

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE LA FIABILIDAD DEL
MODELAMIENTO SÍSMICO EN EL RANGO NO LINEAL, EN
FUNCIÓN DEL TIPO DE MODELAMIENTO EMPLEADO**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN
ESTRUCTURAS**

ING. CARLOS ANDRÉS CELI SÁNCHEZ

DIRECTOR: M. en I. ROBERTO ARELLANO B.

Quito, Junio 2014

DECLARACIÓN

Yo Carlos Andrés Celi Sánchez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Carlos Andrés Celi Sánchez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Andrés Celi Sánchez, bajo mi supervisión.

M. en I. Roberto Arellano B.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Al M. en I. Roberto Arellano B., por todas las horas de dedicación a la supervisión de este trabajo, por su exigencia y orientación, no solo durante la tesis, sino durante estos 3 años de maestría.

A mis compañeros de maestría, por su apoyo y amistad, en especial a Abel Zambrano, Diego Arevalo y Diego Sosa.

A los profesores de la Escuela Politécnica Nacional, por sus valiosos conocimientos impartidos a lo largo del postgrado.

A mi familia por apoyarme incondicionalmente en todos los proyectos de mi vida. Gracias a mis padres que son un ejemplo de vida, y a mis hermanos.

A la familia Sosa Caiza, quienes me acogieron muy amablemente durante estos 3 años.

A Shiva, DB, DBZ y DBG, que siempre me han ayudado a sonreír aun en los peores momentos.

DEDICATORIA

A mi amado País, ECUADOR y a la bella tierra que me vio nacer, LOJA.

A mis padres Frans y Noralma

A todos mis amigos y amigas

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XV
PRESENTACIÓN	XVII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO 2	3
MODELO 2D DE LA ESTRUCTURA BÁSICA	3
2.1 INTRODUCCIÓN	3
2.2 ESTRUCTURA BÁSICA	3
2.3 ESTRUCTURA 2D.....	16
CAPÍTULO 3	18
MODELOS DE FIBRAS	18
3.1 MODELO PROPUESTO POR KARSAN Y JIRSA (1969).....	18
3.2 MODELO PROPUESTO POR PAPOVICS	20
3.2.1 CONCRETE01.....	25
3.2.1.1 Forma de definir el material concrete01 (OpenSEES).....	27
3.2.2 ELASTIC.....	27
3.2.2.1 Forma de definir el material Elastic (OpenSEES).....	28
3.2.3 STEEL01 (MODELO DE ACERO DE REFUERZO).....	29
3.2.3.1 Forma de definir el material Steel01 (OpenSEES).....	31
3.3 SECCIONES FIBRA (APORTE FLEXIÓN).....	32

3.4	SECCIONES FIBRA (APORTE CORTANTE).....	34
3.5	SECCIONES FIBRA (APORTE DE DEFORMACIÓN POR PENETRACIÓN).....	36
3.5.1	ELEMENTO DE LONGITUD CERO	37
3.5.1.1	Forma de definir Bond_SP01	40
3.6	PROGRAMACIÓN Y COMBINACIONES DEL MODELO ESTÁNDAR..	43
CAPÍTULO 4		86
MODELO CON BASE EN ZONAS PLÁSTICAS		86
4.1	INTRODUCCIÓN	86
4.2	ESTRUCTURA BÁSICA PARA MODELO SIMPLIFICADO	86
4.2.1	MOMENTO CURVATURA.....	87
4.2.1.1	Método de Dovelas	89
4.2.1.2	Método Convencional (variación del proceso de obtención del diagrama de interacción de un elemento).....	92
4.2.2	PROCESO PARA OBTENER LA CURVA DE CAPACIDAD DE LA ESTRUCTURA BASADA EN EL MÉTODO SIMPLIFICADO	103
4.3	MODELO SIMPLIFICADO EMPLEADO ASPD.....	110
4.4	ESPECTRO DE CAPACIDAD	114
4.5	PUNTO DE DESEMPEÑO Ó PUNTO DE DEMANDA.....	116
4.5.1	MÉTODO DEL ESPECTRO DE CAPACIDAD.....	117
4.5.1.1	Procedimiento A.....	120
4.6	ANÁLISIS NSP EMPLEANDO SAP2000	127
4.6.1	RESUMEN DE PASOS DE MODELAMIENTO NSP EN SAP2000	136
CAPÍTULO 5		139
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS COMPARATIVOS ENTRE AMBOS TIPOS DE MODELACIÓN.....		139
5.1	GENERALIDADES.....	139

5.2	RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS.....	139
5.2.1	NSP (NONLINEAR-STATIC-PUSHOVER).....	139
5.2.2	MECANISMO DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA.....	139
5.2.3	CRITERIOS DE DESEMPEÑO ESTRUCTURAL.....	140
5.2.4	PUNTO DE DESEMPEÑO.....	141
5.2.5	CAPACIDAD.....	141
5.2.6	DEMANDA.....	141
5.2.7	DESEMPEÑO.....	141
5.3	PARÁMETRO DE COMPARACIÓN.....	142
CAPÍTULO 6.....		143
CONFECCIÓN DE LA BASE ESTADÍSTICA.....		143
6.1	GENERALIDADES.....	143
6.2	BASE ESTADÍSTICA, MÉTODO DE ZONAS PLÁSTICAS.....	143
6.3	BASE ESTADÍSTICA, MÉTODO DE FIBRAS.....	148
CAPÍTULO 7.....		166
ANÁLISIS DE CURVAS DE PROBABILIDAD Y APRECIACIÓN DE TENDENCIA DE RESULTADOS.....		166
7.1	GENERALIDADES.....	166
7.2	CURVAS DE PROBABILIDAD PARA EL PARÁMETRO DE COMPARACIÓN ENTRE AMBOS MÉTODOS PARA ANÁLISIS NSP.....	166
7.3	TENDENCIA DE RESULTADOS.....	172
7.3.1	TENDENCIA DE RESULTADOS PARA EL MÉTODO DE ZONAS PLÁSTICAS.....	172
7.3.2	TENDENCIA DE RESULTADOS PARA EL MÉTODO DE FIBRAS.....	176
CAPÍTULO 8.....		178
COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....		178
8.1	GENERALIDADES.....	178

8.2	COMPARACIÓN DEL CORTANTE.	178
8.3	COMPARACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO.	179
8.4	DISPERSIÓN DEL PUNTO DE DESEMPEÑO.....	180
CAPÍTULO 9		181
CONCLUSIONES.....		181
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		185
ANEXOS		189

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Geometría general de la edif 1.....	3
FIGURA 2.2: Sección de análisis para borde exterior.....	7
FIGURA 2.3: Sección de análisis para borde interior.....	7
FIGURA 2.4: Diagrama de interacción de una columna interna de 55x55 cm.....	15
FIGURA 2.5: Ubicación de los mecanismos de disipación de energía.....	16
FIGURA 3.1: Comparación, curva Experimental monotónica y Analítica monotónica.....	19
FIGURA 3.2: Comparación, curva Experimental monotónica y Analítica cíclica..	20
FIGURA 3.3: Rutina (derg_E_papovic), para determinar los parámetros de Hormigón confinado y no confinado a emplear en OpenSEES.....	22
FIGURA 3.4: Curvas envolventes esfuerzo-deformación.....	24
FIGURA 3.5: Curva esfuerzo-deformación, típica del material concrete01.....	26
FIGURA 3.6: Curva esfuerzo-deformación, típica del material Elastic.....	28
FIGURA 3.7: Curva esfuerzo-deformación, típica del material Steel01.....	30
FIGURA 3.8: Endurecimiento isotrópico y cinemático (espacio multidimensional).....	30
FIGURA 3.9: Modelo del comportamiento histerético con endurecimiento isotrópico en compresión.....	31
FIGURA 3.10: Sección Fibra, columnas tipo 1.....	33
FIGURA 3.11: Modelo General.....	34
FIGURA 3.12: Seccion aggregator.....	35
FIGURA 3.13: Elemento fibra más efectos de deformación por penetración.....	35
FIGURA 3.14: Elemento fibra más efectos de deformación por penetración.....	36
FIGURA 3.15: Elemento típico a flexión más aporte de deformación por penetración.....	39
FIGURA 3.16: Esfuerzo monotónico vs deslizamiento de respuesta para el modelo Bond_SP01.....	41

FIGURA 3.17: Efecto de perforación representado por \$R en Bond_SP01.....	42
FIGURA 3.18: Determinación del deslizamiento de las barras de refuerzo longitudinal para un esfuerzo de deformación.....	42
FIGURA 3.19: Rutina (opensees_coordenadas_vigmedias).....	43
FIGURA 3.20: Numeración de nudos generados con la rutina (opensees_coordenadas_vigmedias).....	52
FIGURA 3.21: Numeración de elementos generados con la rutina (opensees_coordenadas_vigmedias).....	53
FIGURA 3.22: Programación, análisis gravitacional, cgl85.tcl (Modelo 85 OpenSEES).....	54
FIGURA 3.23: Programación, análisis NSP, AENL85.tcl (Modelo 85 OpenSEES).....	64
FIGURA 3.24: Post procesador gráfico.....	66
FIGURA 3.25: Filtrado de datos, rutina (curvas_opensees).....	67
FIGURA 4.1: Discretización de la estructura básica.....	87
FIGURA 4.2: Puntos notables, diagrama M - ϕ	89
FIGURA 4.3: Puntos notables, diagrama M - ϕ	93
FIGURA 4.4: Armado longitudinal, columna central primer piso.....	93
FIGURA 4.5: Idealización elasto-plástica, relación M - ϕ	94
FIGURA 4.6: Diagrama M - ϕ , columna central primer piso.....	95
FIGURA 4.7: Degradación de Inercia, columna central primer piso.....	95
FIGURA 4.8: Rutina (momento_curvatura), obtiene el diagrama M- ϕ y la degradación de la inercia de una sección.....	96
FIGURA 4.9: Curva de Capacidad, modelo simplificado.....	105
FIGURA 4.10: Rutina (pendulo_degradacion), obtiene la curva de capacidad simplificada.....	105
FIGURA 4.11: Grados de libertad por planta.....	111

FIGURA 4.12: Rutina (Copy_of_curva_capacidad), obtiene la curva de capacidad simplificada	111
FIGURA 4.13: Curva de Capacidad, modelo simplificado ASPD.....	114
FIGURA 4.14: Probable comportamiento de una estructura reforzada y no reforzada.....	117
FIGURA 4.15: Probable comportamiento de una estructura reforzada y no reforzada.....	119
FIGURA 4.16: Rutina (punto_desempeno), obtiene el punto de desempeño.....	122
FIGURA 4.17: Espectro de capacidad, Modelo 14 (OpenSEES), rutina (punto_desempeno).....	126
FIGURA 4.18: Punto de desempeño (primera aproximación).....	126
FIGURA 4.19: Punto de desempeño (intercepción).....	127
FIGURA 4.20: Relación carga-deformación, empleada por SAP2000.....	128
FIGURA 4.21: Generalización de la relación fuerza-deformación para elementos de hormigón.....	129
FIGURA 4.22: Curva de capacidad.....	135
FIGURA 4.23: Curva de capacidad, con el modelo de degradación global.....	135
FIGURA 4.24: Distribución de zonas plásticas, modelos 96 y 200.....	136
FIGURA 4.25: Curva de capacidad, modelo 158, SAP2000.....	137
FIGURA 4.26: Punto de desempeño, modelo 158, SAP2000.....	138
FIGURA 5.1: Generalización de la relación fuerza-deformación para elementos de hormigón.....	140
FIGURA 6.1: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 1 al 10.....	150
FIGURA 6.2: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 11 al 20.....	151

FIGURA 6.2: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 11 al 20.....	151
FIGURA 6.3: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 21 al 30.....	151
FIGURA 6.4: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 31 al 40.....	152
FIGURA 6.5: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 41 al 50.....	152
FIGURA 6.6: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 51 al 60.....	153
FIGURA 6.7: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 61 al 70.....	153
FIGURA 6.8: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 71 al 80.....	154
FIGURA 6.9: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 81 al 90.....	154
FIGURA 6.10: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 91 al 100.....	155
FIGURA 6.11: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 101 al 110.....	155
FIGURA 6.12: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 111 al 120.....	156
FIGURA 6.13: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 121 al 130.....	156
FIGURA 6.14: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 131 al 140.....	157
FIGURA 6.15: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 141 al 150.....	157
FIGURA 6.16: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 151 al 160.....	158
FIGURA 6.17: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 161 al 170.....	158
FIGURA 6.18: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 171 al 180.....	159

FIGURA 6.19: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 181 al 190.....	159
FIGURA 6.20: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 191 al 200.....	160
FIGURA 6.21: Curvas de capacidad (método zonas plásticas),modelos 2 al 200.....	160
FIGURA 6.22: Curvas de capacidad (método de fibras),modelos 1 al 10.....	161
FIGURA 6.23: Curvas de capacidad (método de fibras),modelos 11 al 20.....	161
FIGURA 6.24: Curvas de capacidad (método de fibras),modelos 21 al 30.....	162
FIGURA 6.25: Curvas de capacidad (método de fibras),modelos 31 al 40.....	162
FIGURA 6.26: Curvas de capacidad (método de fibras),modelos 41 al 50.....	163
FIGURA 6.27: Curvas de capacidad (método de fibras),modelos 51 al 60.....	163
FIGURA 6.28: Curvas de capacidad (método de fibras),modelos 61 al 70.....	164
FIGURA 6.29: Curvas de capacidad (método de fibras),modelos 71 al 80.....	164
FIGURA 6.30: Curvas de capacidad (método de fibras),modelos 81 al 90.....	165
FIGURA 6.31: Curvas de capacidad (método de fibras),modelos 1 al 90.....	165
FIGURA 7.1: Probabilidad de D_t vs D , rango CP, método zonas plásticas.....	171
FIGURA 7.2: Tendencia de resultados, variación del cortante (V) en función del modelo empleado, método de zonas plásticas.....	172
FIGURA 7.3: Tendencia de resultados, variación del desplazamiento (D) en función del modelo empleado, método de zonas plásticas.....	173
FIGURA 7.4: Coordenadas del punto de desempeño, en función del modelo empleado, método de zonas plásticas.....	173
FIGURA 7.5: Variación del cortante (V) entre niveles de desempeño, método de zonas plásticas.....	174
FIGURA 7.6: Variación del desplazamiento en el tope (D) entre niveles de desempeño, método de zonas plásticas.....	175
FIGURA 7.7: Porcentaje de ciclos, rotulas plásticas, desempeño CP, método de zonas plásticas.....	175

FIGURA 7.8: Tendencia de resultados, variación del cortante (V) en función del modelo empleado, método de fibras.....	176
FIGURA 7.9: Tendencia de resultados, variación del desplazamiento (D) en función del modelo empleado, método de fibras.....	177
FIGURA 7.10: Coordenadas del punto de desempeño, en función del modelo empleado, método de fibras.....	177
FIGURA 8.1: Variación del cortante (V) vs modelo empleado.....	178
FIGURA 8.2: Variación del desplazamiento (D) vs modelo empleado.....	179
FIGURA 8.3: Dispersión del punto de desempeño, ambos métodos.....	180

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: Secciones de vigas y columnas 1.....	4
TABLA 2.2: Cargas gravitacionales.....	4
TABLA 2.3: Parámetros de cálculo y resultados (borde interior y exterior).....	8
TABLA 2.4: Matriz de rigidez e inercia.....	9
TABLA 2.5: Parámetros de referencia, según CPE INEN 5:2001.....	10
TABLA 2.6: Resultados de solución del problema de valores propios.....	11
TABLA 2.7: Resultados C_m máximo por modo de vibración.....	11
TABLA 2.8: Factores de excitación sísmica y masa efectiva.....	12
TABLA 2.9: Respuestas máximas modales, fuerzas elásticas y distribución del Cortante por piso.....	13
TABLA 2.10: Resultados de cálculo (Viga 30x45cm).....	14
TABLA 2.11: Resultados de cálculo (Columna 55x55cm).....	14
TABLA 3.1: Datos de entrada y parámetros resultados (hormigón No hormigón).....	25
TABLA 3.2: Datos de entrada y parámetros resultados (Hormigón Confinado)..	25
TABLA 3.3: Detalle de rutina uniaxialMaterial Concrete01.....	27
TABLA 3.4: Detalle de rutina uniaxialMaterial elastic.....	29
TABLA 3.5: Detalle de rutina uniaxialMaterial Steel01.....	32
TABLA 3.6: Detalle de rutina uniaxialMaterial Bond_SP01.....	40
TABLA 4.1: Datos de entrada y parámetros resultados (hormigón no confinado).....	111
TABLA 4.2: Valores para modificar el amortiguamiento, factor k.....	121
TABLA 4.3: Valores para modificar el amortiguamiento, factor k.....	121
TABLA 4.4: Parámetros de Modelamiento y Criterios Numéricos Aceptados para el Procedimiento No-Lineal en Vigas de Hormigón Reforzado (FEMA-356).....	130

TABLA 4.5: Parámetros de Modelamiento y Criterios Numéricos Aceptados para el Procedimiento No-Lineal en Columnas de Hormigón Reforzado (FEMA-356).....	131
TABLA 4.6: Parámetros de Modelamiento y Criterios Numéricos Aceptados para el Procedimiento No-Lineal en la Conexión Viga-Columna de Hormigón Reforzado (FEMA-356).....	132
TABLA 6.1: Datos estadísticos, punto de desempeño, método de zonas plásticas.....	143
TABLA 6.2: Datos estadísticos, punto de desempeño, método de fibras.....	148
TABLA 7.1: Desplazamiento en rango CP, probabilidad de ocurrencia.....	167

RESUMEN

Las edificaciones con sistemas estructurales basados en pórticos, son las más comunes en las ciudades de nuestro país. En la actualidad, este tipo de sistemas estructurales son calculados en base a un análisis lineal del sistema resistente, basado principalmente en los esfuerzos teóricos de los materiales que componen dicho sistema; no obstante este tipo de análisis lineal, es controlado a través de desplazamientos lineales, extrapolados a desplazamientos inelásticos, a través de factores que consideran en cierta medida la capacidad dúctil de la estructura.

Este tipo de análisis lineal, aunque de buenos resultados presenta limitaciones por lo que, en esta tesis, se emplea dos métodos para realizar el análisis NSP (Análisis Estático No Lineal), dichos métodos son, el método de zonas plásticas asumidas y el método de fibras; este tipo de análisis provee mejor información al diseñador sobre el estado de la estructura a medida que la acción sísmica se produce. Para ello, de un pórtico de 4 vanos y 5 pisos, se realiza 200 combinaciones para el método de zonas plásticas y 90 para el método de fibras; tomando en consideración que dichas combinaciones obedecen a las características por las que cada método interpreta las principales propiedades de los materiales y configuración estructural, que intervienen en la no linealidad de los mecanismos de disipación de energía.

Se describen los criterios propuestos por varios autores para la representación de los tipos de materiales empleados en la forma de describir el sistema estructural resistente. En base al pórtico de 4 vanos y 5 pisos se realiza las combinaciones pertinentes basados en el método de fibras, tomando en consideración las contribuciones de flexión, cortante y deformación por penetración.

