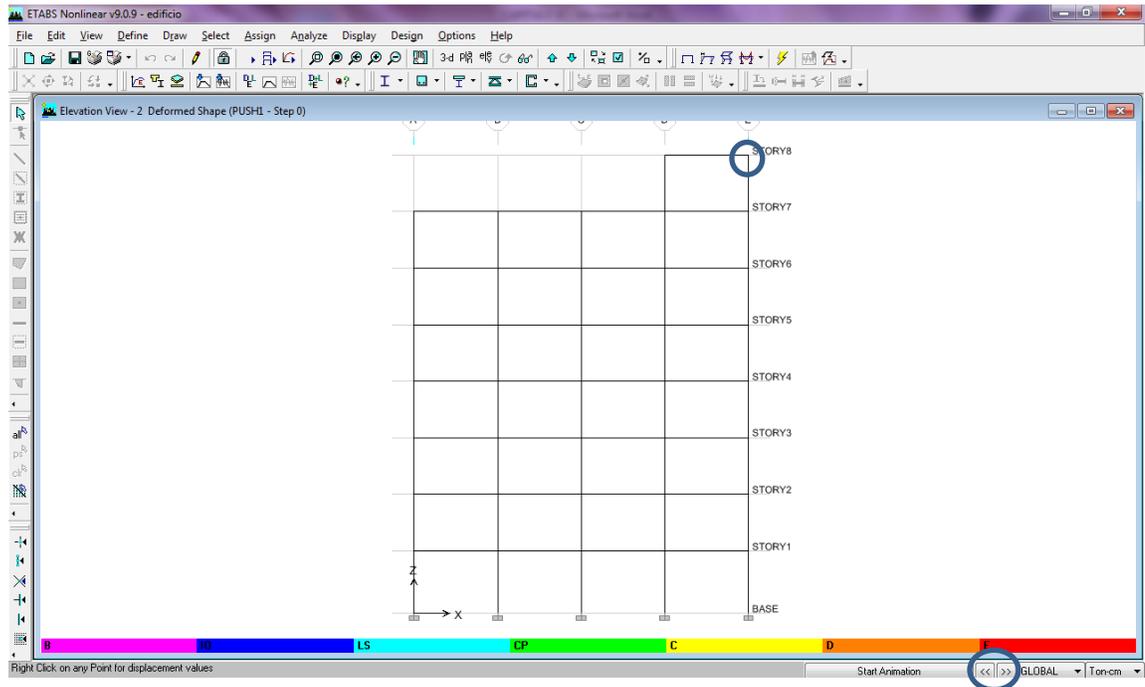


Figura 72 Niveles de desempeño que muestra ETABS en la curva fuerza-deformación

En la Pantalla del ETABS se nos presentara la estructura con sus respectivas deformaciones. Pondremos la vista en forma lateral para poder ver las deformaciones en el nudo 11 del piso 8



**Figura 73 Deformación por Pushover paso 0**

En la parte inferior a través de los botones señalados nos podremos desplazar entre los diferentes estados de carga y sus deformaciones, empezaremos en el paso 0 (STEP 0) y mientras avancemos veremos como se deforma la estructura y aparecen rotulas plásticas.