Para el método de zonas plásticas, se describe el procedimiento realizado para modelar combinaciones de la estructura básica; además se describe brevemente un análisis manual simplificado para obtener la curva de capacidad de la estructura, basado en las recomendaciones de ATC40 [4] y ASPD [3].

Se confecciona la base estadística, con base en a los cálculos respectivos de las rutinas y procesos desarrollados para esta tesis. Se observa la tendencia de los resultados estadísticos para ambos métodos (zonas plásticas y fibras).

Finalmente se realiza el análisis comparativo entre ambos métodos, tomando como referencia el punto de desempeño de la estructura para cada modelo realizado.

ABSTRACT

Buildings with structural frames based systems are the most common in the cities of our country. Currently, this type of structural systems are calculated based on a linear analysis of the resistant system, based mainly on the theoretical efforts of the materials that compose the system; however this type of linear analysis is controlled by linear displacements, extrapolated to inelastic displacements through factors considered to some extent, the ductile ability of the structure.

Although this type of linear analysis has showed good results, it has limitations, so in this thesis two methods were used for the NSP analysis (Nonlinear Static Analysis), method of assumed plastic zones and the method of fibers; This kind of analysis provide better information about the state of the edification to the designer, when the seismic action occurs. In frame of 4 spans and 5 stories, 200 combinations for the plastic zones method and 90 for the method of fiber were performed; considering that such combinations were obey to the characteristics for each method interprets the main properties of materials and structural configuration involved in the non-linearity of the energy dissipation mechanisms.

The criteria proposed by several authors for the representation of the types of materials used in the way of describing the structural system are described. Based on the frame of 4 spans and 5 stories combinations based on the method of fibers were preformed, taking into consideration the contribution of flexure, shear and strain penetration.

For the method of plastic zones, the procedure performed to model combinations of the basic structure is described; also is briefly described a manual analysis to obtain the capacity curve of the structure, based on the recommendations of ATC40 [4] and ASPD [3].

The statistical basis are constructed, based on the respective calculation routines and processes developed for this thesis. The tendency of the statistical results for both methods (plastic and fiber areas) is observed.

Finally, a comparative analysis of the two methods was performed, with reference to the point of performance of the structure for each model.

PRESENTACIÓN

Esta Tesis está organizada en nueve capítulos como se muestran a continuación:

Capítulo 1: Introducción.- Se describe la importancia de la investigación, debido a la importancia de conocer el grado de daño que una estructura al ser sometida a una acción sísmica.

Capítulo 2: Modelo 2D de la estructura básica.- Se determina el refuerzo longitudinal y transversal de las secciones estructurales del edificio a analizar, además de la geometría en general. Se determinan cargas gravitacionales y transversales, se escogió un pórtico, el cual se empleará para las futuras combinaciones de modelación 2D en el análisis NSP, empleando zonas plásticas y fibras.

Capítulo 3: Modelos de Fibras.- Se presentan las descripciones teóricas de los criterios propuestos por varios autores para la representación de los tipos de materiales empleados en la forma de describir el sistema estructural resistente. Se describe el uso y combinaciones sobre un mismo modelo básico (descrito en el capítulo anterior) tomando en consideración las contribuciones de flexión, cortante y deformación por penetración; donde dichas contribuciones serán aplicadas en distintas combinaciones en las zonas de mecanismos de disipación de energía para vigas

Capítulo 4: Modelo con base en zonas plásticas.- Se describe el procedimiento realizado para modelar 200 combinaciones de la estructura básica; empleando el método NSP basado en zonas plásticas; además se describe brevemente un análisis manual simplificado para obtener la curva de capacidad de la estructura, basado en las recomendaciones de ATC40 [4] y ASPD [3].

Capítulo 5: Determinación de los parámetros comparativos entre ambos tipos de modelación.- Se citan brevemente los conceptos de las partes clave que definen un análisis NSP en forma general, y se determina el parámetro de comparación entre ambos métodos (zonas plásticas y fibras).

Capítulo 6: Confección de la base estadística.- Se realiza los cálculos respectivos con base en las rutinas y procesos descritos en capítulos anteriores, obteniendo una base estadística por cada método, para el pórtico en análisis.

Capítulo 7: Análisis de curvas de probabilidad y apreciación de tendencia de resultados.- Se analiza la probabilidad de ocurrencia, de los desplazamientos en el nivel de desempeño de prevención de colapso, para el método de zonas plásticas, atreves del método de distribución de probabilidad de Poisson; además se observa la tendencia de los resultados estadísticos para ambos métodos (zonas plásticas y fibras).

Capítulo 8: Comparación de resultados.- Se realiza el análisis comparativo entre ambos métodos, tomando como referencia el punto de desempeño de la estructura para cada modelo realizado.

Capítulo 9: Conclusiones.- Se desarrollan las conclusiones de la investigación. Se indica el aporte de esta Tesis y la necesidad de trabajos futuros.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.

Esta investigación presenta el análisis NSP por sus siglas en inglés (Nonlinear-Static-Pushover) realizado por diferentes tendencias de cálculos como son el método de zonas plásticas asumidas y el método de fibras, para un pórtico de 4 vanos y 5 pisos sometido a una carga monotónica; con una distribución de fuerzas laterales que corresponden a una combinación del primero y segundo modo de vibración de la estructura. Dichas fuerzas se aplican en ciclos únicamente de carga en forma incremental, hasta alcanzar un desplazamiento de control asumido, es decir se realiza un Análisis Estático No Lineal (NSP), se proveen mecanismos de disipación de energía, en función de tres distintas longitudes de zonas plásticas para las vigas del pórtico y una única longitud de zonas plásticas para todas las columnas para el método de zonas plásticas; mientras que para el método de fibras se empleó un elemento tipo fibra no lineal que abarque toda la longitud del mecanismo de disipación de energía tanto para vigas como para columnas. Al elemento no lineal se le incorporan propiedades, de flexión, corte y deformación por penetración en distintas combinaciones.

Se realizan 200 combinaciones de los probables mecanismos de rotulación para el método de zonas plásticas, y 90 modelos de combinaciones probables de elementos no lineales tipo fibra con aporte de cortante, flexión y deformación por penetración; comparando los resultados entre ambos métodos, a partir de un parámetro establecido (punto de desempeño); para ello se empleó programas como SAP2000 [11] , Matlab [14] y OpenSEES [18].

Se decidió realizar esta investigación puesto que el procedimiento de mayor aceptación en nuestro medio, es realizar un análisis lineal, para una estructura sometida a una distribución de fuerzas laterales, que provienen de un Análisis Estático o Dinámico; para finalmente comprobar entre otros parámetros, el cumplimiento de una deriva máxima permitida, que es función del Factor R (Factor de Reducción de Resistencia Sísmica), que a su vez está en función de la

ductilidad del sistema estructural, es decir se obtiene un desplazamiento relativo inelástico.

Este tipo de procedimiento, aunque de buenos resultados, presenta limitaciones al prever si la estructura controlada por ese desplazamiento inelástico, se encuentra en capacidad de resistir mayores deformaciones dentro de ciertos parámetros de seguridad. Puesto que las fuerzas para las cuales se controló el desplazamiento inelástico relativo, no necesariamente son las fuerzas laterales que pueden presentarse durante la vida útil de la estructura; se compensa esta deficiencia realizando cálculos adicionales como son el diseño de la conexión viga – columna, que supone diseñar un nudo fuerte que soporte las acciones del evento sísmico que supere al sismo de diseño; esto supone diseñar las conexiones para una combinación extrema de carga lateral; es por esta razón que el Diseño por Desempeño, provee una buena alternativa, asumiendo niveles de daño que se aceptan para una amplia variación de una carga lateral incremental.

Para realizar este tipo de control, se empleó un Análisis Estático No Lineal (NSP), un paso intermedio entre el análisis lineal elástico y el análisis no lineal dinámico [6]. Dentro del Análisis No lineal Estático, la técnica de Push Over es la más empleada, para determinar la curva de capacidad resistente de las estructuras ante acciones sísmicas; curva que relaciona el cortante V con el desplazamiento lateral máximo en el tope de la estructura (D_t).

La relación carga-deformación deberá seguir lo dispuesto en 6.4.1.2 del documento FEMA-356 [6]; dicho numeral, presenta el **Procedimiento No Lineal**, que en su parte pertinente dice: cuando se emplee un procedimiento no lineal para determinar las acciones en una estructura, la componente de respuesta de carga-deformación deberá ser representada por una relación no lineal de carga-deformación; pero se permitirá una relación lineal cuando la componente no ocurra donde se dé una respuesta no lineal [6]. De esta manera se concluye que nuestro medio necesita dar el siguiente paso, el cual es lograr que un análisis NSP tenga la misma o más difusión que el análisis lineal controlado por derivas inelásticas, no con esto menospreciando dicho método.

CAPÍTULO 2

MODELO 2D DE LA ESTRUCTURA BÁSICA

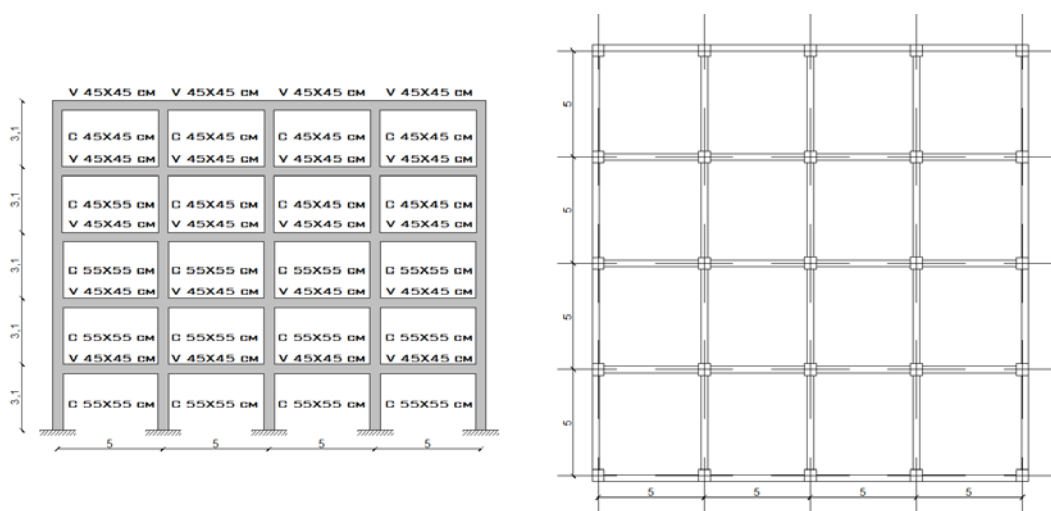
2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo trata sobre la modelación de la estructura básica, que determina el refuerzo longitudinal y transversal de las secciones estructurales del edificio a analizar, además de la geometría en general. Para ello se determinan cargas gravitacionales y transversales, con las cuales se realiza una modelación tridimensional de la estructura de la cual se escogió un pórtico, el cual se empleará para las futuras combinaciones de modelación 2D en el análisis NSP por sus siglas en inglés (Nonlinear-Static-Pushover), empleando zonas plásticas y fibras.

2.2 ESTRUCTURA BÁSICA

Para la presente investigación, se decidió analizar una edificación de 4 vanos y 5 pisos que se ilustra en la FIGURA 2.1, el detalle se muestra en el ANEXO1.

FIGURA 2.1: Geometría general de la edif 1



Elaboración: Carlos Celi

Se empleó para el análisis de la estructura, el programa comercial ETABS 8.12 [15], para lo cual se determinó las secciones como se ilustra en la TABLA 2.1, del

programa se tomaron las cargas por peso propio de los elementos estructurales y se añadió una sobrecarga muerta teórica de 0.20 t/m² debido a paredes - acabados y una carga viva de 0.20 t/m², dichas cargas gravitacionales empleadas se presentan en la TABLA 2.2.

TABLA 2.1: Secciones de vigas y columnas 2

Nivel	SECCIONES (cm)	
	COLUMNAS	VIGAS
3.10	55X55	45X30
6.20	55X55	45X30
9.30	55X55	45X30
12.40	45X45	45X30
15.50	45X45	45X30

Elaboración: Carlos Celi

TABLA 2.2: Cargas gravitacionales

Story	ElementType	Material	TotalWeight (t)	FloorArea (m ²)	
Nivel +15.50	Column	CONC	29.792	400	
Nivel +15.50	Beam	CONC	128.875	400	
Nivel +15.50	Floor	CONC	48.052	400	
Nivel +12.40	Column	CONC	29.792	400	
Nivel +12.40	Beam	CONC	128.875	400	
Nivel +12.40	Floor	CONC	48.052	400	
Nivel +9.30	Column	CONC	50.07	400	
Nivel +9.30	Beam	CONC	127.286	400	
Nivel +9.30	Floor	CONC	48.052	400	
Nivel +6.20	Column	CONC	50.07	400	
Nivel +6.20	Beam	CONC	127.286	400	
Nivel +6.20	Floor	CONC	48.052	400	
Nivel +3.10	Column	CONC	50.07	400	
Nivel +3.10	Beam	CONC	127.286	400	
Nivel +3.10	Floor	CONC	48.052	400	
Dead (ton/m ²)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.05
Live (Ton/m ²)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	PESO EN TONELADAS POR PISO				
	Nivel +3.10	Nivel +6.20	Nivel +9.30	Nivel +12.40	Nivel +15.50
Σ Wt(columnas)	50.07	50.07	39.93	29.79	14.90
Σ Wt(vigas)	127.29	127.29	127.29	128.88	128.88
Σ Wt(losa)	48.05	48.05	48.05	48.05	48.05
Σ Wt(sobrecarga)	80.00	80.00	80.00	80.00	20.00

Elaboración: Carlos Celi

El sistema estructural es una edificación basada en pórticos de 4 vanos de 5 metros cada uno, dando un total de área por planta de 200 m²; no se realizó el cálculo en sí de la conexión viga columna puesto que se realizó un análisis NSP empleando zonas plásticas y fibras, no obstante con los criterios de diseño que se mencionan más adelante, se garantiza en cierta medida el correcto comportamiento de los nudos de la estructura y sobretodo la filosofía de columna-fuerte-viga débil y nudo fuerte-viga-débil; en el apartado de conclusiones al final de esta investigación se presenta de forma más solventada esta idea.

Ya que se optó por una losa alivianada de 20 cm de peralte y de bloque comercial de pómez de 20x40cm, para la modelación 3d se empleó un elemento nervado compuesto por elementos tipo frame de 10 cm de ancho en su base y de un peralte total igual a 20 cm; además se empleó un elemento tipo membrana de un espesor muy pequeño como elemento trasmisor de carga.

A fin de obtener resultados coherentes con el método del nervio continuo, se agrietaron previamente las secciones de vigas principales de manera que su I_e (inercia efectiva) sea del 60 %, mientras que para las columnas $I_e = 90$ %; ya que el sistema de modelamiento de losa previamente descrito, presenta un nervio rectangular y un elemento membrana trasmisor de carga, la I_e para el nervio será del 100 % debido a que si optase por un nervio tipo T, debido al aporte de rigidez de la losa de compresión más un agrietamiento, la sección resultante resistente es muy similar al emplear una sección rectangular sin agrietar.

Se emplea los agrietamientos mencionados con base en las recomendaciones presentes en ACI 318-99 [2] y al armado longitudinal de dichas secciones, además de que esta combinación de agrietamientos y sistemas transmisores de carga, son los que en la modelación mediante ETABS 8.12 [15] presentan resultados de distribución de acciones más cercanas a resultados experimentales como son el método del nervio continuo.

Las secciones previamente indicadas en la TABLA 2.1, específicamente las dimensiones de las vigas principales, obedecen entre otros criterios al factor α (parámetro que determina si una losa funciona apoyada sobre vigas), según las recomendaciones ACI 318-99 [2], si este parámetro es mayor que 2, se considera

que la losa se considera apoyada sobre vigas, es decir tendrá un comportamiento teórico correcto en la distribución de esfuerzos; para la presente investigación se realizó este cálculo basándose en el procedimiento descrito en ACI 318-99 [2].

$$\bar{y}_{sb} = \frac{\sum_1^3 Area_i * Y_i}{\sum_1^3 Area_i} \quad (2.1)$$

$$\bar{y}_s = \frac{\sum_1^2 Area_i * Y_i}{\sum_1^2 Area_i} \quad (2.2)$$

$$I_{sb} = \sum_1^3 I_i * \sum_1^3 A_i * (y_i - \bar{y}_{sb})^2 \quad (2.3)$$

$$I_s = \sum_1^2 I_i * \sum_1^2 A_i * (y_i - \bar{y}_s)^2 \quad (2.4)$$

$$I_b = \frac{b * h^3}{12} \quad (2.5)$$

$$\alpha = \frac{I_b}{I_s} \quad (2.6)$$

donde:

\bar{y}_{sb} = Posición del centro de gravedad vertical, respecto del eje de referencia, del cuerpo compuesto de la figura 1 a la 3.

\bar{y}_s = Posición del centro de gravedad vertical, respecto del eje de referencia, del cuerpo compuesto de la figura 1 a la 2.

I_{sb} = Relación entre la sumatoria de Inercias.

I_s = Relación entre la sumatoria de Inercias.

I_b = Inercia gruesa de la viga principal.

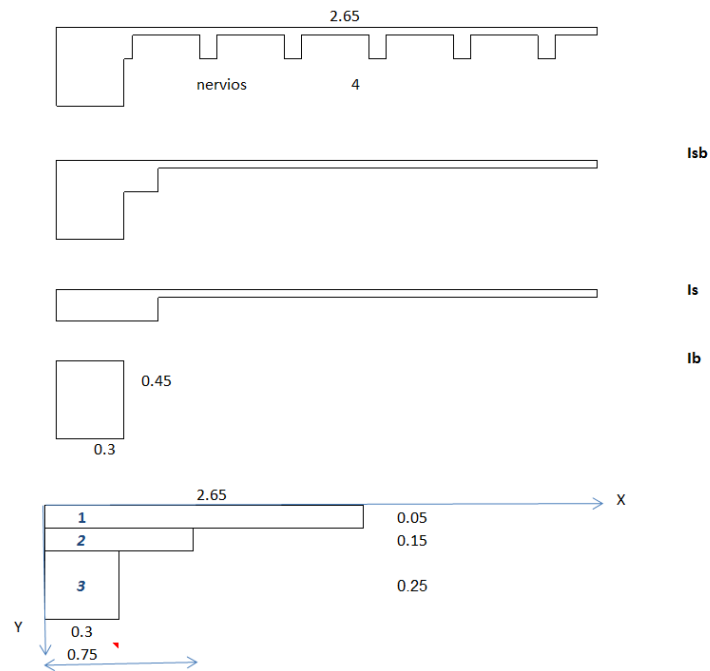
α = parámetro que determina si una losa se sienta apoyada sobre vigas.

$Area_i$ = Área de la sección i.

Y_i = Posición del centro de gravedad vertical, respecto del eje de referencia, del cuerpo i.

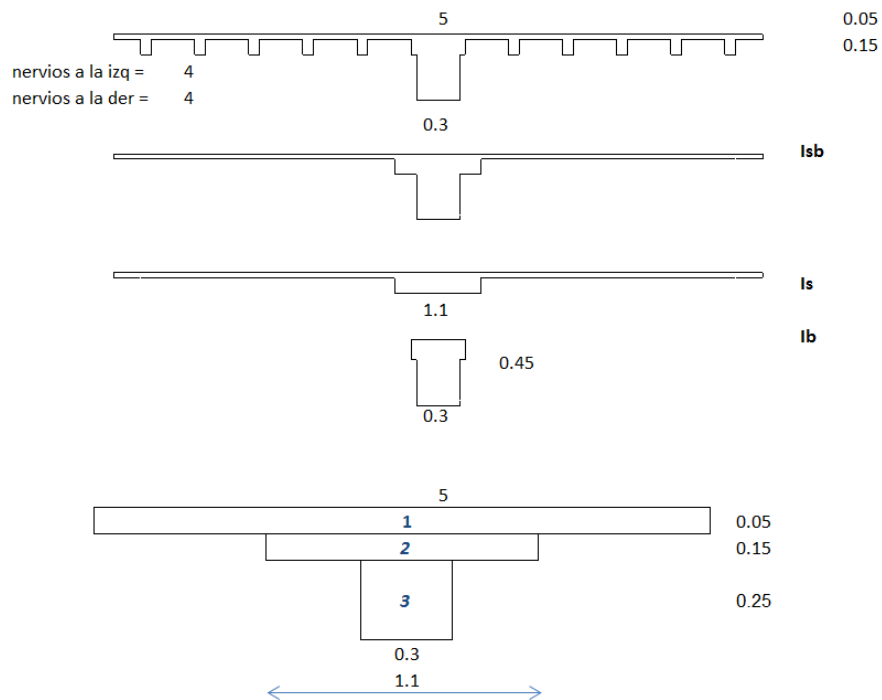
De acuerdo a las ecuaciones antes mencionadas se determinaron los valores de α , tanto para un panel exterior como interior, en las FIGURAS 2.2, 2.3 y en las TABLA 2.3, se presentan los resultados.

FIGURA 2.2: Sección de análisis para borde exterior.



Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 2.3: Sección de análisis para borde interior.



Elaboración: Carlos Celi

TABLA 2.3: Parámetros de cálculo y resultados (borde interior y exterior).

PANEL EXTERIOR								
		b(m)	h(m)		dimensión(m)			
Viga exterior 1		0.30	0.45	espesor de nervio	0.100			
Viga interior 1		0.30	0.45	Separación de nervios	0.50			
Viga exterior 2		0.30	0.45	Espesor de la losa (m)	0.05			
Viga interior 2		0.30	0.45	Altura de la losa nervada (m)	0.20			
Columna exterior		0.55	0.55					
Columna interior		0.55	0.55					
Figura	Área	yi	A*yi	l	yi- \bar{y} sb	yi- \bar{y} s	A*(yi- \bar{y} sb) ²	A*(yi- \bar{y} s) ²
1	0.1325	0.025	0.00331	2.8E-05	-0.10547	-0.04592	0.00147388	0.00027938
2	0.1125	0.125	0.01406	0.00021	-0.00547	0.05408	3.3646E-06	0.00032904
3	0.075	0.325	0.02438	0.00039	0.19453	0.25408	0.00283818	0.00484181
\bar{y} sb=	0.13046875							
\bar{y} s=	0.070918367							
Isb=	0.00494							
Is=	0.00085							
Ib=	0.00228							
PANEL EXTERIOR								
$\alpha=Ib/Is=$	2.689766823	losa sobre vigas						

PANEL INTERIOR								
		b(m)	h(m)		dimensión(m)			
Viga exterior 1		0.30	0.45	espesor de nervio	0.100			
Viga interior 1		0.30	0.45	Separación de nervios	0.50			
Viga exterior 2		0.30	0.45	Espesor de la losa (m)	0.05			
Viga interior 2		0.30	0.45	Altura de la losa nervada (m)	0.20			
Columna exterior		0.55	0.55					
Columna interior		0.55	0.55					
Figura	Área	yi	A*yi	l	yi- \bar{y} sb	yi- \bar{y} s	A*(yi- \bar{y} sb) ²	A*(yi- \bar{y} s) ²
1	0.25	0.025	0.00625	5.2E-05	-0.07959	-0.03976	0.001583715	0.0003952
2	0.165	0.125	0.02063	0.00031	0.02041	0.06024	6.87214E-05	0.0005988
3	0.075	0.325	0.02438	0.00039	0.22041	0.26024	0.003643482	0.0050794
\bar{y} sb=	0.10459							
\bar{y} s=	0.06476							
Isb=	0.00605							
Is=	0.00136							
Ib=	0.00228							
PANEL INTERIOR								
$\alpha=Ib/Is=$	1.68073							

Elaboración: Carlos Celi

Puesto que los programas comerciales tienen limitaciones sobre el diseño de las secciones estructurales, específicamente la consideración del refuerzo mínimo, máximo longitudinal, refuerzo transversal en vigas por corte por capacidad e inversión de momentos, se realizó un conjunto de rutinas en Matlab [14] para el diseño de las secciones de vigas y columnas, en función de las ecuaciones propuestas en ACI 318-99 [2], basadas en las combinaciones de carga propuestas en el mismo cuerpo normativo.

Para el cálculo de la distribución de las fuerzas laterales, se empleó el procedimiento descrito en CPE INEN 5:2001 [5], para el análisis estático y el dinámico, para ello se elaboró una subrutina en Matlab [14], que emplea las matrices de rigidez e inercia, TABLA 2.4; Se emplearon las ecuaciones descritas en CPE INEN 5:2001 [5], y los parámetros de referencia que se muestran en la TABLA 2.5.

TABLA 2.4: Matriz de rigidez e inercia.

		col tipo 1		col tipo 2		Inercias (m4)				Klateral (X)	Klateral (Y)	Masas
piso	h (m)	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)	Sentido X		Sentido Y		(ton/cm)	(ton/cm)	(ton*s ² *cm ⁻¹)
						lx1	lx2	ly1	ly2			
1.00	3.10	0.50	0.50	0.55	0.55	0.00521	0.00763	0.00521	0.00763	1224.233	1224.233	0.311
2.00	3.10	0.50	0.50	0.55	0.55	0.00521	0.00763	0.00521	0.00763	1224.233	1224.233	0.311
3.00	3.10	0.50	0.50	0.55	0.55	0.00521	0.00763	0.00521	0.00763	1224.233	1224.233	0.301
4.00	3.10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213	429.660	429.660	0.293
5.00	3.10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.00213	0.00213	0.00213	0.00213	429.660	429.660	0.216
Kx :		2448.47	-1224.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ton*cm ⁻¹
		-1224.23	2448.47	-1224.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		0.00	-1224.23	1653.89	-429.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		0.00	0.00	-429.66	859.32	-429.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		0.00	0.00	0.00	-429.66	429.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ky :		2448.47	-1224.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ton*cm ⁻¹
		-1224.23	2448.47	-1224.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		0.00	-1224.23	1653.89	-429.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		0.00	0.00	-429.66	859.32	-429.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		0.00	0.00	0.00	-429.66	429.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
M :		0.3106	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Ton*s ² *cm ⁻¹
		0.0000	0.3106	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
		0.0000	0.0000	0.3013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
		0.0000	0.0000	0.0000	0.2926	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2162	0.0000	

Elaboración: Carlos Celi

TABLA 2.5: Parámetros de referencia, según CPE INEN 5:2001.

Nivel	Carga por ml		
	WD (Ton/ml)	WL (Ton/ml)	WP (Ton/ml)
3.10	0.333	0.333	0.939
6.20	0.333	0.333	0.939
9.30	0.333	0.333	0.897
12.40	0.333	0.333	0.861
15.50	0.083	0.333	0.799

E = 200000 kg/cm²

f'c = 210 kg/cm²

R:	10.00
Z:	0.40
I:	1.00
g:	980.00
ΦEx :	0.90
ΦEy :	0.90
ΦP :	1.00
S :	1.20

Elaboración: Carlos Celi

Resolviendo el problema de valores propios, según las ecuaciones propuestas por Mario P.[21], y cuyos resultados se presentan en la TABLA 2.6.

$$[[m]^{-1} * [k]] * \{\emptyset\} = w^2 * \{\emptyset\} \quad (2.7)$$

$$[[k] - w^2 * [m]] * \{\emptyset\} = 0 \quad (2.8)$$

donde:

m = Matriz de inercia del sistema.

k = Matriz de rigidez del sistema.

w^2 = Valores propios.

\emptyset = Vectores propios.

Puesto que la rutinas se realizaron en Matlab, automáticamente el programa normaliza los resultados con las ecuaciones propuestas en Mario P.[21].

TABLA 2.6: Resultados de solución del problema de valores propios.

W1x :	17.268	s ⁻¹	T1x :	0.364	s
W2x:	40.083	s ⁻¹	T2x :	0.157	s
W3x:	64.760	s ⁻¹	T3x :	0.097	s
W4x:	83.789	s ⁻¹	T4x :	0.075	s
W5x:	114.281	s ⁻¹	T5x :	0.055	s

ΦNx :	-0.259082221	0.621085005	-0.487798229	-1.239812476	-0.995802564
	-0.498567101	0.989011658	-0.456567233	-0.271288315	1.307979668
	-0.70033967	0.953810625	0.060462446	1.180450797	-0.722219535
	-1.128813103	-0.221090165	1.355816541	-0.49469926	0.107560504
	-1.328073436	-1.154094053	-1.221109955	0.195326837	-0.0193047

Elaboración: Carlos Celi

A partir del espectro de aceleración para suelo S2, se determinaron los valores de C máximo para cada modo de vibración, TABLA 2.7, a su vez se calculó los factores de excitación sísmica y participación de masa efectiva para los modos de vibración de la estructura, con las ecuaciones propuestas en CPE INEN 5:2001 [5], dichos resultados se presentan en la TABLA 2.8.

TABLA 2.7: Resultados Cm máximo por modo de vibración.

i	1	2	3	4	5
Tx (seg)	0.364	0.157	0.097	0.075	0.055
Ty (seg)	0.364	0.157	0.097	0.075	0.055
caix	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Saix(cm*s ⁻²)	130.667	130.667	130.667	130.667	130.667
caiy	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Saiy(cm*s ⁻²)	130.667	130.667	130.667	130.667	130.667

Elaboración: Carlos Celi

TABLA 2.8: Factores de excitación sísmica y masa efectiva.

r :	1.00	Lx :	-1.0638
	1.00		0.4733
	1.00		-0.1424
	1.00		-0.2162
	1.00		-0.0933

i	1	2	3	4	5
Mmx,l (%)	79.060	15.649	1.417	3.266	0.609
Mmx,acum (%)	79.060	94.709	96.126	99.391	100.000
Mmy,l (%)	79.060	15.649	1.417	3.266	0.609
Mmy,acum (%)	79.060	94.709	96.126	99.391	100.000

Elaboración: Carlos Celi

En función de todos los parámetros previamente calculados, se determinaron las respuestas máximas modales y las fuerzas elásticas, de manera de poder realizar la superposición de efectos de manera de determinar la fuerza lateral aplicada por piso; ya que el número de grados de libertad es mayor que 5 y las frecuencias no son similares, se emplea la superposición de la sumatoria de las respuestas máximas modales junto con el denominado SRSS, ecuaciones descritas en CPE INEN 5:2001 [1].

$$R_{j,s} = \sum_{i=1}^n |R_{j,smáx}| \quad (2.10)$$

$$R_{j,p} = \sqrt{\sum_{i=1}^n R_{j,i^2máx}} \quad (2.11)$$

donde:

R_j = Fuerzas elásticas por modo de vibración (solo los modos que intervienen hasta que la masa efectiva alcance el 90 %).

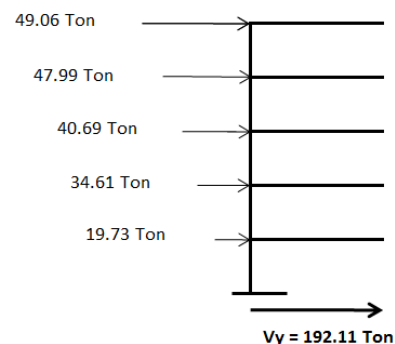
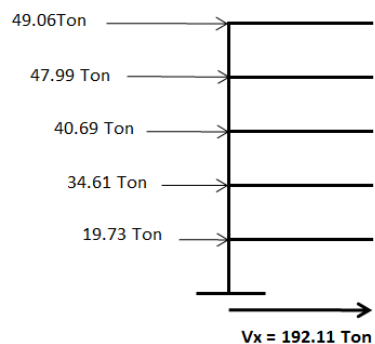
$R_{j,s}$ = Sumatoria absoluta de fuerzas máximas modales.

$R_{j,p}$ = Raíz cuadrada de la sumatoria de los cuadrados de las fuerzas elásticas (SRSS).

TABLA 2.9: Respuestas máximas modales, fuerzas elásticas y distribución del Cortante por piso

qmáx (X) :	0.120775	0.023907	0.002164	0.004989	0.000930	cm
	0.232415	0.038069	0.002026	0.001092	-0.001222	
	0.326475	0.036714	-0.000268	-0.004750	0.000674	
	0.526215	-0.008510	-0.006015	0.001991	-0.000100	
	0.619103	-0.044423	0.005417	-0.000786	0.000018	

Qmáx (X) :	11.185309	11.929718	2.819040	10.878622	3.772481	ton
	21.524546	18.996805	2.638552	2.380395	-4.955127	
	29.330319	17.772110	-0.338957	-10.047626	2.654121	
	45.909788	-4.000566	-7.381333	4.089140	-0.383866	
	39.910458	-15.430308	4.912132	-1.192982	0.050906	
Vx :		192.11		ton		ton
Vy :		192.11		ton		ton



Elaboración: Carlos Celi

Como se mencionó anteriormente, los programas comerciales no realizan el diseño adecuadamente de una estructura aporricada, razón por la cual se calculó manualmente el refuerzo transversal y longitudinal de vigas y columnas, empleando únicamente el refuerzo a torsión proporcionado por el programa; para realizar el diseño se usó las combinaciones de carga y criterios presentes en ACI 318-99 [2], se empleó este cuerpo normativo puesto que presenta combinaciones de carga y criterios de diseño compatibles con CPE INEN 5:2001 [5]; en las TABLAS 2.10 y 2.11 y FIGURA 2.4, se presentan algunos resultados de los cálculos manuales.

Previamente al diseño de los elementos se comprobó que la estructura cumpla con una deriva inelástica menor del 2 %, tomando en consideración que el factor de reducción de resistencia sísmica R para la presente estructura es igual a 10, recordando que este primer análisis es totalmente lineal y que esta deriva inelástica pretende transportar un desplazamiento lineal a uno inelástico mediante el uso del factor R , que es consecuencia del nivel de ductilidad de la estructura, es decir la capacidad del sistema resistente de disipar energía.

TABLA 2.10: Resultados de cálculo (Viga 30x45cm).

factor de ft =	2.7
ft =	39.13
Inercia =	227812.50 cm ⁴
Magr =	3.962 Ton -m
Asminagr =	3.05 cm ²
Asmin ACI =	3.23 cm ²
Asmin ACI =	3.90 cm ²

MU =	14.028	0	14.045
	-5.449	3.9835	-5.440
k =	0.1627	0.0000	0.1629
	0.0632	0.0462	0.0631
β =	0.0091	0.0000	0.0091
	0.0033	0.0024	0.0033
Asreq =	10.663	0.000	10.677
	3.846	2.780	3.839
Asmin =	5.07	5.07	5.07
	3.90	3.90	3.90
Asmax =	12.519	12.519	12.519
	18.7785	18.7785	18.7785
As final =	10.663	5.070	10.677
	5.331	3.900	5.339

Vuv =	3.89 ton
As11 =	3*v14+3*v16 ingresar exactamente asi en el subprograma "Mprobable"
As12 =	3*v14+1*v10 ingresar exactamente asi en el subprograma "Mprobable"
As21 =	3*v14+3*v16 ingresar exactamente asi en el subprograma "Mprobable"
As22 =	3*v14+1*v10 ingresar exactamente asi en el subprograma "Mprobable"
Luz libre =	4.45

Nota : Usar As11, As12, As21, As22, en el sub programa "Mprobable", junto con Vuv

Vs =	13.0912 ton	ingresar del resultado del subprograma
Vc =	2.735 ton	ingresar del resultado del subprograma

Elaboración: Carlos Celi

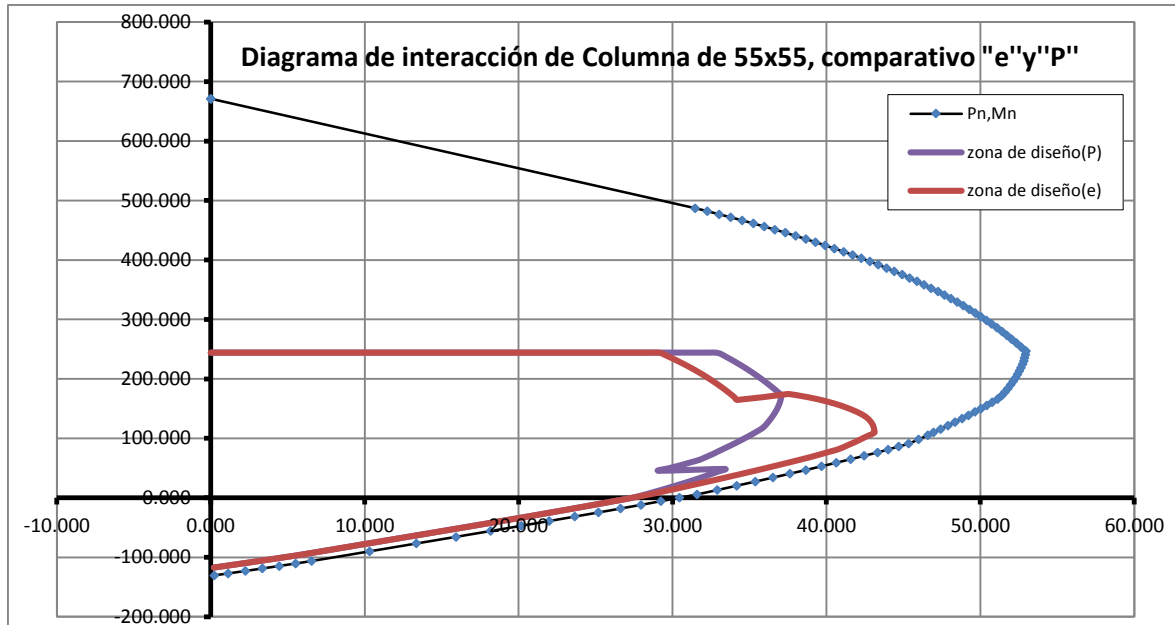
TABLA 2.11: Resultados de cálculo (Columna 55x55cm).