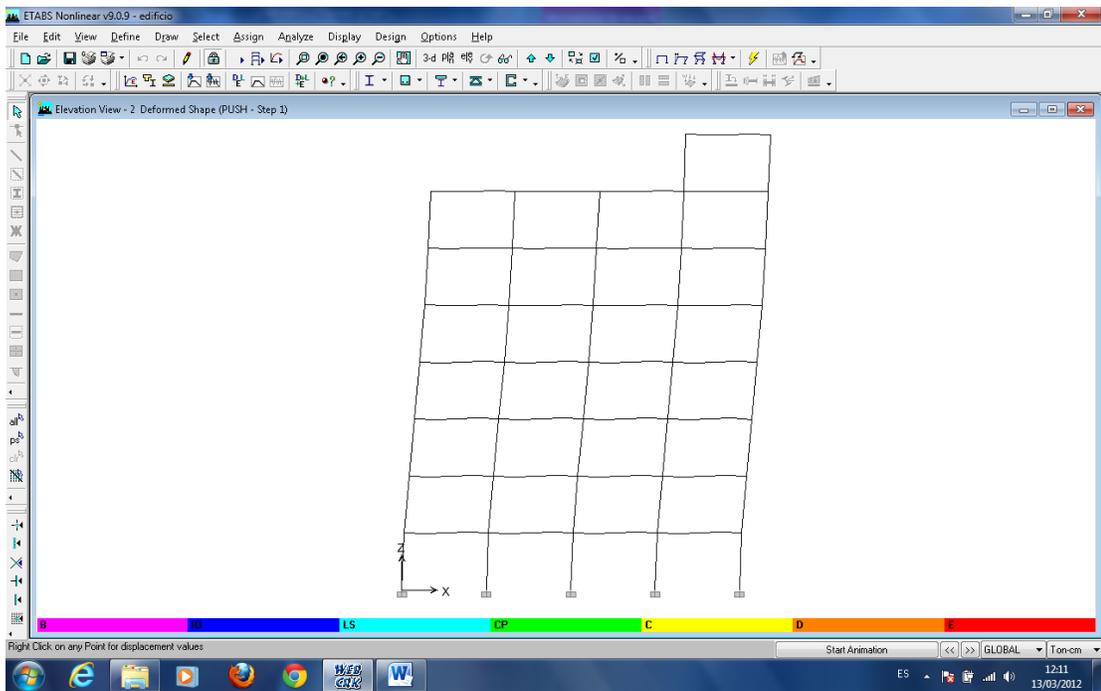


Figura 74 Deformación por Pushover paso 1

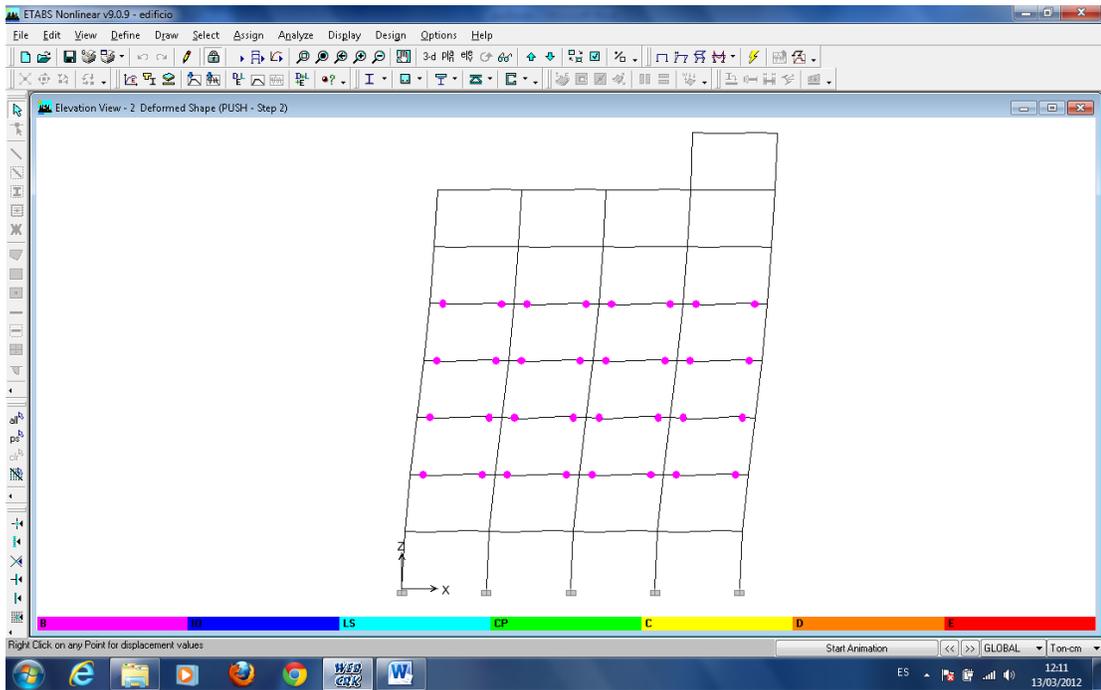


Figura 75 Deformación por Pushover paso 2

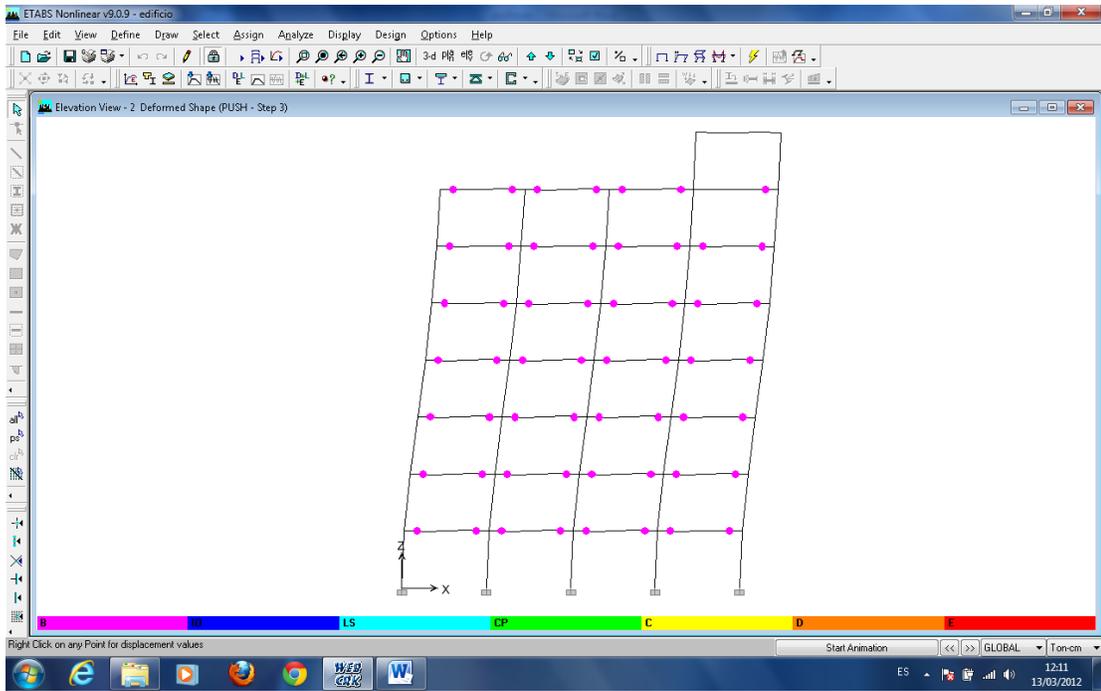


Figura 76 Deformación por Pushover paso 3

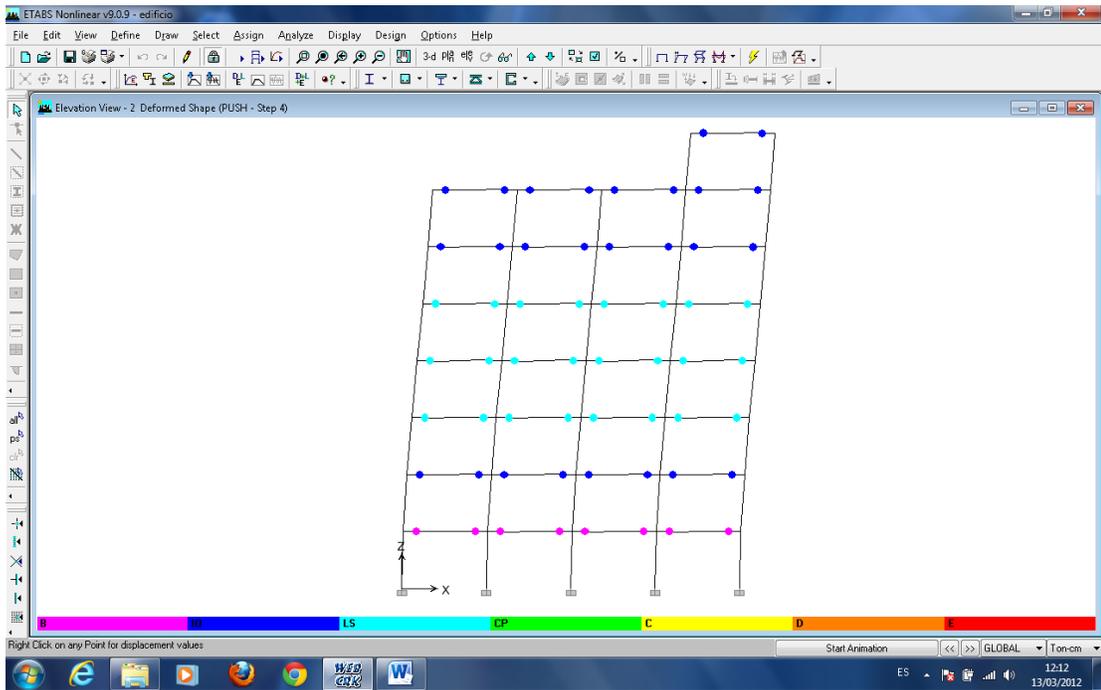


Figura 77 Deformación por Pushover paso 4

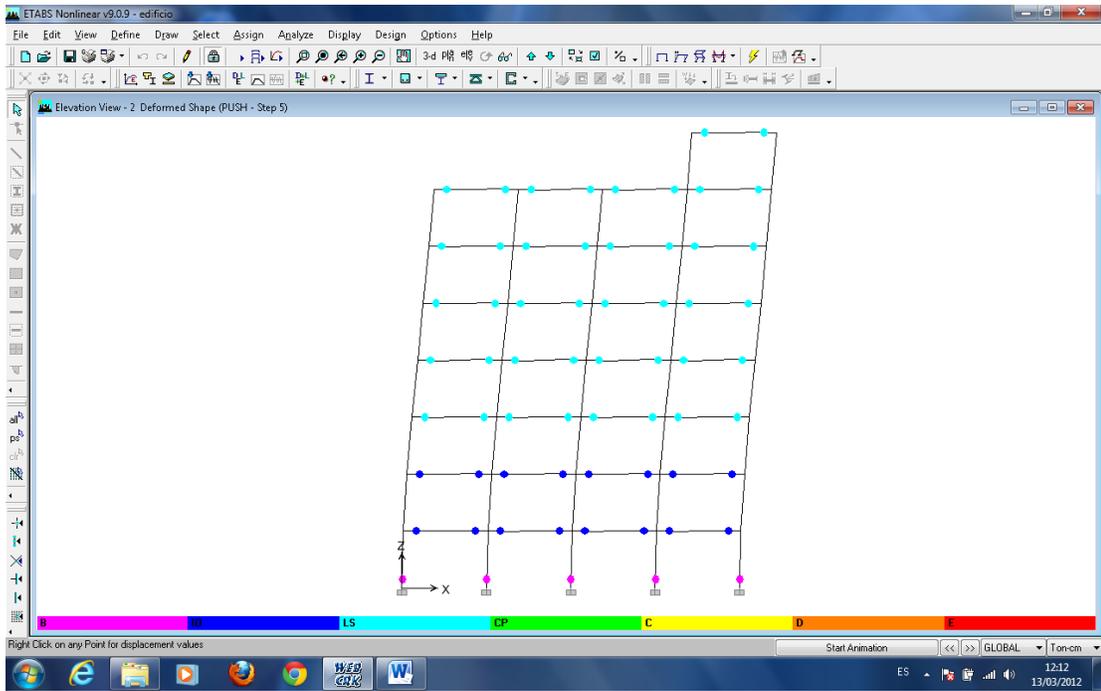


Figura 78 Deformación por Pushover paso 5

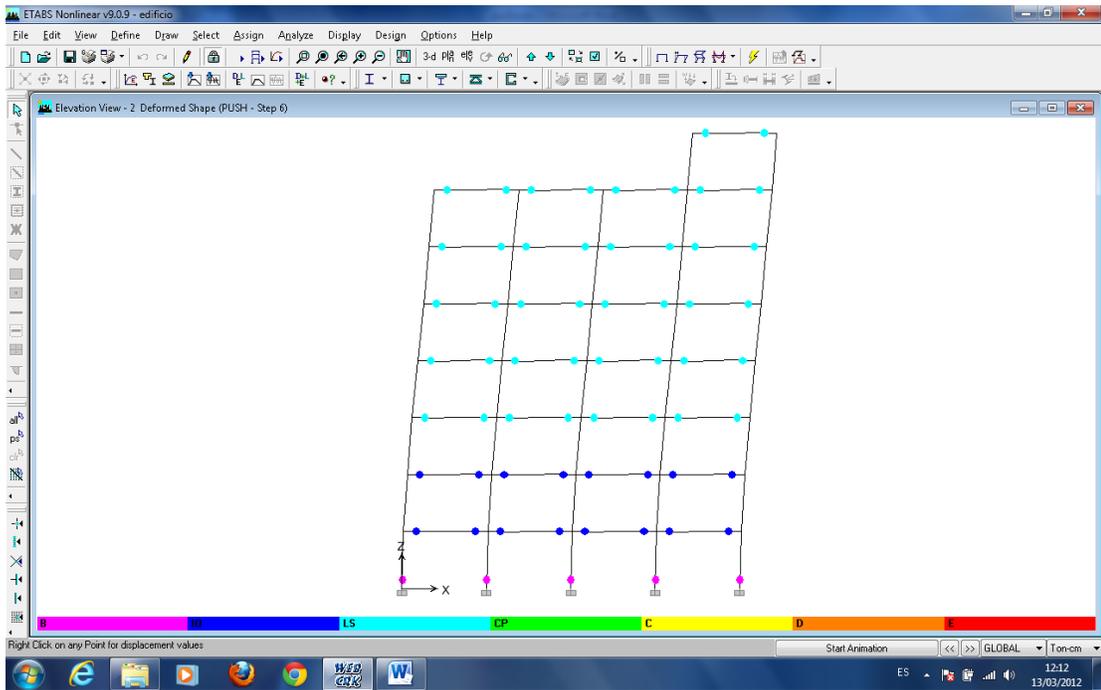


Figura 79 Deformación por Pushover paso 6

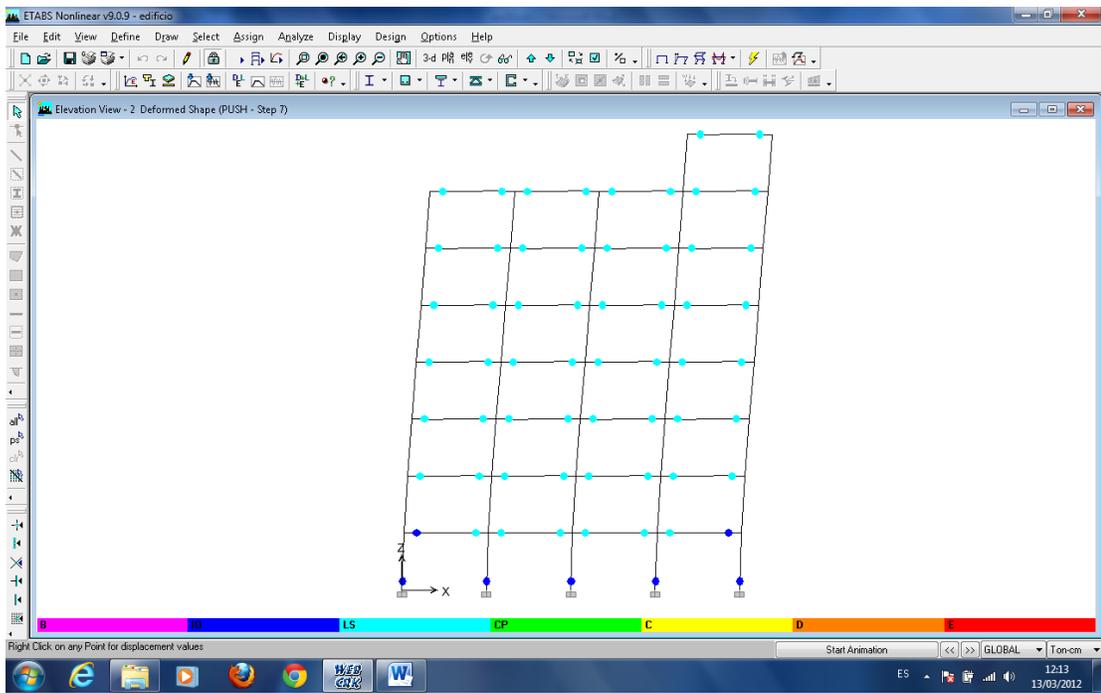


Figura 80 Deformación por Pushover paso 7

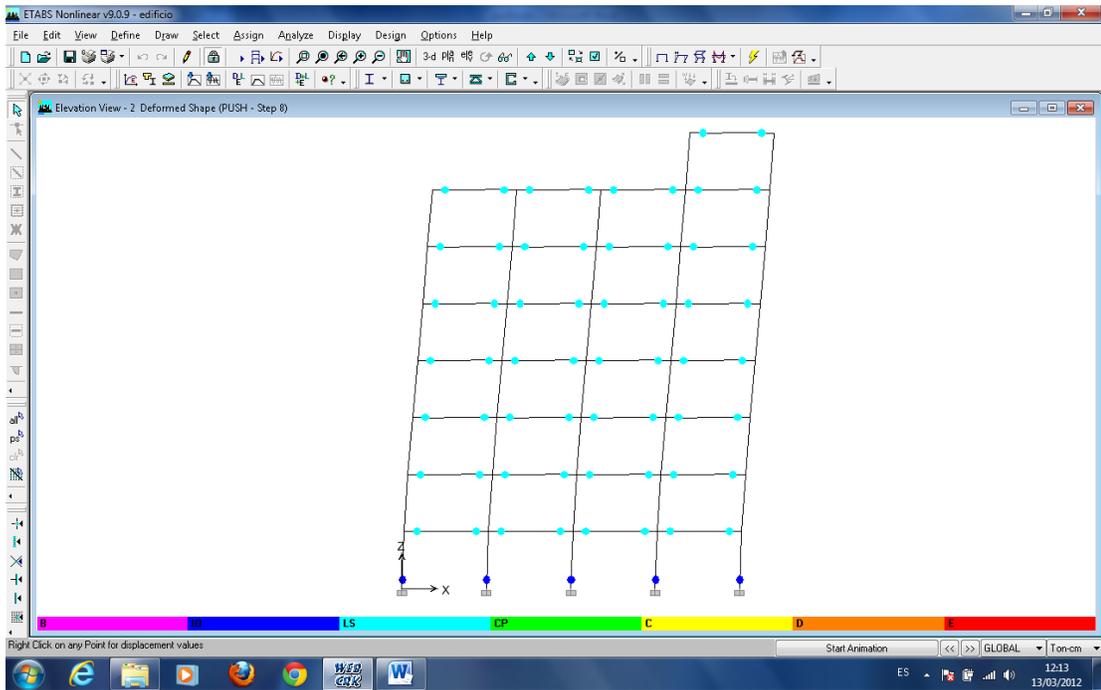


Figura 81 Deformación por Pushover paso 8

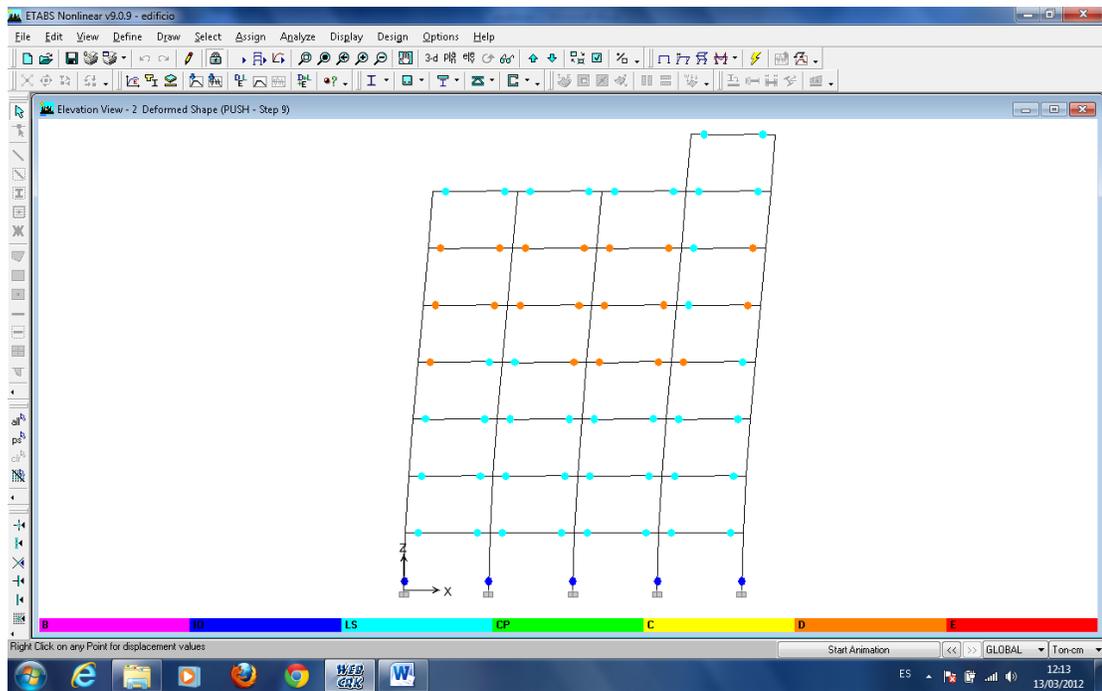


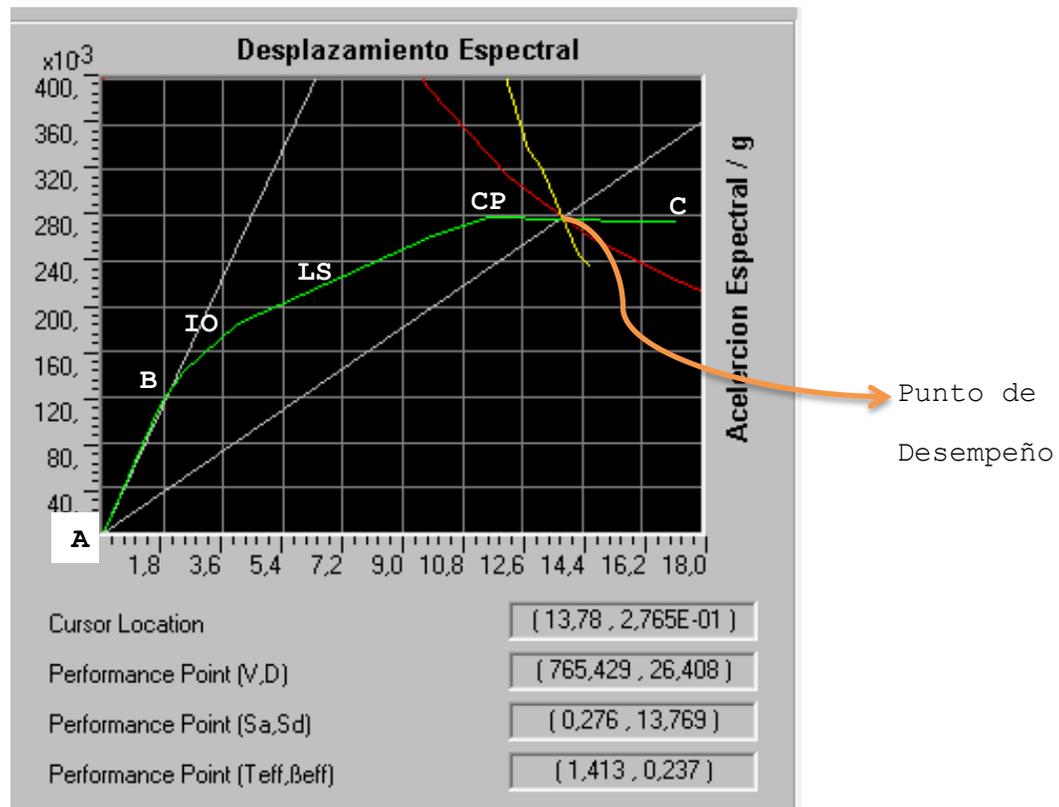
Figura 82 Deformación por Pushover paso 9

Vemos que aparecen rotulas plásticas del tipo D en el paso 9 con una deformación de 32,15cm en el sentido en X.