β1 =	0.85
Cb =	30.000 cm
ab =	25.500 cm
f's =	4200.00 Kg/cm ²
Cc =	250346.25 Kg
Cc =	250.346 Ton
Pb =	246693.825 Kg
Pb =	246.693825 Ton
Mb =	5296065.47
Mb =	52.961 Ton-m
eb =	0.215 m
P0 =	671220.9
P0 =	671.221 Ton
T0 =	131258.4
T0 =	131.258 Ton

RESUMEN		
Pb =	246.694	Ton
Mb =	52.961	Ton-m
Cb =	30.000	cm
eb =	0.215	m
P0 =	671.221	Ton
T0 =	131.258	Ton

Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 2.4: Diagrama de interacción de una columna interna de 55x55 cm.



Elaboración: Carlos Celi

El detalle de armado de los elementos resistentes se presenta en el ANEXO 2.

Como se observa en el ANEXO 2, se estandarizó el refuerzo para las vigas en 2 tipos de niveles de refuerzo, con sus respectivas variaciones de reforzamiento entre vanos y un único tipo de refuerzo para vigas, con su variación de armado entre los distintos niveles de la estructura.

Este detalle es preciso, puesto que para realizar un análisis **NSP** tanto por el método de zonas plásticas como por el método de fibras, es necesario conocer el refuerzo longitudinal y transversal de los elementos resistentes, así como también las propiedades de los materiales y la forma de distribución de las fuerzas laterales, además de criterios máximos de desplazamientos asumidos para el fin del cálculo.

Las fuerzas laterales calculadas se emplearán como las cargas monotónicas necesarias para realizar el análisis NSP, aunque no necesariamente serán las fuerzas tope que llevarán a la estructura a alcanzar el desplazamiento máximo de control, que se explicará en el capítulo 4 de esta misma investigación; la

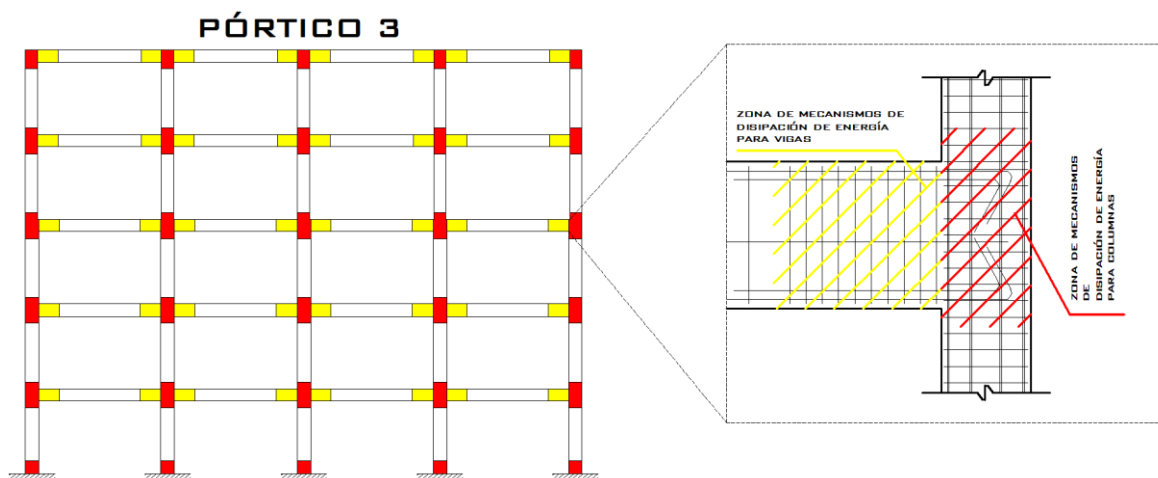
distribución vertical de la carga monotónica deberá seguir la forma que poseen las fuerzas verticales calculadas anteriormente (TABLA 2.9).

2.3 ESTRUCTURA 2D

Del análisis tridimensional descrito anteriormente, se decidió emplear el pórtico central de la estructura, es decir el pórtico 3 (ver ANEXO 1 y 2), puesto que es quien recibe la mayor cantidad de demanda sísmica y gravitacional, además de que al ser una estructura simétrica en ambas direcciones es indiferente si realizamos el análisis en dirección X o Y.

Tanto para el análisis NSP, por zonas plásticas o por fibras, la conceptualización teórica del Pórtico 3 será descrita por 90 mecanismos de disipación de energía mediante rotulas plásticas o zonas de fibras como se muestra en la FIGURA 2.5.

FIGURA 2.5: Ubicación de los mecanismos de disipación de energía



Elaboración: Carlos Celi

Dentro de las zonas de mecanismos de disipación de energía se ubicarán la posición teórica de la rótula plástica para el método de zonas plásticas, y cuando se emplee el método de fibras se usará toda la longitud del mecanismo de disipación de energía para simular un elemento no lineal, el cual degradará su rigidez y propiedades de material a medida que se someta a las acciones de la carga monotónica.

En los próximos capítulos se describirá el uso de estos métodos, la variación y susceptibilidad de los resultados a medida que se empleen combinaciones de los diferentes mecanismos de disipación de energía, como son el uso de diferentes posiciones relativas de la rótulas plásticas para el método de zonas plásticas y el uso de elementos fibras no lineales que empleen la combinación de flexión, corte y deformación por penetración (adherencia de las barras de acero entre miembros estructurales que se consideren en la transición de un medio empotrado a un elemento flexible “interacción entre la base de la estructura y la base de las columnas del primer piso”).

Para ello se emplea 200 combinaciones de zonas plásticas (posición relativa de la rótula plástica) mediante el método de zonas plásticas; para ello se usará el programa comercial SAP2000 [11] y subrutinas desarrolladas en Matlab para esta investigación. Además se realizarán 90 modelos de elementos fibras que usen combinaciones de análisis de flexión, corte y deformación por penetración, para ello se emplea programación basada en lenguaje TCL con una combinación de programación en OpenSEES [18] y Matlab [14].

CAPÍTULO 3

MODELOS DE FIBRAS

Para el presente capítulo se presentan en resumen las descripciones teóricas de los criterios propuestos por varios autores para la representación de los tipos de materiales empleados en la forma de describir el sistema estructural resistente; dicha representación se realizó mediante programación en OpenSEES para lo cual se presentará una breve descripción de los modelos teóricos que dicho programa emplea en función de las investigaciones previamente descritas.

Puesto que el interés de esta investigación es observar qué tan fiable es un tipo de modelación usando herramientas como OpenSEES [18], en este capítulo se describe el uso y combinaciones sobre un mismo modelo básico (descrito en el capítulo anterior) tomando en consideración las contribuciones de flexión, cortante y deformación por penetración (adherencia de las barras de acero entre miembros estructurales que se consideren en la transición de un medio empotrado a un elemento flexible; donde dichas contribuciones serán aplicadas en distintas combinaciones en las zonas de mecanismos de disipación de energía para vigas.

3.1 MODELO PROPUESTO POR KARSAN Y JIRSA (1969)

Aunque la acción sísmica es una acción de carga y descarga, el método empleado en esta investigación es **NSP** por sus siglas en inglés (Nonlinear-Static-Pushover), es decir se emplea una carga monótonica. No obstante los autores mencionados representan el comportamiento del material hormigón bajo varios tipos de acciones de carga y descarga de compresión para determinar la curva de comportamiento de dicho material.

La descripción de esta investigación es necesaria puesto que OpenSEES basa sus modelos de comportamiento del hormigón en investigaciones como la de los autores mencionados.

Cabe recalcar que en esta investigación se empleó el Concreto 01 (Forma de representación del hormigón OpenSEES), para la elaboración de los elementos

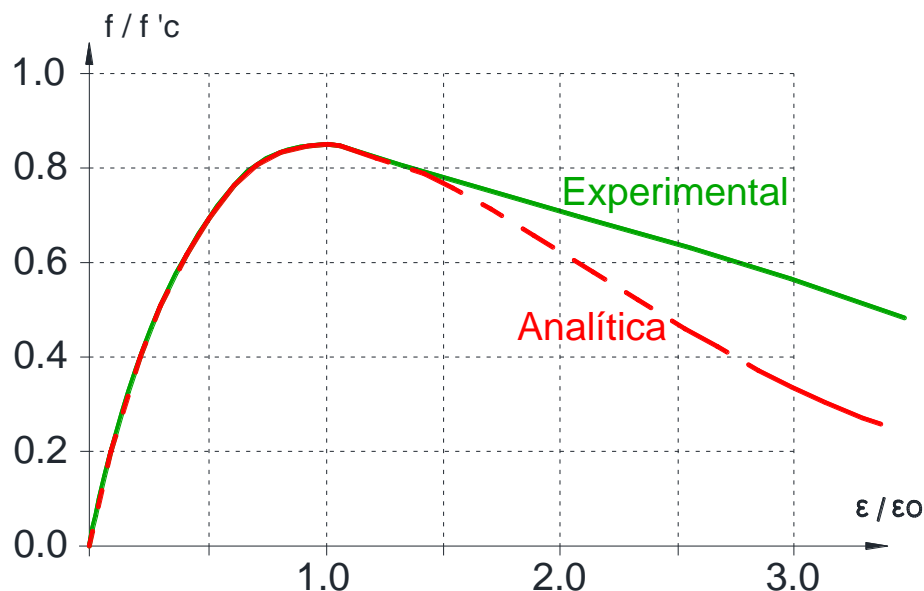
tipo fibra, tomando en consideración que los parámetros de hormigón confinado y no confinado se calcularon previamente usando las ecuaciones propuestas por Papovics (1973), y que autores como Karsan y Jirsa (1969) las emplean para determinar una curva envolvente de esfuerzo-deformación.

Los ensayos que realizaron Karsan y Jirsa, emplearon los siguientes tipos de cargas:

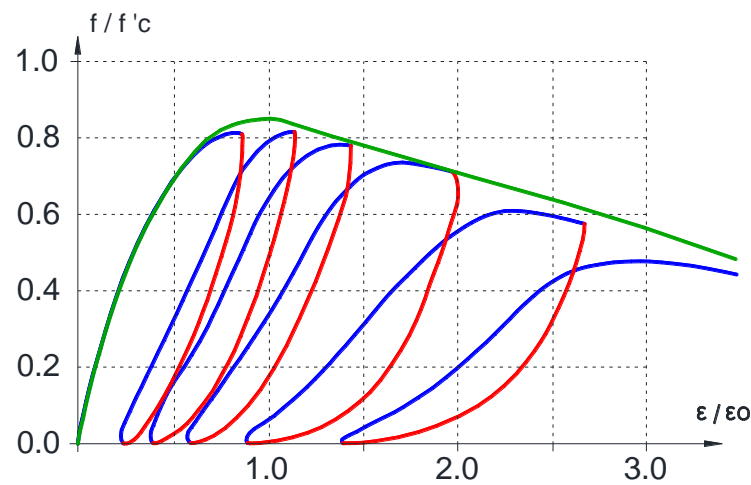
- Carga monotónica hasta la falla
- Carga cíclica
- Carga cíclica entre esfuerzos determinados

En la FIGURAS 3.1 y 3.2 se observan los resultados analíticos obtenidos por dichos autores en comparación con los resultados experimentales; la descripción de las ecuaciones resultantes se presenta en el “paper” de dichos autores, puesto que para la presente investigación solo se describirán las ecuaciones para la curva envolvente de esfuerzo-deformación de Papovic.

FIGURA 3.1: Comparación, curva Experimental monotónica y Analítica monotónica.



Fuente: Sosa, 2014

FIGURA 3.2: Comparación, curva Experimental monotónica y Analítica cíclica.

Fuente: Sosa, 2014

3.2 MODELO PROPUESTO POR PAPOVICS

La presente investigación se basa en el método NSP, para determinar los parámetros del hormigón confinado y no confinado en la elaboración de los elementos tipo fibra del modelo básico descrito en el capítulo 2; las ecuaciones propuestas por Papovics [10], se ajustan de mejor manera puesto que corresponden a la representación analítica del hormigón sometido a una carga monotónica.

El modelo de Papovics [10], puede representar la curva de esfuerzo-deformación del hormigón para un elemento de hormigón confinado o no confinado, a partir de la consideración del factor **k** (factor que prorratea la resistencia a la compresión simple de no confinado a confinado); este valor de **k** se puede determinar por experiencia o empleando las ecuaciones propuestas por Mander [8].

La curva envolvente esfuerzo-deformación de Papovics [10], emplea las siguientes ecuaciones:

$$f_c = \frac{f'_{cc} * x^r}{r-1+x^r} \quad (3.1)$$

$$f'_{cc} = k * f'_{co} \quad (3.2)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.3)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (3.4)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3.5)$$

$$E_c = 5000 * \sqrt{f'_{co}} \quad (3.6)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.7)$$

donde:

f_c : Esfuerzo del hormigón en una deformación unitaria determinada.

f'_{cc} : Resistencia máxima a la compresión del hormigón confinado.

f'_{co} : Resistencia máxima a la compresión del hormigón no confinado.

k : Factor para transformar el hormigón no confinado en hormigón confinado.

x : Relación entre deformación en un instante determinado y deformación en el f'_{cc} .

ε_{co} : Deformación correspondiente al esfuerzo f'_{co} .

ε_{cc} : Deformación correspondiente al esfuerzo f'_{cc} .

r : Relación relativa entre módulo inicial y secante de elasticidad.

E_c : Módulo de elasticidad inicial del hormigón.

E_{sec} : Módulo secante de elasticidad del hormigón en el esfuerzo máximo.

Mediante programación en Matlab [14], se calcularon las curvas de esfuerzo-deformación para hormigón confinado y no confinado; dicha programación se muestra en la FIGURA 3.3:

Además, en la FIGURA 3.3 se observa el proceso de cálculo realizado para determinar la variación del módulo de elasticidad secante a medida que se incrementa la fuerza aplicada resultante del proceso de esfuerzo-deformación. Estos cálculos se emplearon para la elaboración de un modelo simplificado descrito en el capítulo 4, basado en la degradación de la rigidez y del módulo de elasticidad para representar la curva de capacidad de sistema resistente descrito en el capítulo 2.

FIGURA 3.3: Rutina (derg_E_papovic), para determinar los parámetros de Hormigón confinado y no confinado a emplear en OpenSEES

```

clc
clear
%% Calcula La curva de Esfuerzo Deformación para concreto Confinado según
%% las ecuaciones de Popovics,y
%% Muestra la degradación del Módulo de Elasticidad Secante%
display('Autor: Ing. Carlos Andres Celi')
display('Análisis paramétrico de la fiabilidad de un modelamiento sísmico en el
rango no lineal, en función del tipo de modelamiento empleado ')
display('Calcula La curva de Esfuerzo Deformación para concreto Confinado según
las ecuaciones de Popovics y Muestra la degradación del Módulo de Elasticidad
Secante')
% k      = Factor para convertir f'co en f'cc
% fco    = Esfuerzo Máximo del Hormigón no confinado (kg/cm2)
% eco    = Deformación unitaria Correspondiente a fco
% Ec     = Modulo de Elasticidad inicial en el rango Elástico
% fc     = Esfuerzo del concreto a una deformación unitaria determinada
% fcc    = Resistencia máxima a la compresión del concreto confinado
% X      = Relación entre deformación en un instante determinado y deformación en
el f'cc
% ecc    = Deformación correspondiente al esfuerzo f'cc
% r      = Relación relativa entre módulo inicial y secante de elasticidad
% Esec   = Módulo secante de elasticidad del concreto en el esfuerzo máximo
% A      = Sección transversal (cm2)

% Datos
k = 1.4;
Ec = 200000;
fco = 210;
A = 3025;
% eco=1.71*fco/Ec
eco = 0.002;

% Pcedimiento
fcc = k*fco;
ecc = eco*(1+5*(fcc/fco-1));
Esec = fcc/ecc
r = Ec/(Ec-Esec);
aux = 0; % deformación en un instante determinado
i=1;
delta = 0.0001;
for aux=0:delta:0.018
    X(i,1) = aux/ecc;
    fc(i,1) = fcc*X(i,1)*r/(r-1+(X(i,1))^r);
    ec(i,1) = aux;
    i=i+1;
end

```

```

fc_fcc = fc/fcc;
fc_vs_ec =[ec,fc];
ff_vs_x = [X,fc_fcc];
figure (2)
plot(fc_vs_ec(:,1),fc_vs_ec(:,2),'r','LineWidth',2);title('Curva Esfuerzo
Deformación-Concreto Confinado');xlabel('Deformación ec');ylabel('Esfuerzo
fc(kg/cm2)'); grid on;
figure (1)
plot(ff_vs_x(:,1),ff_vs_x(:,2),'b','LineWidth',2);title('Curva fc/fcc vs
X');xlabel('X');ylabel('fc/fcc'); grid on;

%% Variación del módulo de Elasticidad Secante
format long
Elasc=0; % vector de módulos de Elasticidad Secante
F=0; % vector Fuerzas aplicadas, derivadas del incremento de Deformación
aux2 = size(fc);
for i=1:aux2(1,1)
    Elasc(i,1)=fc(i,1)/ec(i,1)*10;
    F(i,1)=fc(i,1)*A/1000;
end
Elasc (1,1) = 0;
El_vs_F=[F(1:40,:),Elasc(1:40,:)];
EL_vs_ec = [ec,Elasc];
figure (3)
plot(El_vs_F(:,1),El_vs_F(:,2),'c','LineWidth',2);title('Curva F vs
E');xlabel('F(ton)');ylabel('Modulo de Elasticidad Secante E(ton)'); grid on;
figure (4)
plot(EL_vs_ec(:,1),EL_vs_ec(:,2),'r','LineWidth',1);title('Curva ec vs
E');xlabel('ec');ylabel('Modulo de Elasticidad Secante E(ton)'); grid on;

%% No confinado
% Datos
k = 1.0;
Ec = 200000;
fco = 210;
A = 3025;
% eco=1.71*fco/Ec
eco = 0.002;

% Procedimiento
fcc = k*fco;
ecc = eco*(1+5*(fcc/fco-1));
Esec = fcc/ecc
r = Ec/(Ec-Esec);
aux = 0; % deformación en un instante determinado
i=1;
delta = 0.0001;
for aux=0:delta:0.018
    X(i,1) = aux/ecc;
    fc(i,1) = fcc*X(i,1)*r/(r-1+(X(i,1))^r);
    ec(i,1) = aux;
    i=i+1;
end
fc_fcc = fc/fcc;
fc_vs_ec2 =[ec,fc];
ff_vs_x = [X,fc_fcc];
figure (5)
plot(fc_vs_ec(:,1),fc_vs_ec(:,2),'r',fc_vs_ec2(:,1),fc_vs_ec2(:,2),'b','LineWidth
',2);title('Curva Esfuerzo Deformación-Concreto No Confinado-
Confinado');xlabel('Deformación ec');ylabel('Esfuerzo fc(kg/cm2)'); grid
on;legend('Confinado','No Confinado');

%% degradación no confinado
aux2 = size(fc);
for i=1:aux2(1,1)
    Elasc(i,1)=(fc(i,1)*10)/ec(i,1);

```

```

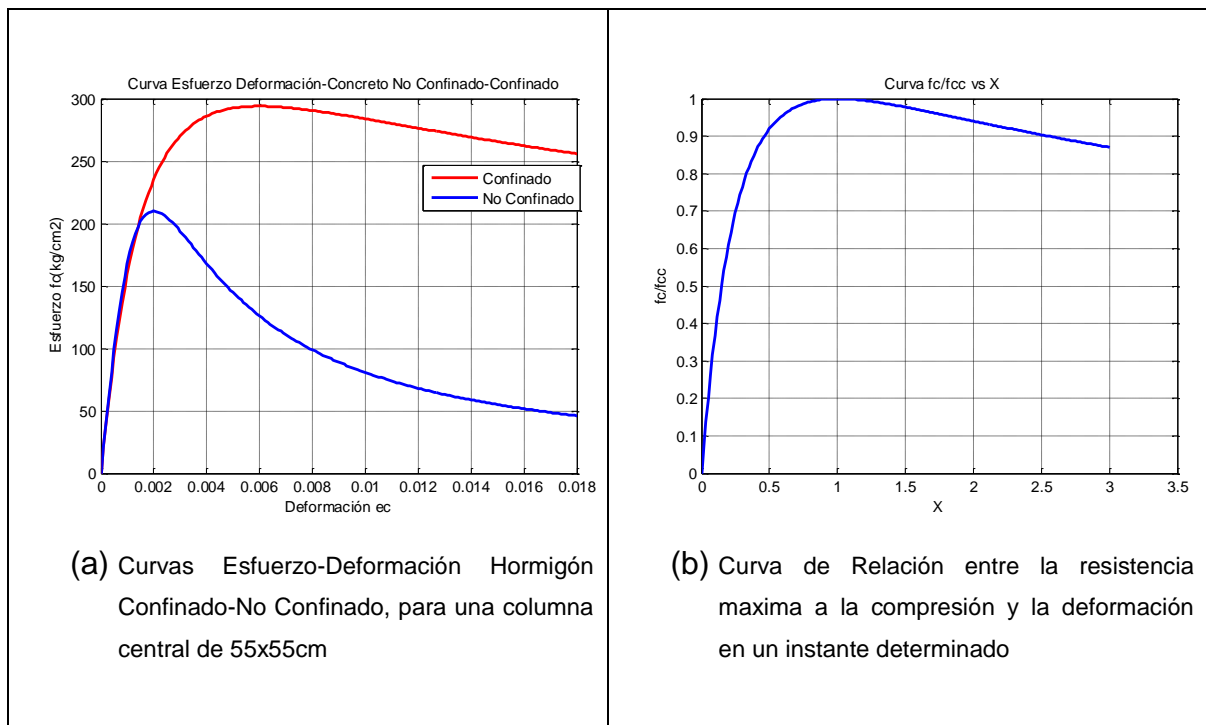
F(i,1)=fc(i,1)*A/1000;
end
Elasc (1,1) = 0;
EL_vs_F2 = [F(1:15,:),Elasc(1:15,:)];
figure (6)
plot(El_vs_F(:,1),El_vs_F(:,2),'r',EL_vs_F2(:,1),EL_vs_F2(:,2),'b','LineWidth',1)
;title('Curva F vs E');xlabel('F (ton)');ylabel('Modulo de Elasticidad Secante
E(ton/m2)'); grid on;;legend('Confinado','No Confinado');

```

Elaboración: Carlos Celi.

La rutina `derg_E_papovic` se empleó para determinar los parámetros necesarios para calcular los elementos tipo fibra de las vigas y columnas descritas en el ANEXO 2; las curvas resultantes de donde se obtuvieron los parámetros mencionados se muestran en la FIGURA 3.4.

FIGURA 3.4: Curvas envolventes esfuerzo-deformación



Elaboración: Carlos Celi.

En las TABLAS 3.1 y 3.2 se muestran los datos de entrada y los parámetros calculados con la rutina `derg_E_papovic`, usados para la creación del hormigón confinado y no confinado de la sección fibra que se empleó en los elementos

resistentes necesarios para la programación en OpenSEES [18], específicamente para el uso del material **Concrete01**.

TABLA 3.1: Datos de entrada y parámetros resultados (hormigón No hormigón)

Símbolo	Valor	Unidades	Descripción
$k =$	1		Factor para convertir f'_{co} en f'_{cc}
$f'_{co} = f'_{c11}$	2100	[Ton/m ²]	Esfuerzo máximo de compresión del hormigón no confinado
$\epsilon_{co} =$	0,0020		Deformación unitaria correspondiente a f'_{co}
$E_c =$	2000000	[Ton/m ²]	Módulo de elasticidad inicial en el rango elástico
$ec_{11} =$	0.0020		Deformación del hormigón en el esfuerzo máximo
$f'_{c21} =$	0.00	[Ton/m ²]	Esfuerzo a la fractura del hormigón
$ec_{21} =$	0.0040		Deformación del hormigón en el esfuerzo a la fractura del hormigón

Elaboración: Carlos Celi

TABLA 3.2: Datos de entrada y parámetros resultados (Hormigón Confinado)

Símbolo	Valor	Unidades	Descripción
$k =$	1.4		Factor para convertir f'_{co} en f'_{cc}
$f'_{co} = f'_{c12}$	2940	[Ton/m ²]	Esfuerzo máximo de compresión del hormigón no confinado
$\epsilon_{co} =$	0,0020		Deformación unitaria correspondiente a f'_{co}
$E_c =$	2000000	[Ton/m ²]	Módulo de elasticidad inicial en el rango elástico
$ec_{12} =$	0.0062		Deformación del hormigón en el esfuerzo máximo
$f'_{c22} =$	2560	[Ton/m ²]	Esfuerzo a la fractura del hormigón
$ec_{22} =$	0.0018		Deformación del hormigón en el esfuerzo a la fractura del hormigón

Elaboración: Carlos Celi

3.2.1 CONCRETE01

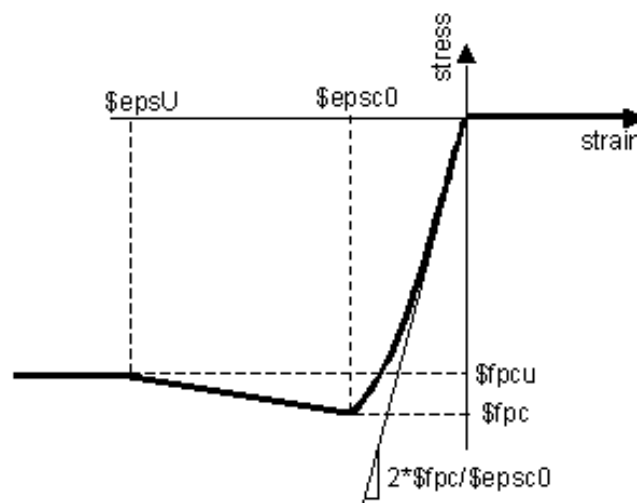
OpenSEES presenta una amplia variedad de modelos que describen el comportamiento del hormigón; para la presente investigación se optó por el uso del **concrete01** ó concreto 01, que es la representación del diagrama esfuerzo-deformación de un elemento de hormigón sometido a una carga de compresión basada en el modelo de Kent-Scott-Park (Scott et al. 1982), que considera exclusivamente el hormigón en compresión y sin resistencia a la tracción propia del material. La forma de las curvas carga y descarga siguen las recomendaciones de Karsan y Jirsa (1969), quienes consideran degradación de rigidez conforme se incrementa la deformación; a su vez en esta curva de esfuerzo-deformación, su envolvente se encuentra regida a la envolvente propuesta por Papovic [10] y su programación fue definida en los párrafos

anteriores. De esta manera al usar el **concrete01** empleando los parámetros de salida resultantes del uso de las ecuaciones propuestas por Papovics [10], para hormigón confinado y no confinado, la convergencia de la ecuación no lineal es de mayor eficiencia que usando otros tipos de hormigón.

Cabe recalcar que para esta investigación la convergencia efectiva de la ecuación no lineal, es producto entre otros parámetros del tipo de estructura que se está analizando y de la disposición de las zonas de mecanismos de disipación de energía, puesto que la estructura en general constará de elementos no lineales a lo largo de los mecanismos antes mencionados, así como de elementos lineales que conectan los diferentes elementos no lineales, para los cuales (Elementos Lineales) se empleó un elemento de comportamiento elástico.

En la FIGURA 3.5, se aprecia la forma de la curva esfuerzo - deformación para el concrete01, en la cual se observa que la parte parabólica de la curva se presenta hasta que el material alcanza la resistencia máxima a la compresión del hormigón, para su deformación correspondiente. Luego la capacidad del material desciende linealmente hasta alcanzar una deformación del hormigón procedente de una resistencia residual; luego la deformación última está entre 0.004 y 0.008; estos valores relativamente altos de deformaciones últimas son debidos a que, sin afectar la precisión de los resultados analíticos, mejoran la convergencia de los algoritmos de cálculo.

FIGURA 3.5: Curva esfuerzo-deformación, típica del material **concrete01**



Fuente: OpenSEES (2013)

3.2.1.1 Forma de definir el material concrete01 (OpenSEES)

Calculados los parámetros de entrada necesarios para definir el tipo de hormigón, a usar en la forma de representar el hormigón confinado y no confinado de las distintas secciones tipo fibra, que se ubicarán en las zonas de mecanismos de disipación de energía, se procede a usar las subrutina propia de OpenSEES para definir el material concrete01; en la TABLA 3.3 se detallan los parámetros que la rutina *uniaxialMaterial Concrete01* requiere para generar este tipo de material.

TABLA 3.3: Detalle de rutina uniaxialMaterial Concrete01

<code>uniaxialMaterial Concrete01</code> \$matTag \$fpc \$epsc0 \$fpcu \$epscU	
\$matTag	Nombre asignado al material
\$fpc	Resistencia máxima a la compresión
\$epsc0	Deformación correspondiente a \$fpc
\$fpcu	Esfuerzo residual
\$epscU	Deformación correspondiente a \$fpcu

Elaboración: Carlos Celi.

Los parámetros calculados en las TABLAS 3.1 y 3.2 corresponden a los datos de entrada para esta subrutina de OpenSEES “concrete01”, la cual puede usarse tanto para generar un material hormigón confinado y no confinado, claramente dependiendo de los valores de \$fpc, \$epsc0, \$fpcu y \$epscU.

3.2.2 ELASTIC

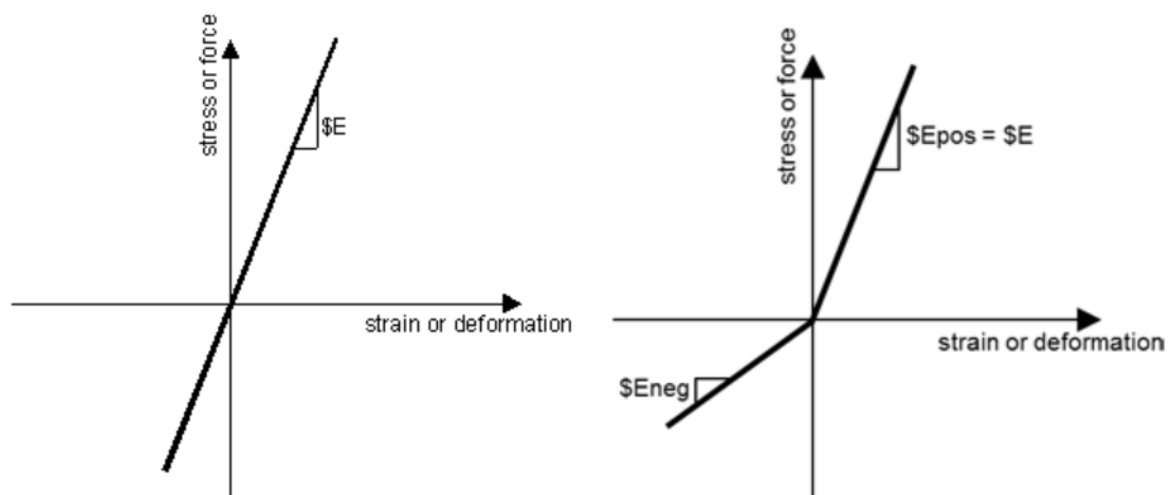
El material “Elastic” representa a un elemento elástico, es decir que la curva esfuerzo - deformación tiene un comportamiento lineal a lo largo de toda su trayectoria. Esta curva elástica se ajusta en cierta medida al comportamiento de la parte intermedia de las vigas y columnas que no forman parte de las zonas de mecanismos de disipación de energía; esto no quiere decir que las partes intermedias de los elementos resistentes no puedan alcanzar estados en los que la demanda los obligue a comportarse no-linealmente; en otras palabras se usa un elemento elástico en estas zonas intermedias puesto que el concepto general de esta investigación es llegar al agotamiento de las zonas de disipación de energía mediante la formación de rótulas plásticas; en el caso específico de los

modelos que se realizaron con OpenSEES [18], se optó por usar toda la longitud de la zona de mecanismo de disipación de energía, empleando un elemento no-lineal a base de un material concrete01 y un elemento “frame” no-lineal, conectados entre sí por elementos “frame” lineales construidos con base en un material de comportamiento elástico “elastic”; puesto que estos elementos intermedios en teoría no recibirán la demanda suficiente para llevarlos a un comportamiento en el que tengan que disipar energía.

Además la convergencia de la ecuación no-lineal es más eficiente usando una combinación de materiales y elementos no-lineales, donde en verdad se necesitan en conjunción con elementos y materiales elásticos ubicados estratégicamente y que sabemos que su comportamiento durante la historia de carga es prácticamente lineal, no con esto comprometiendo la convergencia y veracidad de los resultados.

En la FIGURA 3.6 se observa la curva correspondiente al material “Elastic”.

FIGURA 3.6: Curva esfuerzo-deformación, típica del material **Elastic**



Fuente: OpenSEES (2013)

3.2.2.1 Forma de definir el material Elastic (OpenSEES)

El parámetro para definir el material Elastic, al ser descrito por una curva esfuerzo – deformación de forma lineal, es básicamente el módulo de elasticidad del material, en este caso el módulo de elasticidad del hormigón; en la TABLA 3.4 se

detallan los parámetros que la rutina *uniaxialMaterial Elastic* para generar este tipo de material.

TABLA 3.4: Detalle de rutina uniaxialMaterial elastic

<i>uniaxialMaterial Elastic</i> \$matTag \$E <\$eta> <\$Eneg>	
\$matTag	Nombre asignado al material
\$E	Tangente (Modulo de Elasticidad)
\$eta	Tangente en zona de amortiguamiento (Opcional)
\$Eneg	Tangente en zona de Compresión (Opcional)

Elaboración: Carlos Celi.

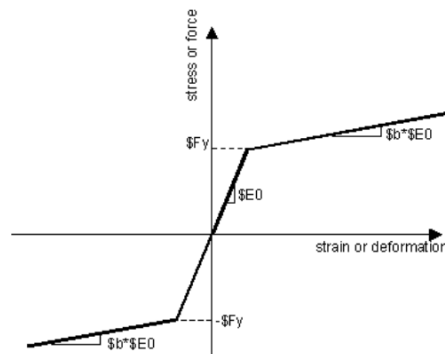
Para esta investigación, se empleó un único módulo de elasticidad, para el material de comportamiento lineal; como se mencionó anteriormente los elementos lineales que emplearán este tipo de material elástico, se encuentran fuera de la zona teórica de mecanismos de disipación de energía y por tanto su comportamiento físico será muy cercano a un comportamiento elástico; dicho comportamiento no requiere mayor complejidad en el uso de diferentes tangentes que describan la curva esfuerzo - deformación del material.

3.2.3 STEEL01 (MODELO DE ACERO DE REFUERZO).

Dado que los modelos de esta investigación no presentan pre esfuerzo, se optó por el uso dentro de OpenSEES [18], del material Steel01 para representar el refuerzo longitudinal de los elementos estructurales tipo fibra, cuya curva esfuerzo - deformación representa la trayectoria que sufriría el acero de refuerzo ante las solicitaciones de cada modelo; esto no quiere decir que el material Steel01 es siempre el adecuado para representar el refuerzo longitudinal de un elemento estructural; lo que se pretende es que para los casos que se tratan en esta investigación la curva esfuerzo - deformación propuesta por este tipo de material se ajusta al comportamiento que podrá sufrir el acero de refuerzo.

El modelo Steel01 contempla una curva esfuerzo - deformación, FIGURA 3.7, compuesta por una primera sección de comportamiento elástico lineal propia del material, seguida de un comportamiento bilineal producto de un endurecimiento cinemático, e incluso opcionalmente en esta sección se permite tomar en consideración el endurecimiento isotrópico.

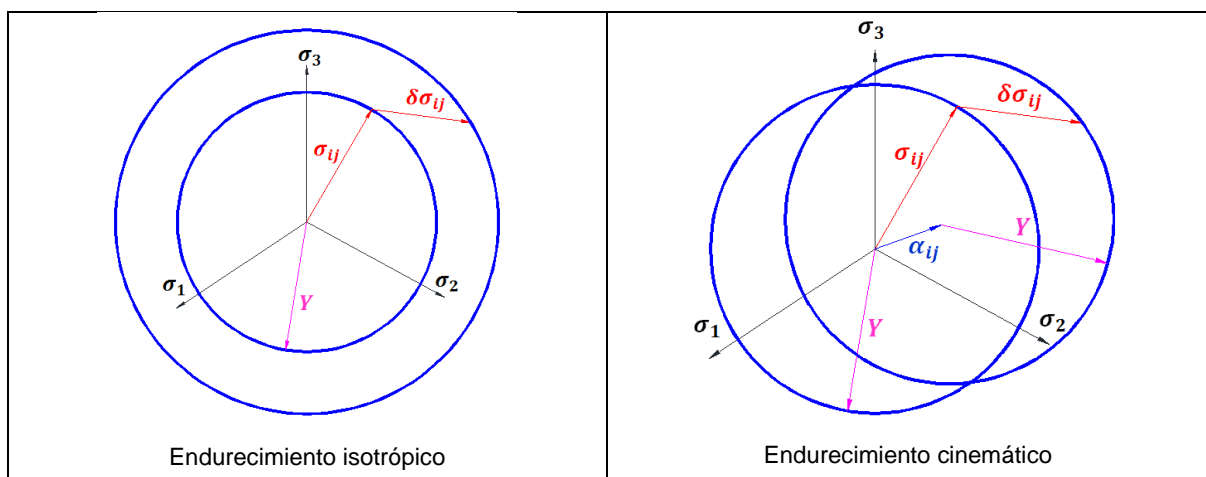
FIGURA 3.7: Curva esfuerzo-deformación, típica del material **Steel01**



Fuente: OpenSEES (2013)

Se denomina endurecimiento isotrópico al crecimiento escalado de la superficie de fluencia, mientras que el endurecimiento cinemático se denomina cuando existe un desplazamiento del centro de la superficie de fluencia; en otras palabras el endurecimiento cinemático postula que la superficie de fluencia se traslada en el espacio sin cambio de volumen; mientras que el endurecimiento isotrópico postula un aumento del esfuerzo en donde se produce la fluencia, durante la inversión de esfuerzos. FIGURA 3.8.