Point Displacements			
Point Object	11	Story Level	STORY8
	X	Y	Z
Trans	32,158175	18,441863	0,009918
Rotn	-0,009412	0,016446	0,001610

Lateral Drifts...

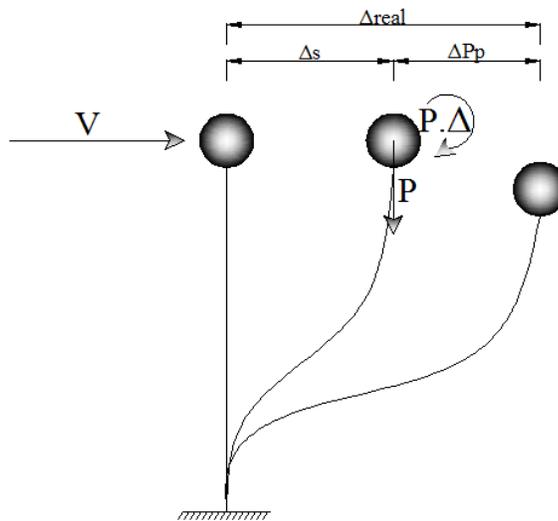
### 6.6.13.7.- DESEMPEÑO DE LA ESTRUCTURA



Como podemos observar en el gráfico el punto de Desempeño se encuentra antes de llegar al punto C es decir la estructura soportara el sismo sin que esta colapse, pero se encuentra dentro del nivel CP este nivel de desempeño es de Colapso Preventivo, es decir ha perdido en gran parte su resistencia y rigidez y se han producido grandes deformaciones permanentes. La estructura ha sufrido mucho daño por lo cual puede sucumbir si es que sucede una réplica de la excitación sísmica, este nivel no es técnicamente reparable, y se recomienda derrocar.

#### **6.6.14.- EL EFECTO P-DELTA.-**

El efecto P-delta en un piso dado es causado por la excentricidad de la carga gravitatoria presente por encima del piso, la cual produce momentos secundarios aumentando las deflexiones horizontales y las fuerzas internas. Este efecto debe tenerse en cuenta cuando el índice de estabilidad ( $Q_i$ ) excede a 0.1, ó en zonas sísmicas 3 y 4 cuando la relación de desplazamiento de piso excede a  $0.02/R$ . (código UBC 97)



**Figura 83 Efecto P-Delta**

Vamos a agregar el efecto P-Delta a nuestro análisis de Pushover para lo cual abrimos el candado del análisis hecho.

#### 6.6.14.1.- EFECTO P-DELTA EN ETABS

Vamos al menú DEFINE - STATIC NONLINEAR/PUSHOVER CASES en la ventana que se nos abre presionamos MODIFY/SHOW CASE

En el área de GEOMETRIC NONLINEARITY escogemos el efecto P-Delta y presionamos OK y mandamos analizar el programa nuevamente en análisis inelástico y estático no lineal

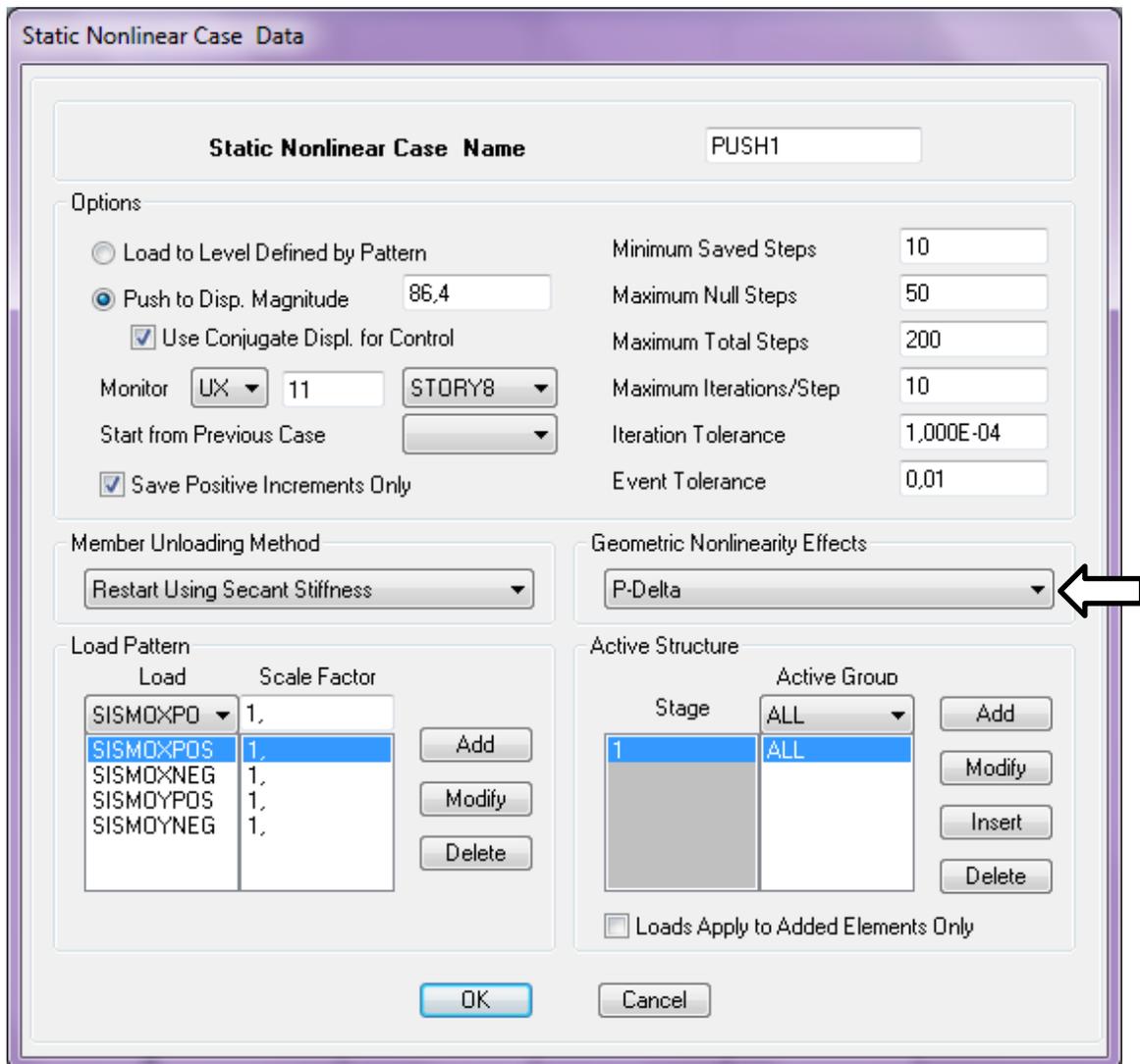


Figura 84 Ventana para agregar el efecto P-Delta

### 6.6.14.2.- CURVA DE PUSH-OVER CON EL EFECTO P-DELTA

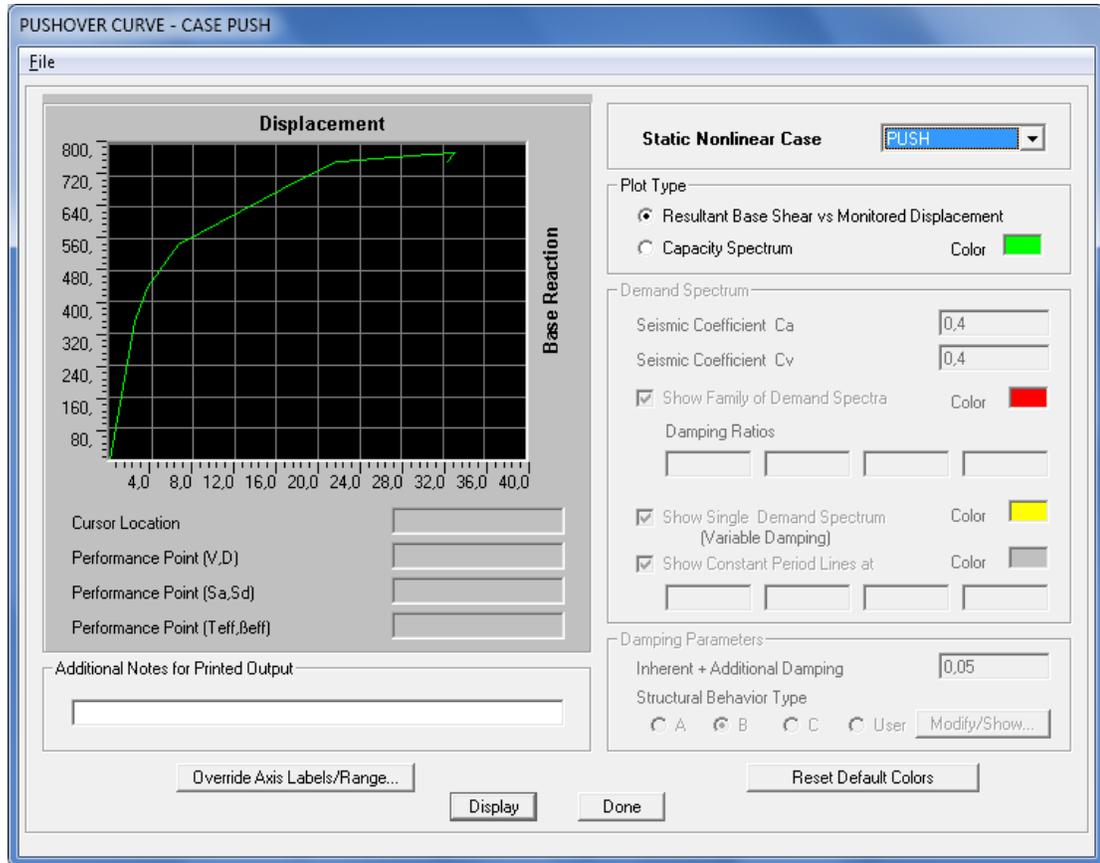


Figura 85 Curva de Pushover con efecto P-Delta

Como vemos con el efecto P-Delta la curva de push-over se ha modificado tenemos un valor mas bajo para la reacción en la base y la deformación es menor como veremos en la graficas posteriores.