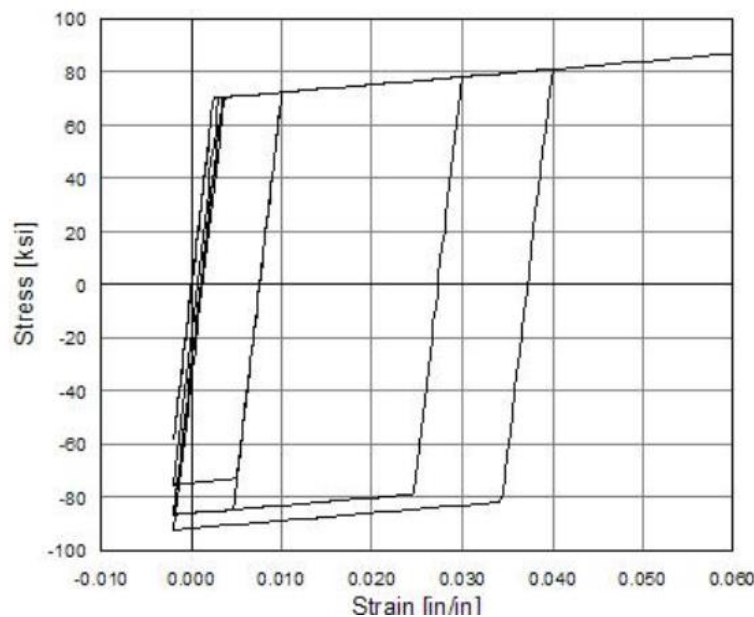
FIGURA 3.8: Endurecimiento isotrópico y cinemático (espacio multidimensional)



Fuente: Sosa (2014)

En la FIGURA 3.9, se muestra el comportamiento histerético esfuerzo - deformación del endurecimiento isotrópico en compresión.

FIGURA 3.9: Modelo del comportamiento histerético con endurecimiento isotrópico en compresión.



Fuente: OpenSEES (2013)

3.2.3.1 Forma de definir el material Steel01 (OpenSEES)

Al usar un modelo bilineal para describir el comportamiento del diagrama esfuerzo - deformación, descriptivo del material Steel01 como representación de acero de refuerzo longitudinal a emplear en los modelos de esta investigación, es necesario definir tanto la pendiente inicial elástica de la curva esfuerzo - deformación, así como un factor de cambio o ratio entre la pendiente elástica y la pendiente post fluencia. La pendiente en la zona elástica lineal de la curva esfuerzo - deformación es el módulo de elasticidad del material; para la presente investigación se trabajó con un factor de cambio de 0.05 entre las pendientes del diagrama bilineal esfuerzo - deformación, considerando con esto una nueva pendiente que emplea el endurecimiento cinemático; debido a la complejidad del sistema se optó por no tomar los parámetros que determinan un endurecimiento isotrópico.

En la TABLA 3.5 se detallan los parámetros que la rutina uniaxialMaterial Steel01 empelada para generar este tipo de material.

TABLA 3.5: Detalle de rutina uniaxialMaterial Steel01

<code>uniaxialMaterial Steel01 \$matTag \$Fy \$E0 \$b <\$a1 \$a2 \$a3 \$a4></code>	
<code>\$matTag</code>	Nombre asignado al material
<code>\$Fy</code>	Esfuerzo de Fluencia
<code>\$E0</code>	Pendiente Inicial Elástica
<code>\$b</code>	Ratio esfuerzo-endurecimiento(ratio entre la pendiente elástica y la pendiente post fluencia)
<code><\$a1 \$a2 \$a3 \$a4></code>	Parámetros de endurecimiento isotrópico

Elaboración: Carlos Celi.

3.3 SECCIONES FIBRA (APORTE FLEXIÓN)

Para esta investigación, se emplea toda la longitud del mecanismo de disipación de energía para simular el comportamiento de las distintas conexiones del pórtico analizado. Para ello se emplea un elemento no-lineal que requiere el uso de secciones fibra, que están compuestas por sub - elementos que describen la geometría de la sección y el comportamiento del material uniaxial.

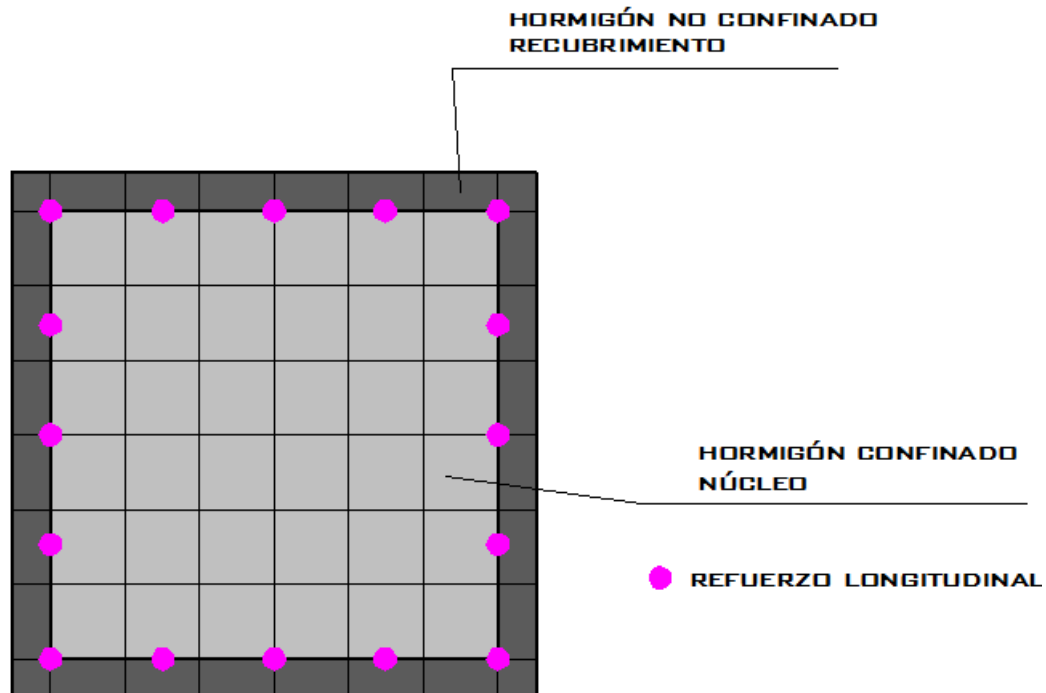
Las secciones tipo fibra, permiten el empleó de diferentes propiedades de los materiales, a lo largo de un elemento no - lineal; es decir se describe mejor las propiedades resistentes de elemento estructural a lo largo del mismo, en función de su armado longitudinal, transversal.

Las subdivisiones o secciones-fibra que describen la ubicación y condiciones de borde, para ambos tipos de hormigón (confinado y no confinado), deben poseer tamaños de subdivisión iguales entre las diferentes secciones-fibra, de manera que estas puedan conectarse entre si.

Para la presente investigación, basados en los ANEXOS 1 y 2, se definió 2 tipos de secciones fibra para columnas y 3 tipos para vigas, variando entre los distintos tipos de secciones, la geometría y el refuerzo según corresponda; en la FIGURA

3.10 se observa la subdivisión de fibras para el hormigón confinado y no confinado de las columnas del nivel +3.10 al +9.30.

FIGURA 3.10: Sección Fibra, columnas tipo 1

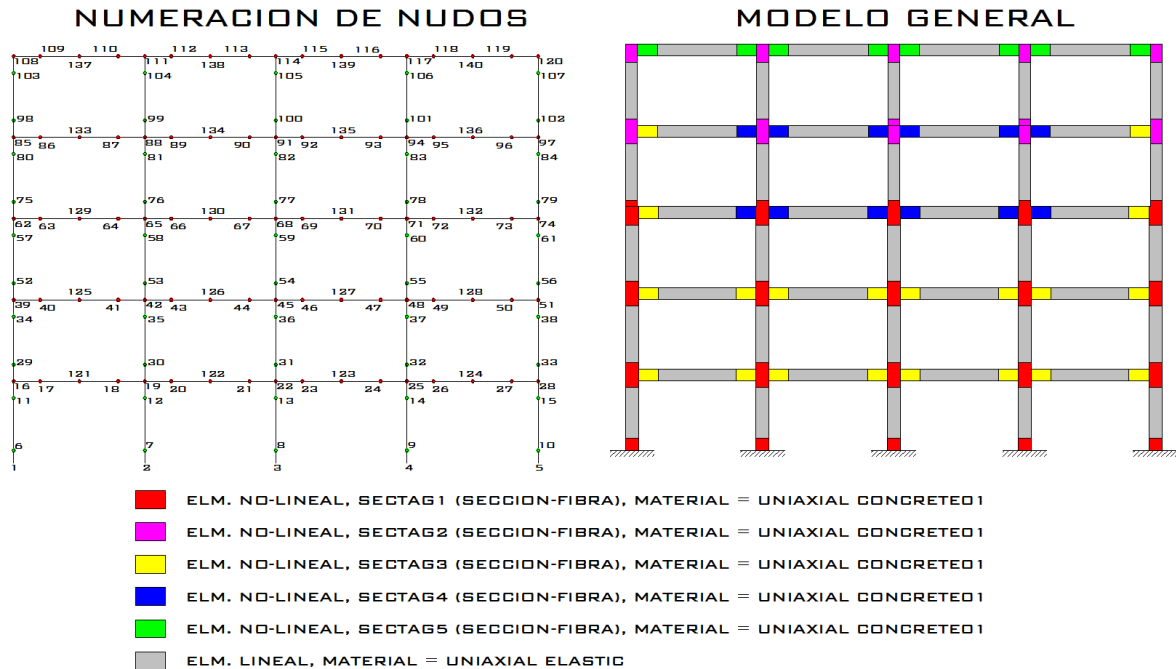


Elaboración: Carlos Celi.

En la FIGURA 3.11 se muestra la ubicación de los diferentes tipos de secciones fibra usados para modelar la estructura general, que se usará más adelante en diferentes combinaciones de consideraciones de cortante, flexión y deformación por penetración.

Por consideración de espacio no se presenta en la FIGURA 3.11, la ubicación de cada elemento elástico con diferente color, puesto que es lógico que se emplearán diferentes elementos elásticos dependiendo de la geometría del elemento físico que conecte las diferentes zonas de mecanismos de disipación de energía, ahora representados por diferentes elementos no lineales basados en fibras.

FIGURA 3.11: Modelo General



Elaboración: Carlos Celi.

3.4 SECCIONES FIBRA (APORTE CORTANTE)

Se consideró el aporte de cortante en las secciones fibra, a través de la adición de los efectos de deformación por cortante, además que el efecto de aporte por resistencia de la capacidad del hormigón confinado y no confinado se encuentra inherentemente acoplado al elemento fibra.

El efecto de deformación por cortante, se lo puede realizar en OpenSEES [18] de diferentes formas.

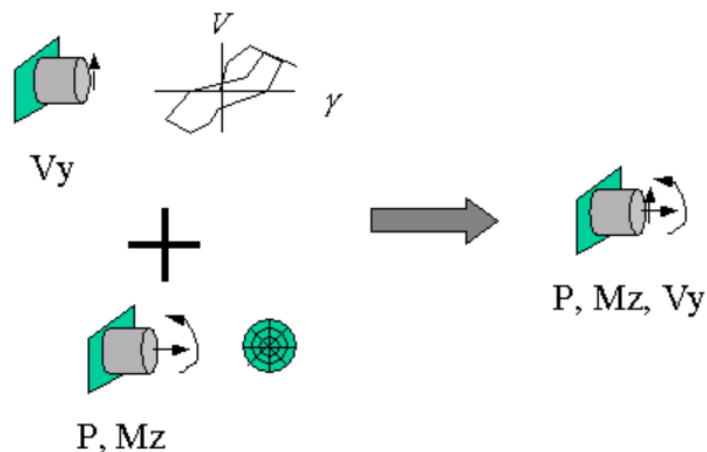
Una manera de adicionar los efectos de cortante, es mediante el empleo de un elemento de longitud cero que posea las propiedades de un resorte no-lineal, el cual permite un desplazamiento en el sentido normal al eje longitudinal del elemento analizado, dicho desplazamiento se producirá adicionalmente al desplazamiento producto de los efectos de la flexión en el elemento; es decir al ser un resorte de características no-lineales el desplazamiento se producirá una

vez se supere la capacidad cortante, de la zona que representa el elemento de longitud cero.

La forma de simular los efectos de cortante, previamente descrita, no se ajusta al tipo de modelación que se emplea en esta investigación, puesto que para el uso de este elemento de longitud cero se debe conocer la ubicación del punto probable fluencia. Dicho proceso, asigna en un solo punto teórico la totalidad de la zona de mecanismo de disipación de energía y ya que se desea considerar toda longitud a través de un elemento no-lineal, el uso del elemento de longitud cero no es la mejor opción.

Para esta investigación se emplea una herramienta propia de OpenSEES [18], que es el **Section Aggregator**; esta opción permite agregar propiedades nuevas a grupos previamente definidos de materiales uniaxiales, es decir permite a las fibras que trabajan a flexión, previamente creadas, agregarles los efectos de aporte de cortante y de deformaciones por el mismo efecto; en la FIGURA 3.12 se muestra una sección fibra en la cual se agregan los efectos de axial y cortante.

FIGURA 3.12: Seccion aggregator



Fuente: OpenSEES (2013)

El peralte de la distintas secciones vigas, en comparación con la luz de los elementos es menor que 4 para la presente investigación, por ende los efectos de deformación por cortante son mínimos; No obstante para el análisis NSP, se define un material uniaxial que represente el comportamiento del diagrama esfuerzo - deformación cortante, mediante el uso de una curva esfuerzo -

deformación elástica, de esta manera no se compromete la convergencia de la respuesta ni la veracidad de los resultados.

Recordando que se realizarán varios modelos tomando en consideración o no los efectos de cortante; dentro de la programación en OpenSEES se crearon 3 tipos de Section Aggregator nuevos para vigas y uno solo para columnas, puesto que una vez que se usa esta herramienta Section Aggregator la sección fibra previamente definida es sobrescrita por la nueva sección.

3.5 SECCIONES FIBRA (APORTE DE DEFORMACIÓN POR PENETRACIÓN)

Dentro de las combinaciones para las modelaciones de esta investigación que emplean OpenSEES [18], como motor de programación, la deformación por penetración es uno de los parámetros de combinación. Este efecto considera la adherencia de las barras de acero entre miembros estructurales, que se consideren en la transición de un medio empotrado a un elemento flexible; es decir en miembros a flexión de hormigón, la deformación por penetración ocurre a lo largo del refuerzo longitudinal, en la base de los elementos empotrados en suelo firme; causando que las barras se deslicen a lo largo de una porción del elemento a flexión, de esta manera aliviando las rotaciones en la base de dicho elemento.

El no considerar este efecto es subestimar las deflexiones y elongamiento del miembro sometido a flexión y sobrestimar la rigidez y la capacidad de disipación de energía de histéresis del sistema estructural resistente.

El miembro a flexión está representado por secciones-fibra de acero y hormigón unidireccionales. Cabe recalcar que las secciones-fibra de acero y hormigón se especifican en la dirección de la longitud del miembro analizado; es decir las fibras que representan el conjunto hormigón-acero pueden ser utilizadas para modelar cualquier miembro a flexión independientemente de su sección transversal o la dirección de la carga lateral, según Zhao J [19].

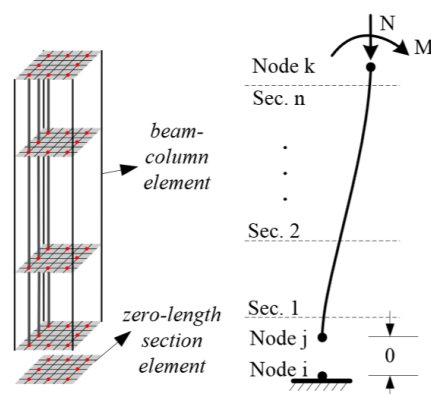
El análisis de fibras, por lo general sigue el método de la rigidez directa, es decir las fuerzas de los elementos se determinan a partir de desplazamientos nodales unitarios y por ende la rigidez del elemento se actualiza en cada paso del cálculo. La rigidez y las fuerzas de los elementos a base de fibras se obtienen por integración numérica de la rigidez y las fuerzas que corresponde a una sección de deformación.

En el elemento fibra, que describa a un elemento sometido a flexión, se le puede añadir los efectos de rotación de la base; dichos efectos son producto del deslizamiento de las barras de refuerzo longitudinal. Es decir el elemento fibra tiene el potencial de predecir con precisión la respuesta estructural, en la transición de un medio empotrado a un elemento flexible, utilizando un elemento de longitud cero disponible en la programación de OpenSEES [18].

3.5.1 ELEMENTO DE LONGITUD CERO

En OpenSEES [18], un elemento de longitud cero es una discretización tipo fibra de la sección transversal de un miembro estructural, como se muestra en la FIGURA 3.13. Este tipo de elementos se usan para calcular la respuesta momento - curvatura de la sección de análisis, en donde los esfuerzos de las secciones-fibra de acero y hormigón son calculados para una curvatura determinada en el corte liso de la sección, en donde se ubicará el elemento de longitud cero.

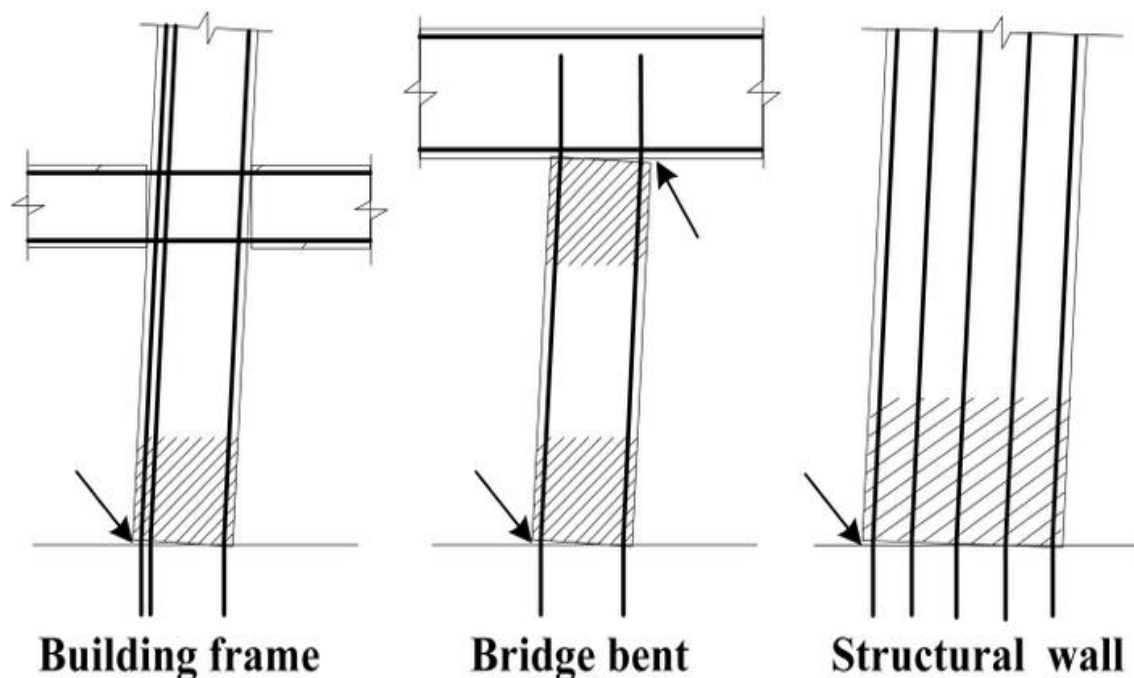
FIGURA 3.13: Elemento fibra más efectos de deformación por penetración.