### 6.6.14.3.- ESPECTRO DE CAPACIDAD CON EL EFECTO P-DELTA

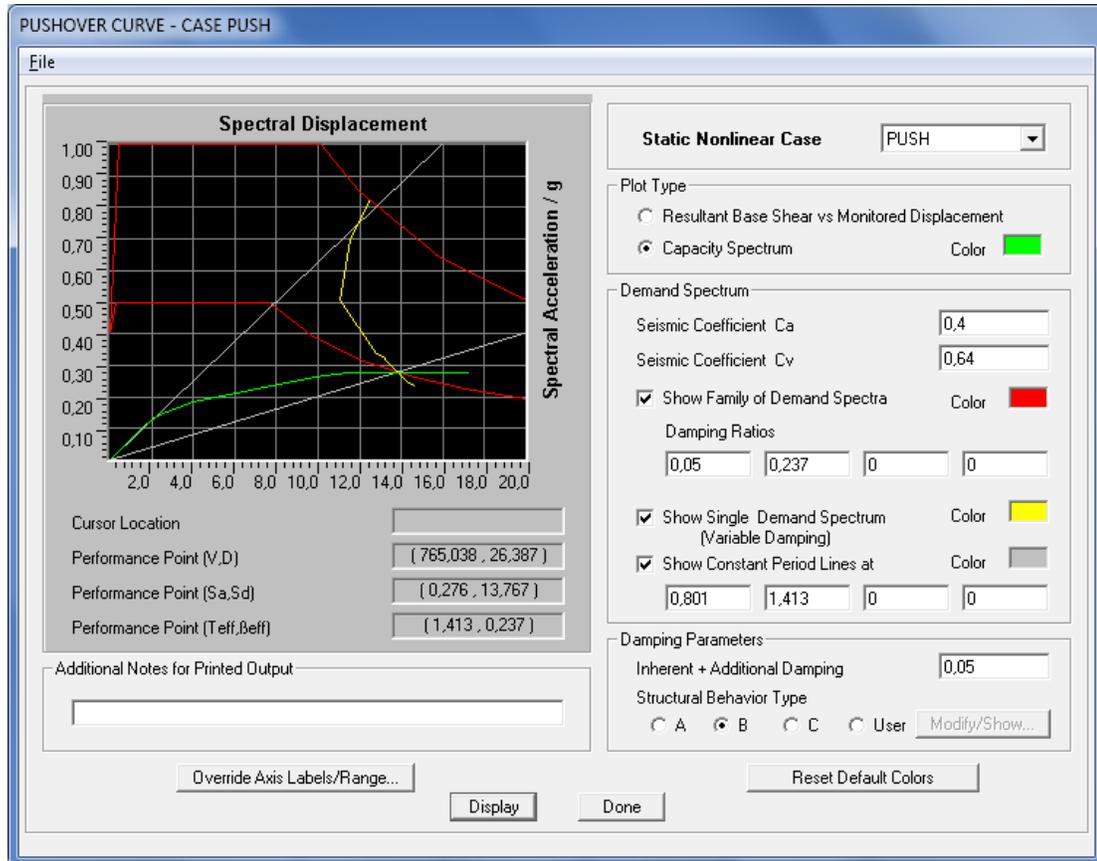


Figura 86 Espectro de capacidad con el efecto P-Delta

	Sin efecto P-Delta	relación	Con efecto P-Delta
Max. Capacidad de Cortante Basal V (Ton.)	765,429	>	765,038
Max. Capacidad de Deformación D (cm.)	26,408	>	26,387
Aceleración Espectral de desempeño Sa (g.)	0,276	=	0,276
Desplazamiento Espectral de desempeño Sd (cm.)	13,769	>	13,767
Tiempo efectivo de vibración Teff (seg.)	1,413	=	1,413
El Damping (amortiguamiento) efectivo Beff	0,237	=	0,237

**Tabla 17 Comparación de resultados del efecto P-Delta**

El efecto P-Delta ha reducido la capacidad de Cortante Basal, la Capacidad de Deformación y el Desplazamiento Espectral

#### **6.6.14.4.- DEFORMACIÓN DEL PUSH-OVER CON EL EFECTO P-DELTA**

Así mismo para ver la deformación de la estructura vamos al menú DISPLAY - SHOW DEFORMED SHAPE y en el cuadro escogemos la carga de PUSH1.

También verificaremos la deformación en el nudo 11 del piso 8

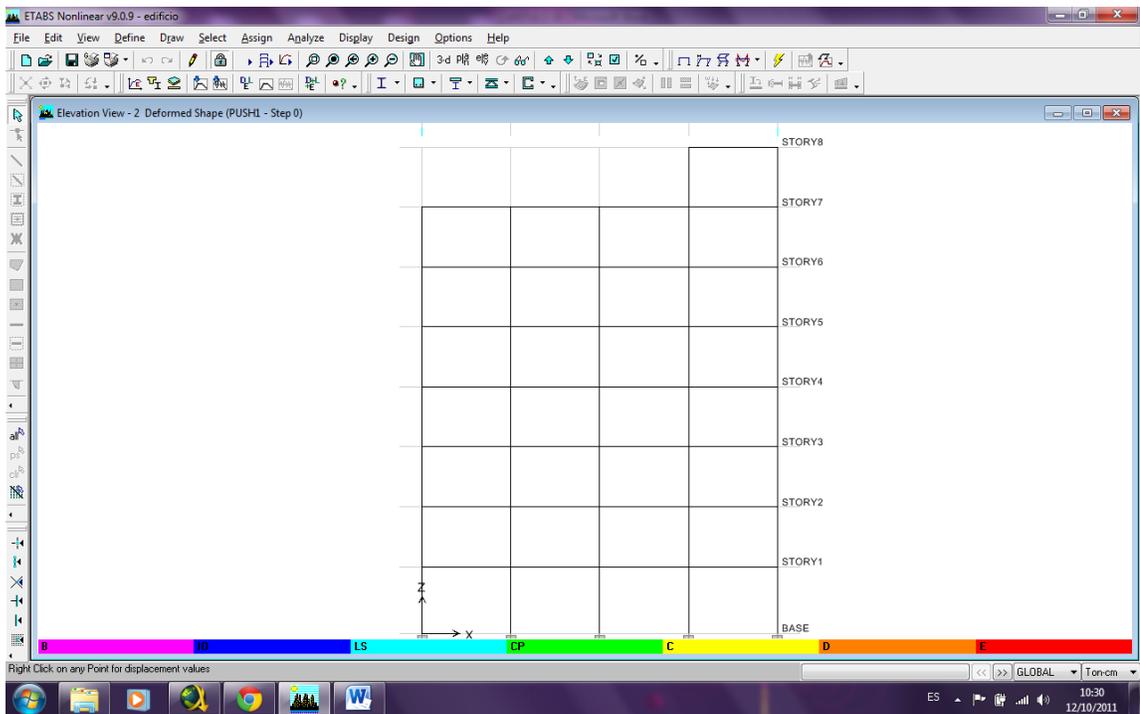


Figura 87 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 0

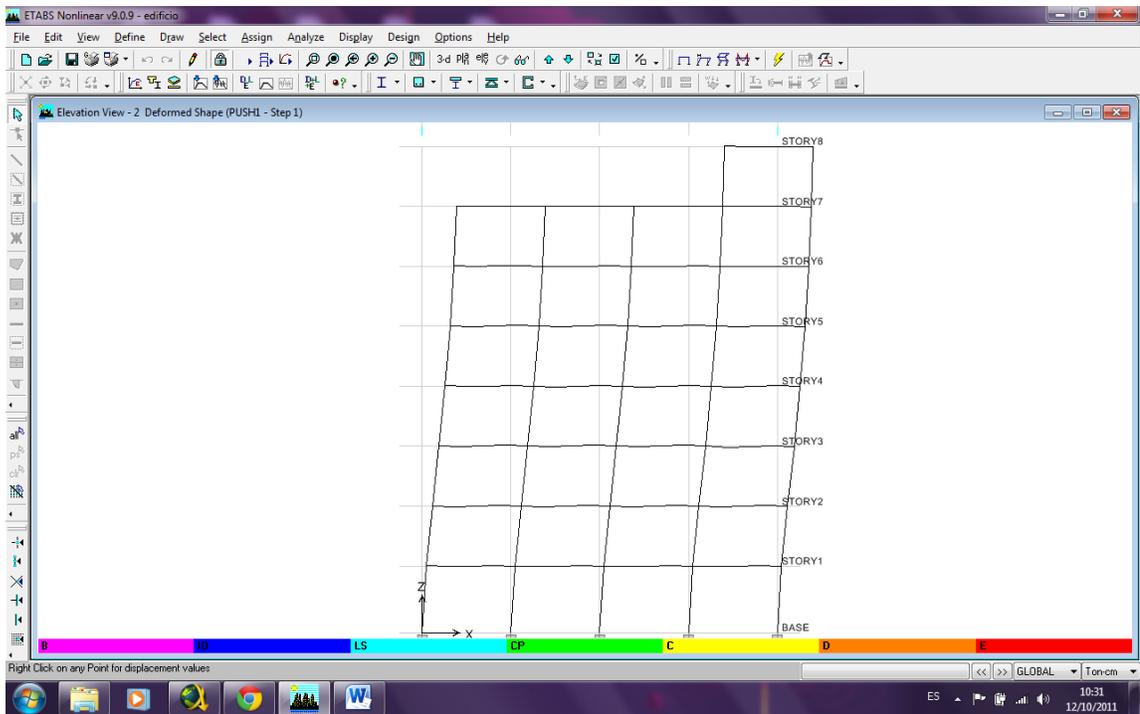


Figura 88 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 1

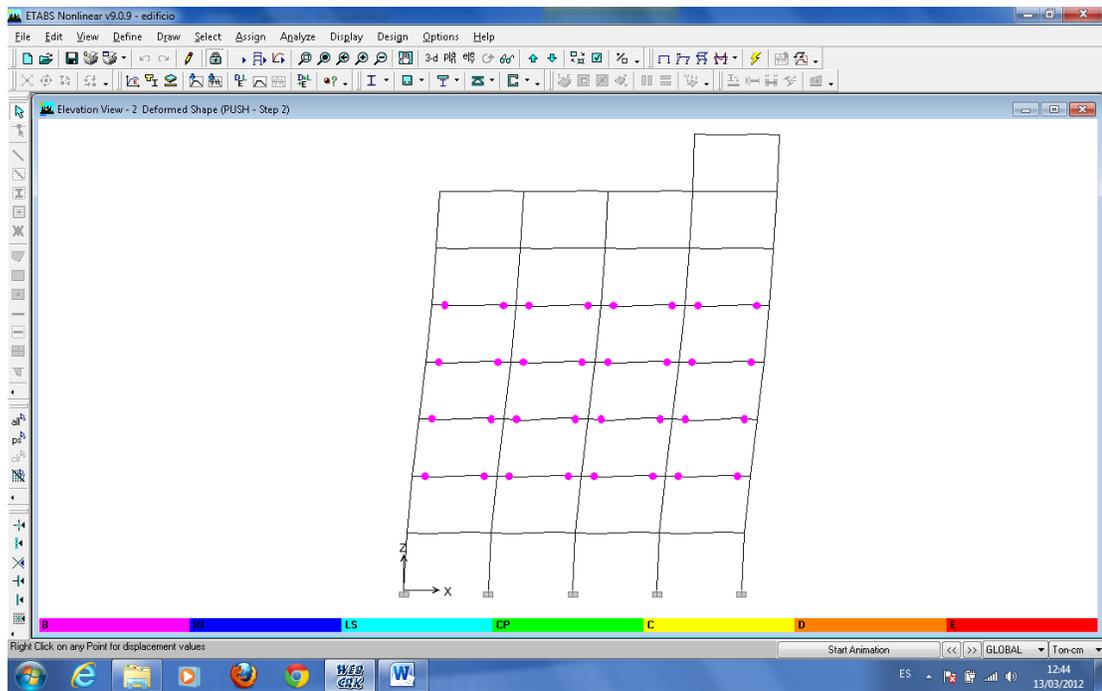


Figura 89 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 2

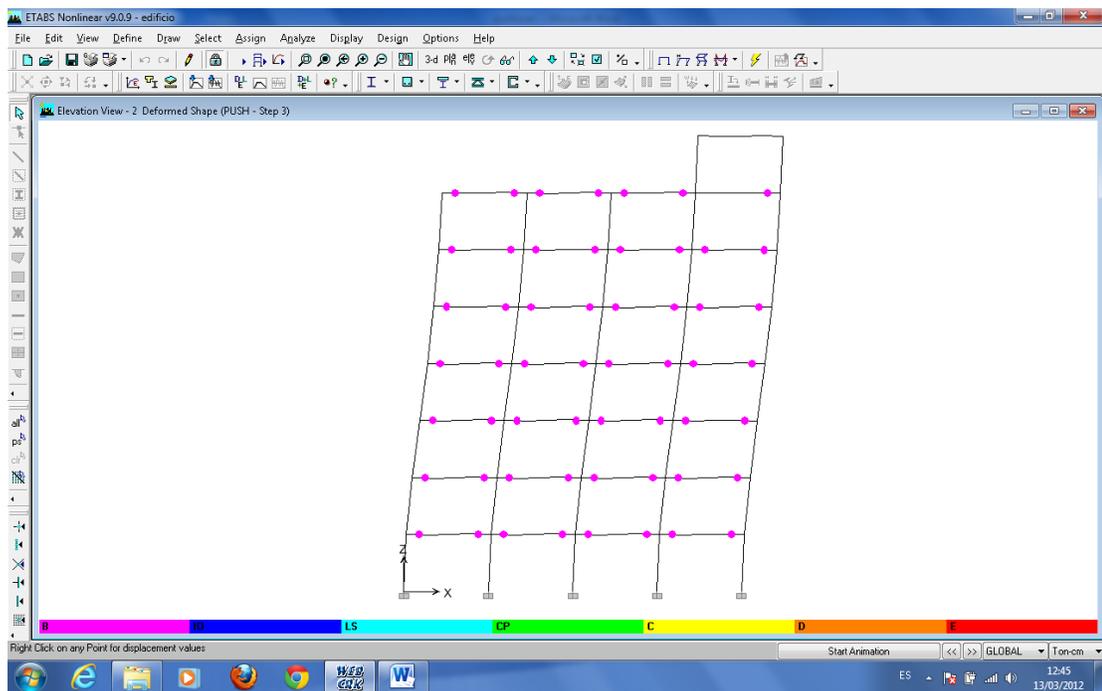


Figura 90 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 3

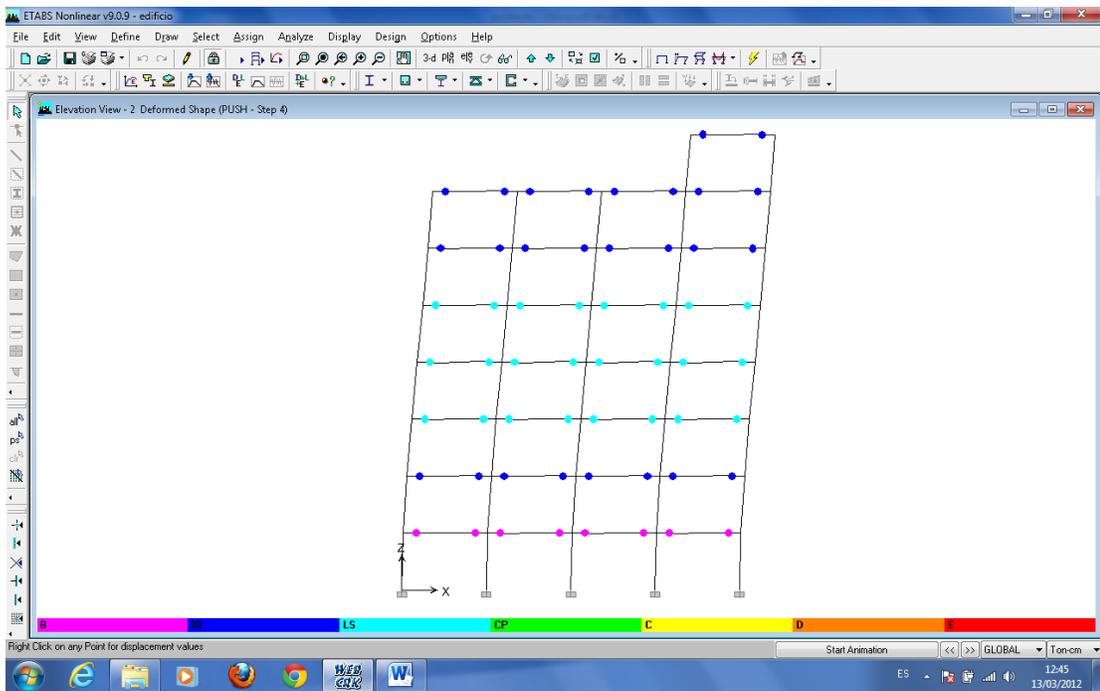


Figura 91 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 4

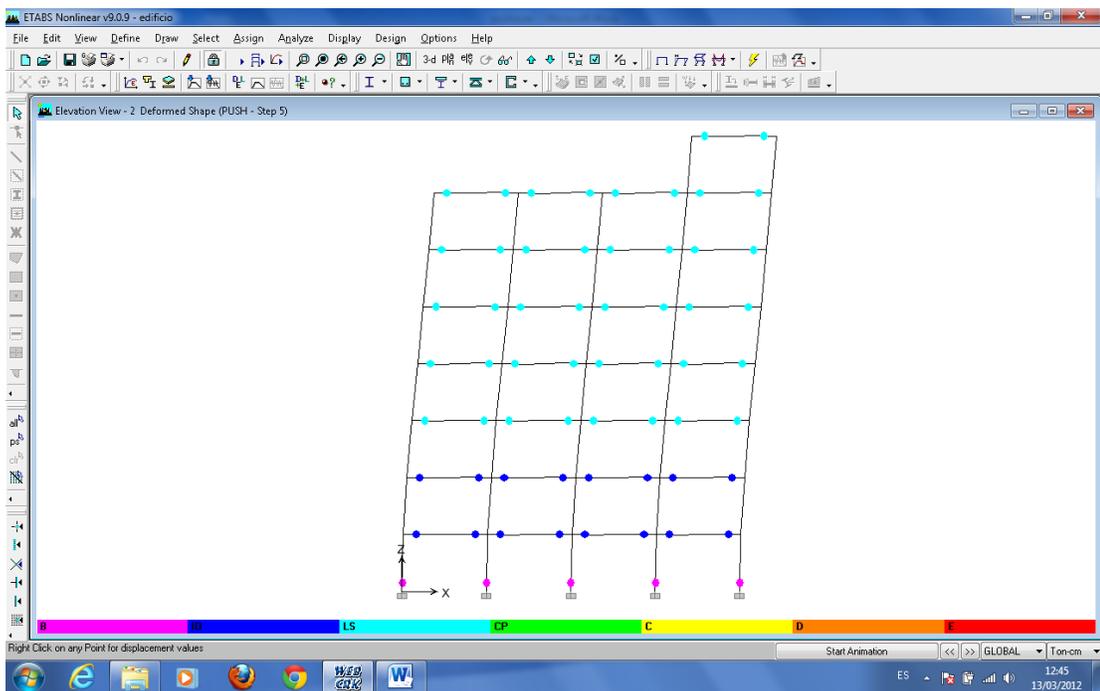


Figura 92 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 5

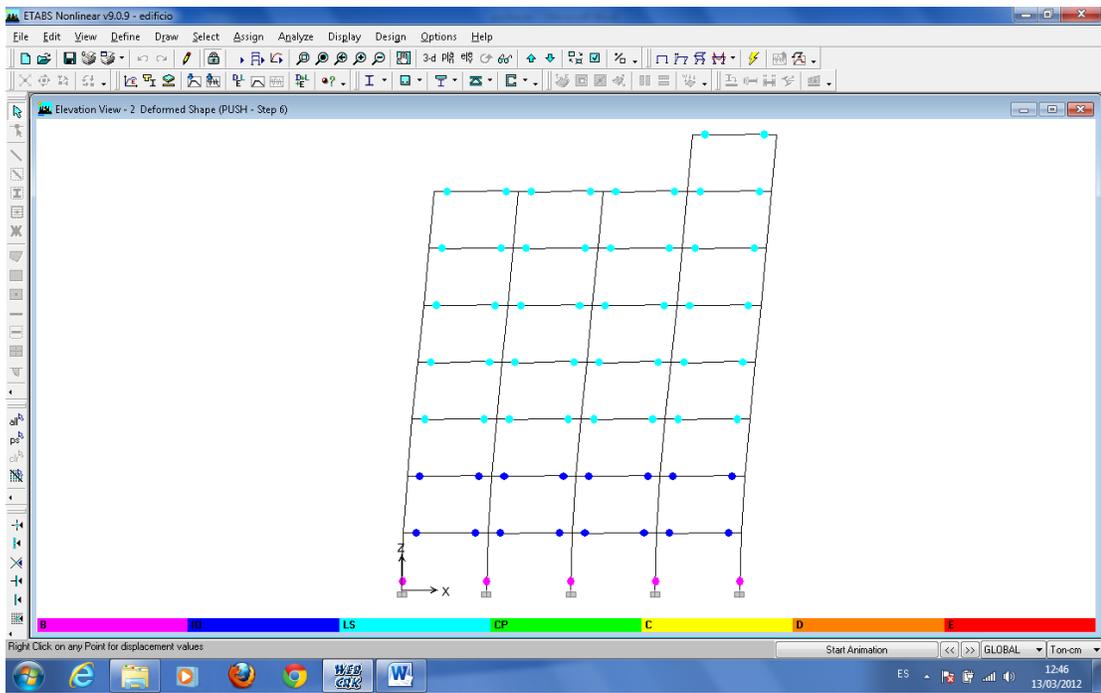


Figura 93 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 6

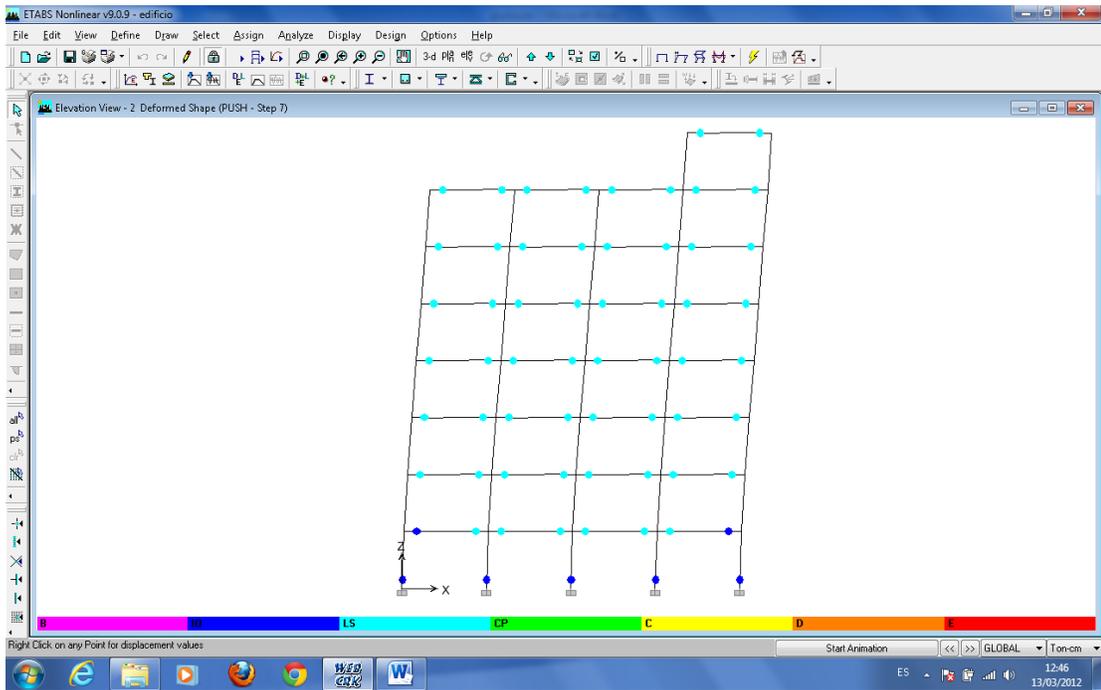


Figura 94 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 7

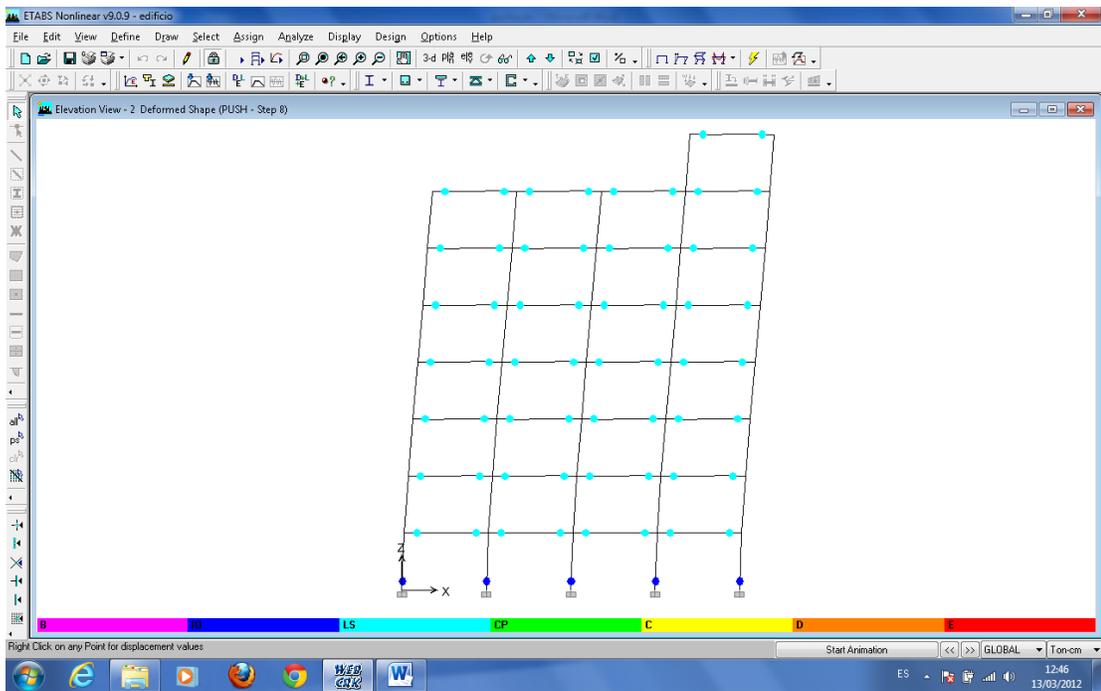


Figura 95 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 8

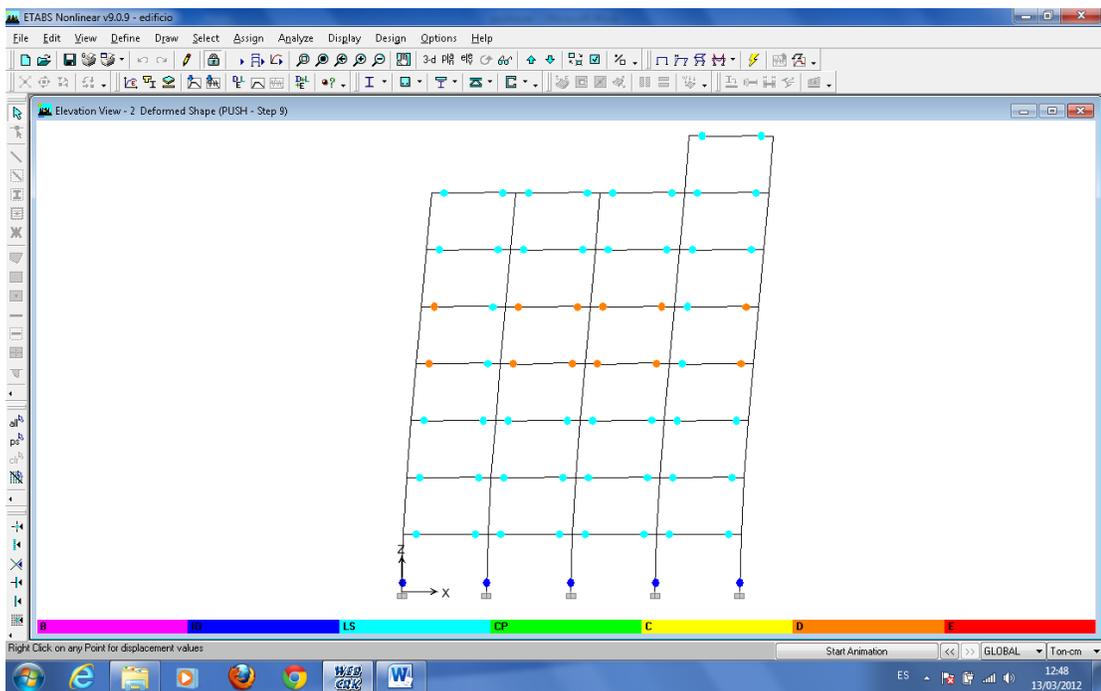


Figura 96 Deformación por Pushover con efecto P-Delta paso 9



- En el paso 8 vemos que aparecen rotulas de tipo D con una deformacion de 32,34 cm en el nudo de control

## 6.7.- METODOLOGÍA MODELO OPERATIVO

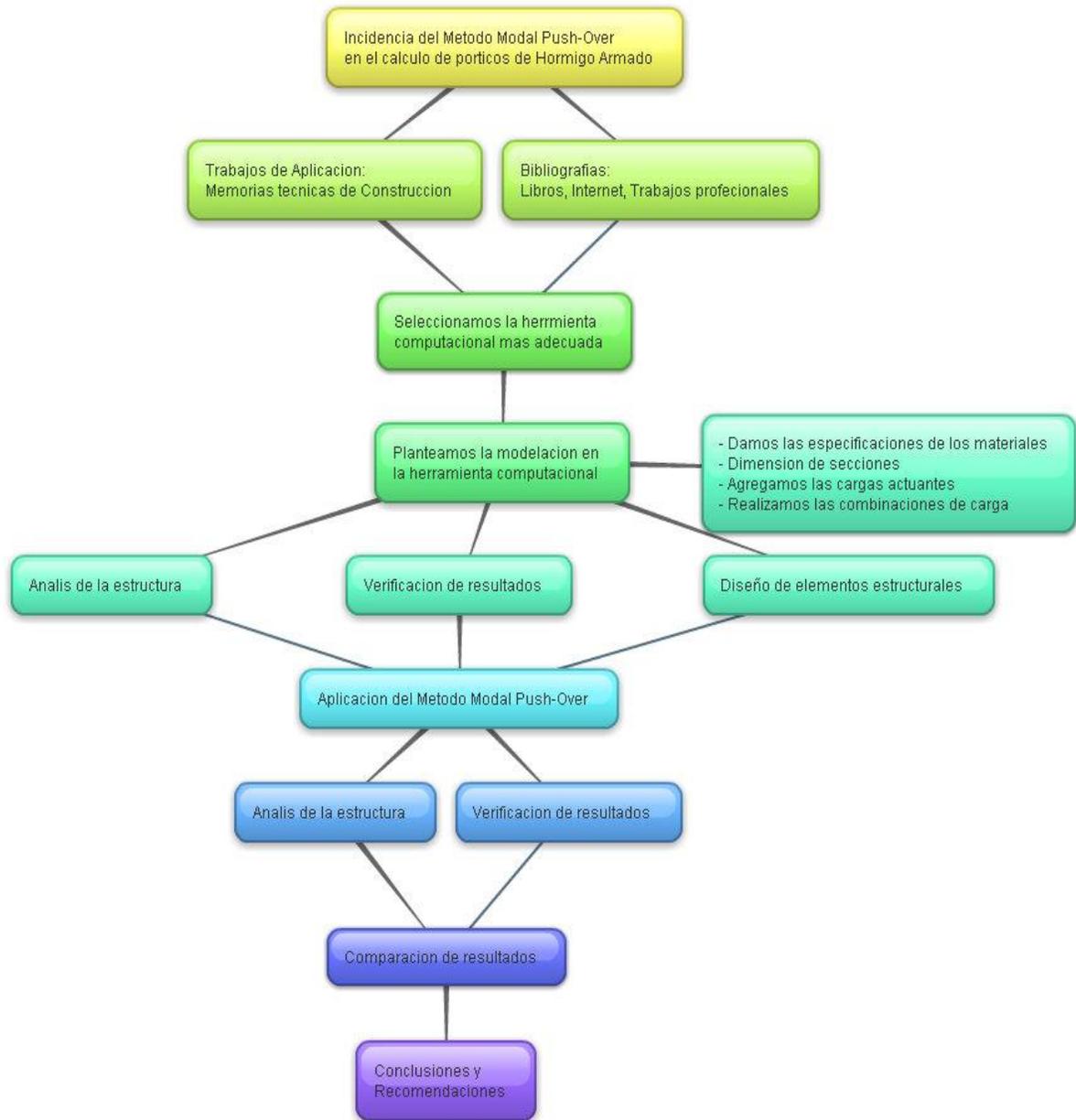


Figura 97 Metodología Modelo Operativo

## **6.8.- ADMINISTRACIÓN**

Para la administración adecuada de la propuesta mencionada en este proyecto, es necesario conocer el lugar donde se piense aplicar el análisis del Pushover, también es necesario conocer las especificaciones de los materiales a utilizarse y que los profesionales tengan la responsabilidad de realizar todas las verificaciones necesarias para tener una buena modelación, y ver el comportamiento dinámico de la estructura, y de esta manera tener buenos resultados para el diseño final.