Fuente: Zhao, J., y S. Sritharan (2007)

Las fuerzas en las fibras, se obtienen a través de la relación de integración del esfuerzo - deformación a lo largo de toda la sección, de la cual se obtiene el momento correspondiente donde se ubicará el elemento de longitud cero. Para utilizar este tipo de sección (elemento de longitud cero), es necesario duplicar el nudo donde se ubicará dicho elemento; de esta manera no existirá separación entre los nudos (FIGURA 3.13), es decir existirá un elemento entre los nudos que posee una longitud igual a cero; en la FIGURA 3.14, se observa la ubicación del elemento de longitud cero en distintos elementos estructurales.

FIGURA 3.14: Elemento fibra más efectos de deformación por penetración.

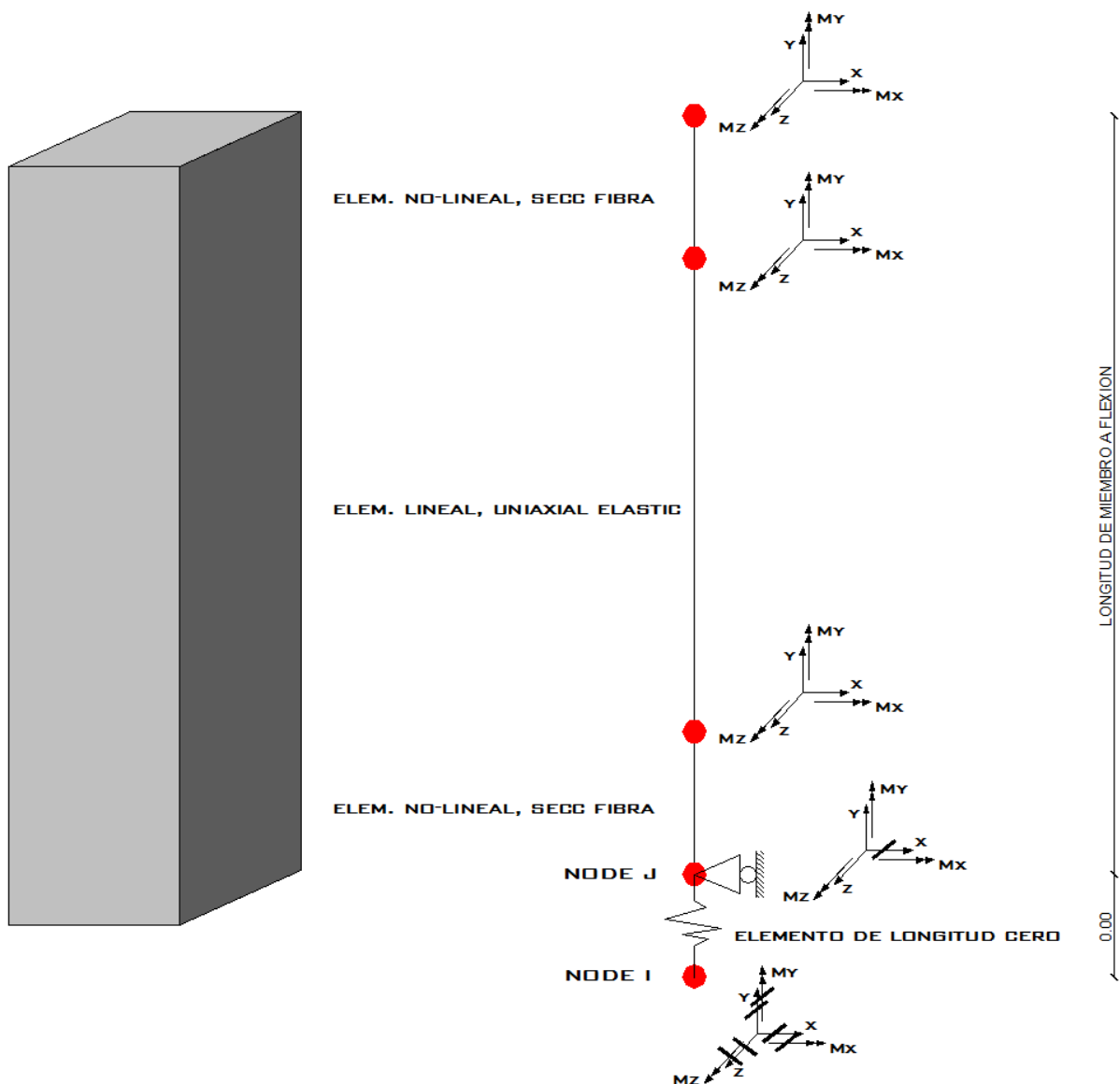


Fuente: Zhao, J., y S. Sritharan (2007).

Al usar un elemento de longitud cero, se debe restringir el grado de libertad horizontal, ya que no se permite un desplazamiento transversal del nudo J perteneciente al miembro a flexión (FIGURA 3.13), ya que este desplazamiento transversal del nudo J, físicamente no se produce. En la FIGURA 3.15, se presenta los grados de libertad de los nudos representativos de un elemento típico a flexión, en el que se considere los efectos de deformación por penetración.

Para añadir a un elemento fibra existente, las propiedades de deformación por penetración, Jian Zhao y Sri Sritharan [19] desarrollaron la rutina denominada Bond_SP01, escrita en lenguaje TCL, disponible en la biblioteca de rutinas de OpenSEES.

FIGURA 3.15: Elemento típico a flexión más aporte de deformación por penetración.



Elaboración: Carlos Celi.

3.5.1.1 Forma de definir Bond_SP01

La rutina Bon_SP01 se define como se muestra en la TABLA 3.6.

TABLA 3.6: Detalle de rutina uniaxialMaterial Bond_SP01

<code>uniaxialMaterial Bond_SP01</code> \$matTag \$Fy \$Sy \$Fu \$Su \$b \$R	
\$matTag	Nombre asignado al material
\$Fy	Esfuerzo de Fluencia, barras longitudinales
\$Sy	Deslizamiento de la barras de refuerzo en la interfaz de conexión con el miembro rígido sometida a esfuerzo de fluencia
\$Fu	Esfuerzo último, barras longitudinales
\$Su	Deslizamiento de las barras durante el extremo de carga para el esfuerzo de rotura
\$b	Endurecimiento inicial (deslizamiento monotónico vs esfuerzo de respuesta de las barras)
\$R	Factor de perforación para la curva de deslizamiento cíclico vs respuesta de las barras

Elaboración: Carlos Celi.

En la investigación desarrollada por Jian Zhao y Sri Sritharan [19], el deslizamiento de las barras de refuerzo en la interfaz de conexión del empotramiento al elemento sometido a flexión se define por la ecuación:

$$S_y(mm) = 2.54 * \left[\frac{d_b(mm) * F_y(Mpa)}{8437 * \sqrt{f'_c(Mpa)}} * (2 * \alpha + 1) \right]^{\frac{1}{\alpha}} + 0.34(mm) \quad (3.8)$$

donde:

d_b : Diámetro de la varilla de refuerzo longitudinal.

\$Fy: Esfuerzo de Fluencia, barras longitudinales.

f'_c : Resistencia a compresión del hormigón, hormigón en la zona de conexión.

α : Parámetro que considera el deslizamiento en la conexión (asumido el valor de 0.4 según el modelo CEB-FIP código 90).

Se definen el resto de los parámetros:

$\$F_u$: Esfuerzo último, barras longitudinales.

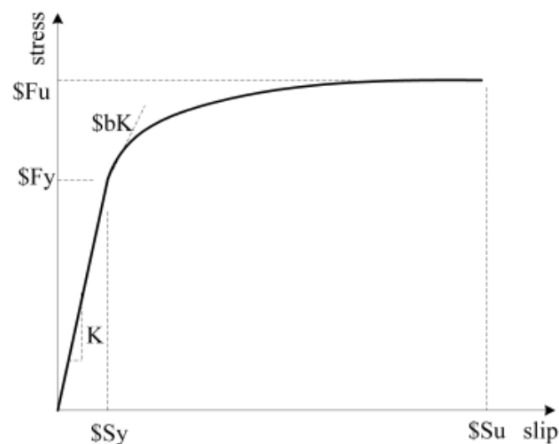
$\$S_u$: Deslizamiento de las barras en el extremo de carga para el esfuerzo de rotura. Puede ser asumido en 30 a 40 veces $\$S_y$.

$\$b$: Endurecimiento inicial (deslizamiento monotónico vs esfuerzo de respuesta de las barras), puede asumirse un valor entre 0.3 – 0.5.

$\$R$: Factor de perforación para la curva de deslizamiento cíclico vs respuesta de las barras, puede asumirse un valor entre 0.5 -1.0.

La posición relativa entre $\$S_u$, $\$F_u$ y $\$S_y$, $\$F_y$ se muestran en la FIGURA 3.16.

FIGURA 3.16: Esfuerzo monotónico vs deslizamiento de respuesta para el modelo Bond_SP01

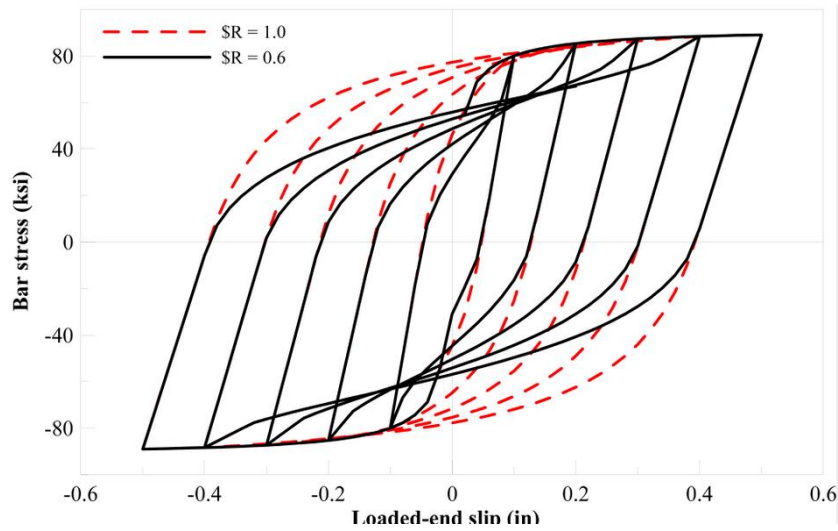


Fuente: OpenSEES (2013)

Las barras de acero de refuerzo longitudinal, pueden presentar endurecimientos cinemáticos e isotrópicos; parámetros que fueron considerados por Jian Zhao y Sri Sritharan [19], para determinar valores rango de los parámetros: $\$b$ y $\$R$.

Para la presente investigación se decidió por usar un valor de $\$b = 0.5$ y $\$R = 1.0$, considerando que no variará el volumen de las superficies de fluencia durante la historia de carga, como se muestra en la FIGURA 3.17.

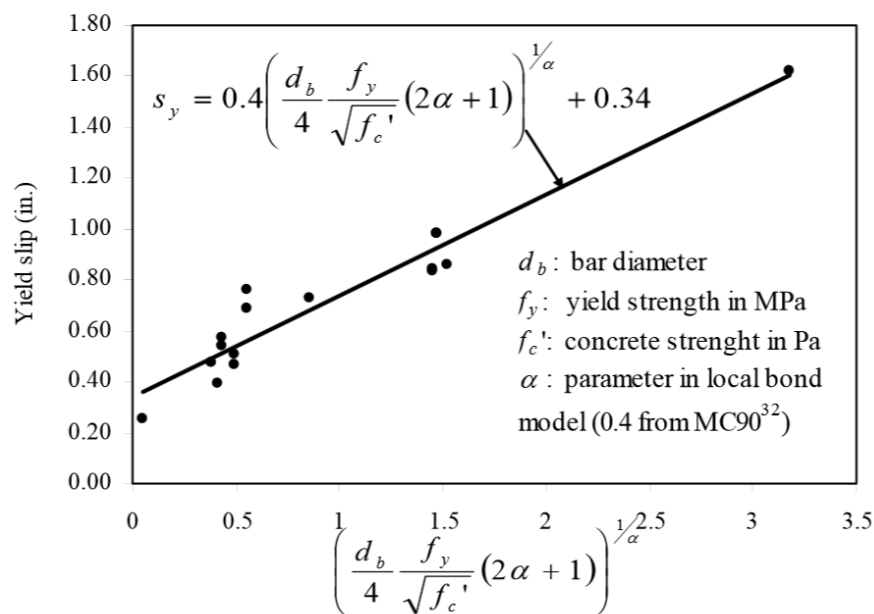
FIGURA 3.17: Efecto de perforación representado por \$R en Bond_SP01.



Fuente: OpenSEES (2013)

En la FIGURA 3.18 se muestra cómo la ecuación que describe a \$S_y, se ajusta a los resultados experimentales.

FIGURA 3.18: Determinación del deslizamiento de las barras de refuerzo longitudinal para un esfuerzo de deformación.



Fuente: Zhao, J., y S. Sritharan (2007)

3.6 PROGRAMACIÓN Y COMBINACIONES DEL MODELO ESTÁNDAR

OpenSEES [18], presenta limitaciones al realizar la conectividad entre los diferentes nudos de la estructura, no debido a limitaciones inherentes del programa, sino a que OpenSEES [18], no permite manipular directamente las matrices resultado en pasos intermedios del cálculo, para verificar la correcta conectividad entre los nudos en la estructura.

Por esta razón, para realizar la conectividad y creación de los elementos de la estructura en análisis (ANEXOS 1 y 2), se realizó la conectividad mediante programación en Matlab [14].

En la FIGURA 3.19, se presenta la programación realizada para crear los nudos y los elementos necesarios de la estructura, para luego continuar el análisis en OpenSEES [18].

FIGURA 3.19: Rutina (opensees_coordenadas_vigmedias)

```

%% Genera las Coordenadas del Modelo que se empleara en OpenSEES
display('Autor: Ing. Carlos Andres Celi')
display('Análisis paramétrico de la fiabilidad de un modelamiento sísmico en el rango no
lineal, en función del tipo de modelamiento empleado ')
clc
clear
lv=5.00;
lc=3.10;
h = 5*lc;

%% Nudos donde se concentran la masa
Nm = [ 16 0 lc
       19 lv lc
       22 2*lv lc
       25 3*lv lc
       28 4*lv lc
       39 0 2*lc
       42 lv 2*lc
       45 2*lv 2*lc
       48 3*lv 2*lc
       51 4*lv 2*lc
       62 0 3*lc
       65 lv 3*lc
       68 2*lv 3*lc
       71 3*lv 3*lc
       74 4*lv 3*lc
       85 0 4*lc
       88 lv 4*lc
       91 2*lv 4*lc
       94 3*lv 4*lc
       97 4*lv 4*lc
       108 0 h
       111 lv h
       114 2*lv h
       117 3*lv h
       120 4*lv h];

```

```

%% Nodos Restricciones
Nr = [1 0 0
      2 5 0
      3 10 0
      4 15 0
      5 20 0];
%% Nodos Restantes n 3.10m
pr = 0.05;
pc = lc*pr;
pv = lv*pr;
Nres = [6 0 pc
        7 lv pc
        8 2*lv pc
        9 3*lv pc
        10 4*lv pc
        11 0 lc-pc
        12 lv lc-pc
        13 2*lv lc-pc
        14 3*lv lc-pc
        15 4*lv lc-pc
        17 pv lc
        18 1*lv-pv lc
        20 1*lv+pv lc
        21 2*lv-pv lc
        23 2*lv+pv lc
        24 3*lv-pv lc
        26 3*lv+pv lc
        27 4*lv-pv lc
        29 0 lc+pc
        30 lv lc+pc
        31 2*lv lc+pc
        32 3*lv lc+pc
        33 4*lv lc+pc];
%% Nodos Restantes n 6.20m
Nres2 = [34 0 2*lc-pc
         35 lv 2*lc-pc
         36 2*lv 2*lc-pc
         37 3*lv 2*lc-pc
         38 4*lv 2*lc-pc
         40 pv 2*lc
         41 lv-pv 2*lc
         43 lv+pv 2*lc
         44 2*lv-pv 2*lc
         46 2*lv+pv 2*lc
         47 3*lv-pv 2*lc
         49 3*lv+pv 2*lc
         50 4*lv-pv 2*lc
         52 0 2*lc+pc
         53 lv 2*lc+pc
         54 2*lv 2*lc+pc
         55 3*lv 2*lc+pc
         56 4*lv 2*lc+pc];
%% Nodos Restantes n 9.30m
Nres3 = [57 0 3*lc-pc
         58 lv 3*lc-pc
         59 2*lv 3*lc-pc
         60 3*lv 3*lc-pc
         61 4*lv 3*lc-pc
         63 pv 3*lc
         64 lv-pv 3*lc
         66 lv+pv 3*lc
         67 2*lv-pv 3*lc
         69 2*lv+pv 3*lc
         70 3*lv-pv 3*lc
         72 3*lv+pv 3*lc
         73 4*lv-pv 3*lc
         75 0 3*lc+pc
         76 lv 3*lc+pc
         77 2*lv 3*lc+pc
         78 3*lv 3*lc+pc
         79 4*lv 3*lc+pc];
%% Nodos Restantes n 12.40m
Nres4 = [80 0 4*lc-pc
         81 lv 4*lc-pc
         82 2*lv 4*lc-pc

```

```

83 3*lv 4*lc-pc
84 4*lv 4*lc-pc
86 pv 4*lc
87 lv-pv 4*lc
89 lv+pv 4*lc
90 2*lv-pv 4*lc
92 2*lv+pv 4*lc
93 3*lv-pv 4*lc
95 3*lv+pv 4*lc
96 4*lv-pv 4*lc
98 0 4*lc+pv
99 lv 4*lc+pv
100 2*lv 4*lc+pv
101 3*lv 4*lc+pv
102 4*lv 4*lc+pv];
%% Nudos Restantes n 15.50m
Nres5 =[103 0 5*lc-pc
104 lv 5*lc-pc
105 2*lv 5*lc-pc
106 3*lv 5*lc-pc
107 4*lv 5*lc-pc
109 pv 5*lc
110 lv-pv 5*lc
112 lv+pv 5*lc
113 2*lv-pv 5*lc
115 2*lv+pv 5*lc
116 3*lv-pv 5*lc
118 3*lv+pv 5*lc
119 4*lv-pv 5*lc];
%% Nudos Medios de Vigas
nm=121;
cx = 2.5;
cy = 3.10;
for i=1:4
    Nmed(i,1) = nm;
    Nmed(i,2) = cx;
    Nmed(i,3) = cy;
    cx = cx+5;
    nm = nm+1;
end
nm=125;
cx = 2.5;
cy = 6.20;
for i=5:8
    Nmed(i,1) = nm;
    Nmed(i,2) = cx;
    Nmed(i,3) = cy;
    cx = cx+5;
    nm = nm+1;
end
nm=129;
cx = 2.5;
cy = 9.30;
for i=9:12
    Nmed(i,1) = nm;
    Nmed(i,2) = cx;
    Nmed(i,3) = cy;
    cx = cx+5;
    nm = nm+1;
end
nm=133;
cx = 2.5;
cy = 12.40;
for i=13:16
    Nmed(i,1) = nm;
    Nmed(i,2) = cx;
    Nmed(i,3) = cy;
    cx = cx+5;
    nm = nm+1;
end
nm=137;
cx = 2.5;
cy = 15.50;
for i=17:20
    Nmed(i,1) = nm;