### **6.8.1 RECURSOS HUMANOS Y TÉCNICOS**

Tratándose de un tema del que requiere de conocimientos técnicos, es impórtate que las instituciones cuenten con un mínimo de personal capacitado para la supervisión y control en la construcción de un edificio, para que cumplan con todos los requerimientos y especificaciones necesarias, ya que seria infructuoso que haya un riguroso calculo estructural si al momento de construir no se cumple con las especificaciones indicadas.

- Un Ingeniero residente para que tenga un control en la obra de todo lo que se realiza en la construcción.

- Un Ingeniero Fiscalizador, para la identificación y supervisión de la obra para que cumplan con todas las especificaciones.

- Un Ingeniero Estructural que asesore y resuelva sobre cambios necesarios que puedan tener en obra.

- En cuanto a equipo y materiales, se requiere equipos de computación, equipos de construcción, materiales de oficina y materiales de excelente calidad para la construcción.

## **6.9.- PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN**

Para que la propuesta de esta investigación tenga una adecuada aplicación y un buen funcionamiento es necesario que todos los interesados en el proceso de la construcción puedan comprender cabalmente el proceso del método push-over como se ha indicado en este trabajo, también es necesario conocer el tipo de estructura al que se quiere aplicar un push-over y ver si el proyecto amerita tal modelación.

Por eso es necesario redactar documentos que aclaren el tipo de proyecto y los procedimientos a seguir, entre ellos están:

Memoria descriptiva de los procesos de análisis: lista de normas empleadas, descripción de los procedimientos de análisis, hipótesis de análisis: vínculos, acciones, etc., información que permita interpretar los aspectos analíticos del proyecto.

Memoria de análisis: todos los resultados del análisis y verificación de los componentes de la estructura. Es aconsejable que las salidas de los programas, que suelen ser voluminosas, se presenten en anexos a la misma.

Las especificaciones técnicas particulares: es aconsejable remitir la especificación a las normas en todo lo posible, para evitar documentos extensos.

En toda la preparación de la documentación se debe tener presente que es necesario presentar toda la información del modo más claro posible. No es cuestión de producir documentos extensos sino completos y claros. La memoria de todos los

proyectos estructurales deben constar de un Anexo de Cálculo, en donde se justifique razonadamente, el cumplimiento de las condiciones que exigen a la estructura en su conjunto y a cada una de las partes en las que puedan suponerse dividida, con objeto de garantizar la seguridad y la buena funcionalidad.

#### **7.- VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

La aplicación del método "modal push-over" en el calculo de una estructura formada por pórticos de Hormigón Armado nos ha dado como resultado el desempeño sísmico de la estructura que en este caso esta en el rango de Colapso Preventivo, además de mostrarnos el desempeño de la estructura también nos ha mostrado otros datos importantes como son la Máxima Capacidad de Cortante Basal, la Máxima Capacidad de Deformación, el Tiempo Efectivo de Vibración, El amortiguamiento efectivo, La aceleración espectral y el Desplazamiento Espectral.