```

```

Nmed(i,2) = cx;
Nmed(i,3) = cy;
cx = cx+5;
nm = nm+1;
end

%% total
total = [Nm
        Nr
        Nres
        Nres2
        Nres3
        Nres4
        Nres5
        Nmed];
plas = [Nres;Nres2;Nres3;Nres4;Nres5];
axt = size(total);
aplas = size(plas);
for i=1:aplas
    Rot_plas(i,1) = plas(i,1)+300;
    Rot_plas(i,2) = plas(i,2);
    Rot_plas(i,3) = plas(i,3);
end
aux1 = size(Nm);
aux2 = size(Nr);
aux3 = size(Nres);
aux4 = size(Nres2);
aux5 = size(Nres3);
aux6 = size(Nres4);
aux7 = size(Nres5);
aux90 = size(Nmed);
k=1;
%% Ordena la matriz de Coordenadas Nodales
for i=1:axt(1,1)
    b = find(total(:,1)==k);
    ord(i,:) =total(b,:);
    k = k+1;
end
ord; % Matriz de Coordenadas Ordenado
%% Plot
figure (1)
plot
(Nm(:,2),Nm(:,3),'o',Nr(:,2),Nr(:,3),'o',Nres(:,2),Nres(:,3),'rx',Nres2(:,2),Nres2(:,3),'rx',
Nres3(:,2),Nres3(:,3),'rx',Nres4(:,2),Nres4(:,3),'rx',Nres5(:,2),Nres5(:,3),'rx',Nmed(:,2),
Nmed(:,3),'rx');grid on;
% Numera Nudos Medios de Vigas
for i=1:aux90
    t90(i,:) = text (Nmed(i,2),Nmed(i,3),int2str(Nmed(i,1)));
end
% Numera Nudos Masas Concentradas y Apoyos
for i=1:aux1
    t1(i,:) = text (Nm(i,2),Nm(i,3),int2str(Nm(i,1)));
end
for i=1:aux2
    t2(i,:) = text (Nr(i,2),Nr(i,3),int2str(Nr(i,1)));
end
% Numera Nudos hasta nivel 3.10m
for i=1:aux3
    if Nres(i,3)==Nres(1,3)
        t3(i,:) = text (Nres(i,2)+0.03,Nres(i,3)+0.3,int2str(Nres(i,1)));
    else
        if Nres(i,3)==Nres(6,3)
            t4(i,:) = text (Nres(i,2)+0.03,Nres(i,3)-0.3,int2str(Nres(i,1)));
        else
            if Nres(i,3)==Nres(11,3)
                if (Nres(i,2)-pv)==0
                    t5(i,:) = text (Nres(i,2)+0.6,Nres(i,3),int2str(Nres(i,1)));
                else
                    if (Nres(i,2)-pv)/floor(Nres(i,2))==1
                        t6(i,:) = text (Nres(i,2)+0.6,Nres(i,3),int2str(Nres(i,1)));
                    else
                        t7(i,:) = text (Nres(i,2)-0.6,Nres(i,3),int2str(Nres(i,1)));
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end

```

```

        else
            t8(i,:) = text (Nres(i,2)+0.03,Nres(i,3)+0.3,int2str(Nres(i,1)));
        end
    end
end
end
% Numera Nudos hasta nivel 6.20m
for i=1:aux4

    if Nres2(i,3)==Nres2(1,3)
        t4(i,:) = text (Nres2(i,2)+0.03,Nres2(i,3)-0.3,int2str(Nres2(i,1)));
    else
        if Nres2(i,3)==Nres2(6,3)
            if (Nres2(i,2)-pv)==0
                t5(i,:) = text (Nres2(i,2)+0.6,Nres2(i,3),int2str(Nres2(i,1)));
            else
                if (Nres2(i,2)-pv)/floor(Nres2(i,2))==1
                    t6(i,:) = text (Nres2(i,2)+0.6,Nres2(i,3),int2str(Nres2(i,1)));
                else
                    t7(i,:) = text (Nres2(i,2)-0.6,Nres2(i,3),int2str(Nres2(i,1)));
                end
            end
        end
        else
            t8(i,:) = text (Nres2(i,2)+0.03,Nres2(i,3)+0.3,int2str(Nres2(i,1)));
        end
    end
end
end
% Numera Nudos hasta nivel 9.30m
for i=1:aux5

    if Nres3(i,3)==Nres3(1,3)
        t4(i,:) = text (Nres3(i,2)+0.03,Nres3(i,3)-0.3,int2str(Nres3(i,1)));
    else
        if Nres3(i,3)==Nres3(6,3)
            if (Nres3(i,2)-pv)==0
                t5(i,:) = text (Nres3(i,2)+0.6,Nres3(i,3),int2str(Nres3(i,1)));
            else
                if (Nres3(i,2)-pv)/floor(Nres3(i,2))==1
                    t6(i,:) = text (Nres3(i,2)+0.6,Nres3(i,3),int2str(Nres3(i,1)));
                else
                    t7(i,:) = text (Nres3(i,2)-0.6,Nres3(i,3),int2str(Nres3(i,1)));
                end
            end
        end
        else
            t8(i,:) = text (Nres3(i,2)+0.03,Nres3(i,3)+0.3,int2str(Nres3(i,1)));
        end
    end
end
end
% Numera Nudos hasta nivel 12.40m
for i=1:aux6

    if Nres4(i,3)==Nres4(1,3)
        t4(i,:) = text (Nres4(i,2)+0.03,Nres4(i,3)-0.3,int2str(Nres4(i,1)));
    else
        if Nres4(i,3)==Nres4(6,3)
            if (Nres4(i,2)-pv)==0
                t5(i,:) = text (Nres4(i,2)+0.6,Nres4(i,3),int2str(Nres4(i,1)));
            else
                if (Nres4(i,2)-pv)/floor(Nres4(i,2))==1
                    t6(i,:) = text (Nres4(i,2)+0.6,Nres4(i,3),int2str(Nres4(i,1)));
                else
                    t7(i,:) = text (Nres4(i,2)-0.6,Nres4(i,3),int2str(Nres4(i,1)));
                end
            end
        end
        else
            t8(i,:) = text (Nres4(i,2)+0.03,Nres4(i,3)+0.3,int2str(Nres4(i,1)));
        end
    end
end
end
% Numera Nudos hasta nivel 15.50m
for i=1:aux7

```

```

    if Nres5(i,3)==Nres5(1,3)
        t4(i,:) = text (Nres5(i,2)+0.03,Nres5(i,3)-0.3,int2str(Nres5(i,1)));
    else
        if Nres5(i,3)==Nres5(6,3)
            if (Nres5(i,2)-pv)==0
                t5(i,:) = text (Nres5(i,2)+0.6,Nres5(i,3),int2str(Nres5(i,1)));
            else
                if (Nres5(i,2)-pv)/floor(Nres5(i,2))==1
                    t6(i,:) = text (Nres5(i,2)+0.6,Nres5(i,3),int2str(Nres5(i,1)));
                else
                    t7(i,:) = text (Nres5(i,2)-0.6,Nres5(i,3),int2str(Nres5(i,1)));
                end
            end
        end
    end
end

end

%% Generador de Elementos
%% Columnas Parte Media
cont =6;
for i =1:5
    e1(i,:) = [i,cont,cont+5];
    e2(i,:) = [i+5,cont+23,cont+5+23];
    e3(i,:) = [i+10,cont+46,cont+5+46];
    e4(i,:) = [i+15,cont+69,cont+5+69];
    e5(i,:) = [i+20,cont+92,cont+5+92];
    cont =cont+1;
end
colint = [e1;e2;e3;e4;e5];
%% Columnas Cabeza y Pie
cont =1;
cont1 =11;
cont2 =16;
for i=1:5
    ep1(i,:) = [i+25,cont,cont+5];
    ec1(i,:) = [i+30,cont1,cont2];
    ep2(i,:) = [i+35,cont2,cont1+18];
    ec2(i,:) = [i+40,cont1+23,cont2+23];
    ep3(i,:) = [i+45,cont2+23,cont1+41];
    ec3(i,:) = [i+50,cont1+46,cont2+46];
    ep4(i,:) = [i+55,cont2+46,cont1+64];
    ec4(i,:) = [i+60,cont1+69,cont2+69];
    ep5(i,:) = [i+65,cont2+69,cont1+87];
    ec5(i,:) = [i+70,cont1+92,cont2+92];
    cont = cont+1;
    cont1 = cont1+1;
    cont2 = cont2+3;
end
ex1 = [ep1;ec1];
ex2 = [ep2;ec2];
ex3 = [ep3;ec3];
ex4 = [ep4;ec4];
ex5 = [ep5;ec5];
colext = [ex1;ex2;ex3;ex4;ex5];
ecol = [colint;colext];
%% Vigas extremo derecho e izquierdo
cont1 = 16;
cont2 = 17;
for i=1:4
    ei1(i,:) = [i+75,cont1,cont2];
    ed1(i,:) = [i+79,cont1+2,cont2+2];
    ei2(i,:) = [i+83,cont1+23,cont2+23];
    ed2(i,:) = [i+87,cont1+25,cont2+25];
    ei3(i,:) = [i+91,cont1+46,cont2+46];
    ed3(i,:) = [i+95,cont1+48,cont2+48];
    ei4(i,:) = [i+99,cont1+69,cont2+69];
    ed4(i,:) = [i+103,cont1+71,cont2+71];
    ei5(i,:) = [i+107,cont1+92,cont2+92];
    ed5(i,:) = [i+111,cont1+94,cont2+94];
    cont1=cont1+3;
    cont2=cont2+3;
end
ev1 = [ei1;ed1];

```

```

ev2 = [ei2;ed2];
ev3 = [ei3;ed3];
ev4 = [ei4;ed4];
ev5 = [ei5;ed5];
vigext = [ev1;ev2;ev3;ev4;ev5];
%% Vigas Parte Interna
cont1 = 17;
cont2 = 18;
cont3 = 121;
kj=0;
for i=1:4
    in11(i,:) = [i+115+kj,cont1,cont3];
    in12(i,:) = [i+116+kj,cont3,cont2];
    in21(i,:) = [i+123+kj,cont1+23,cont3+4];
    in22(i,:) = [i+124+kj,cont3+4,cont2+23];
    in31(i,:) = [i+131+kj,cont1+46,cont3+8];
    in32(i,:) = [i+132+kj,cont3+8,cont2+46];
    in41(i,:) = [i+139+kj,cont1+69,cont3+12];
    in42(i,:) = [i+140+kj,cont3+12,cont2+69];
    in51(i,:) = [i+147+kj,cont1+92,cont3+16];
    in52(i,:) = [i+148+kj,cont3+16,cont2+92];
    kj=kj+1;
    cont1=cont1+3;
    cont2=cont2+3;
    cont3=cont3+1;
end
vigi = [in11;in12;in21;in22;in31;in32;in41;in42;in51;in52];
k=116;
auxvm= size(vigi);
for i=1:auxvm(1,1)
    b = find(vigi(:,1)==k);
    vigint(i,:) =vigi(b,:);
    k = k+1;
end
vigint;
% evig = [vigext;vigint];
% Telem = [ecol;evig];

% aux8 = size(ex1);
% x = total(:,2);
% y = total(:,3);
% figure (2)
% g = find(total==1);
%
% for i=1:2
%     ij=[ex1(i,2),ex1(i,3)];
%     g = find(total==ij(1,1));
%     h = find(total==ij(1,2));
%     xx(1,1) = total(g,2);
%     yy(1,2) = total(g,3);
%     xx(2,1) = total(h,2);
%     yy(2,2) = total(h,3);
%     plot(xx,yy)
% end
ele_total = [colint;colect;vigext;vigint];
%% Grafica el numero de elemento
aux98 = size(ord);
aux99 = size(ele_total);
gh=1;
for i=1:aux99(1,1)
    bv = ele_total(i,2);
    vb = ele_total(i,3);
    [ki,l,m]=find(ord==bv);
    [oi,p,q]=find(ord==vb);
    ex(i,1) = gh;
    ex(i,2) = ord(ki(1,1),2);
    ex(i,3) = ord(ki(1,1),3);
    ex(i,4) = ord(oi(1,1),2);
    ex(i,5) = ord(oi(1,1),3);
    gh = gh+1;
end
ex;

```



```

%% Plot
figure (2)
plot
(Nm(:,2),Nm(:,3),'o',Nr(:,2),Nr(:,3),'o',Nres(:,2),Nres(:,3),'rx',Nres2(:,2),Nres2(:,3),'rx',
',Nres3(:,2),Nres3(:,3),'rx',Nres4(:,2),Nres4(:,3),'rx',Nres5(:,2),Nres5(:,3),'rx',Nmed(:,2),
),Nmed(:,3),'rx');grid on;
for i=1:25
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))+0.03,int2str(ex(i,1)));
end
for i=26:30
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))+0.4,int2str(ex(i,1)));
end
for i=116:155
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4))), (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))+0.03,int2str(ex(i,1)));
end
for i=31:35
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.4,int2str(ex(i,1)));
end
for i=36:40
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))+0.4,int2str(ex(i,1)));
end
for i=41:45
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.4,int2str(ex(i,1)));
end
for i=46:50
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))+0.4,int2str(ex(i,1)));
end
for i=51:55
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.4,int2str(ex(i,1)));
end
for i=56:60
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))+0.4,int2str(ex(i,1)));
end
for i=61:65
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.4,int2str(ex(i,1)));
end
for i=66:70
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))+0.4,int2str(ex(i,1)));
end
for i=70:75
    tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.03, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.4,int2str(ex(i,1)));
end
for i=76:115
    if (abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2)))==pv/2;
        tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.20, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.03,int2str(ex(i,1)));
    end

    if (abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2)))==(5-pv)+pv/2;
        tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))-0.5, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.03,int2str(ex(i,1)));
    end

    if (abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2)))==5+pv/2;
        tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.20, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.03,int2str(ex(i,1)));
    end

    if (abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2)))==10-pv/2;
        tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))-0.5, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.03,int2str(ex(i,1)));
    end
end

```

```

if (abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2)))==10+pv/2;
tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.20, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.03,int2str(ex(i,1)));
end

if (abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2)))==15-pv/2;
tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))-0.5, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.03,int2str(ex(i,1)));
end

if (abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2)))==15+pv/2;
tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.20, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.03,int2str(ex(i,1)));
end

if (abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2)))==10+pv/2;
tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))+0.20, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.03,int2str(ex(i,1)));
end

if (abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2)))==20-pv/2;
tei(i,:) = text ((abs(ex(i,2)-ex(i,4))/2+min(ex(i,2),ex(i,4)))-0.5, (abs(ex(i,3)-
ex(i,5))/2+min(ex(i,3),ex(i,5)))-0.03,int2str(ex(i,1)));
end

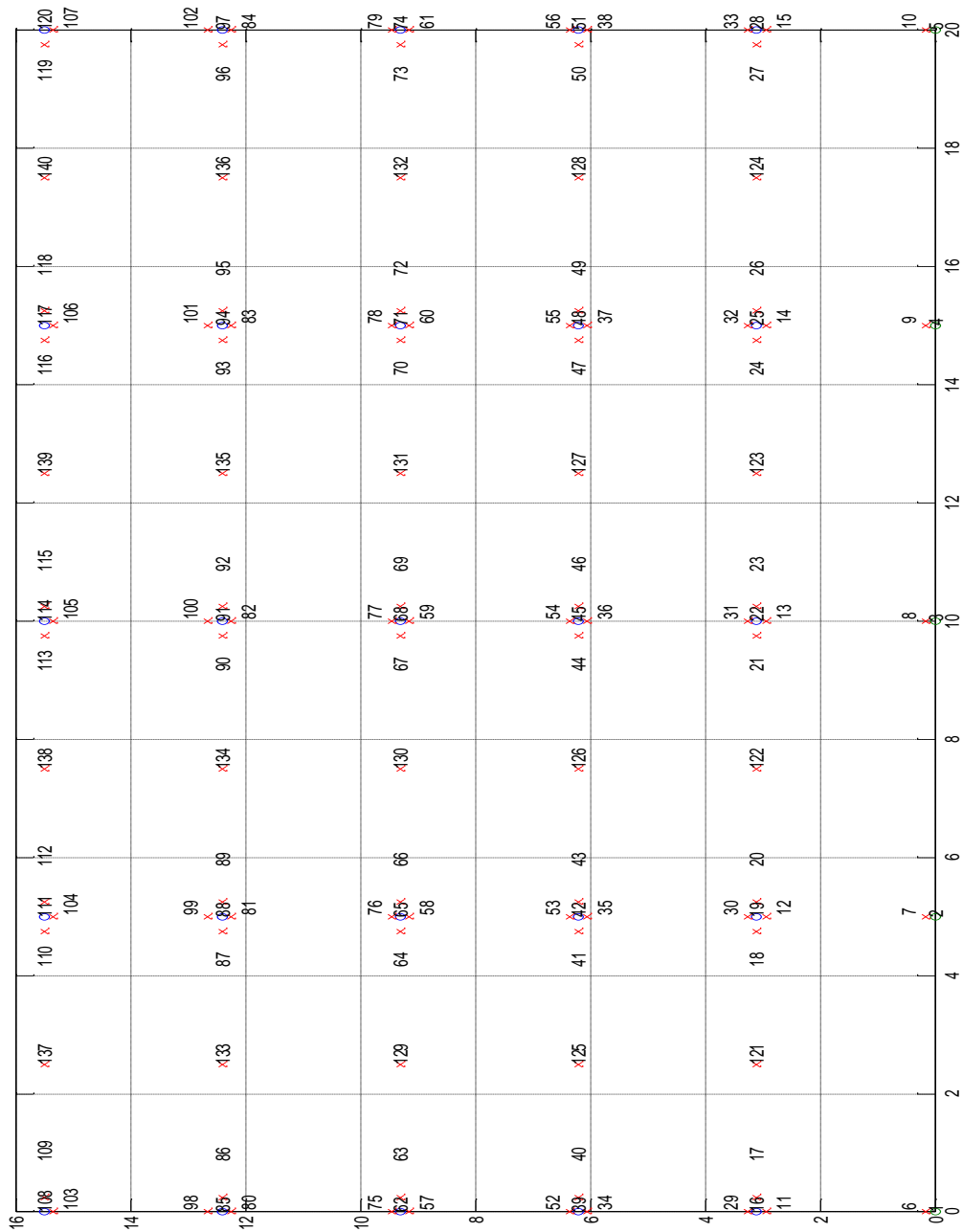
end

```

Elaboración: Carlos Celi.

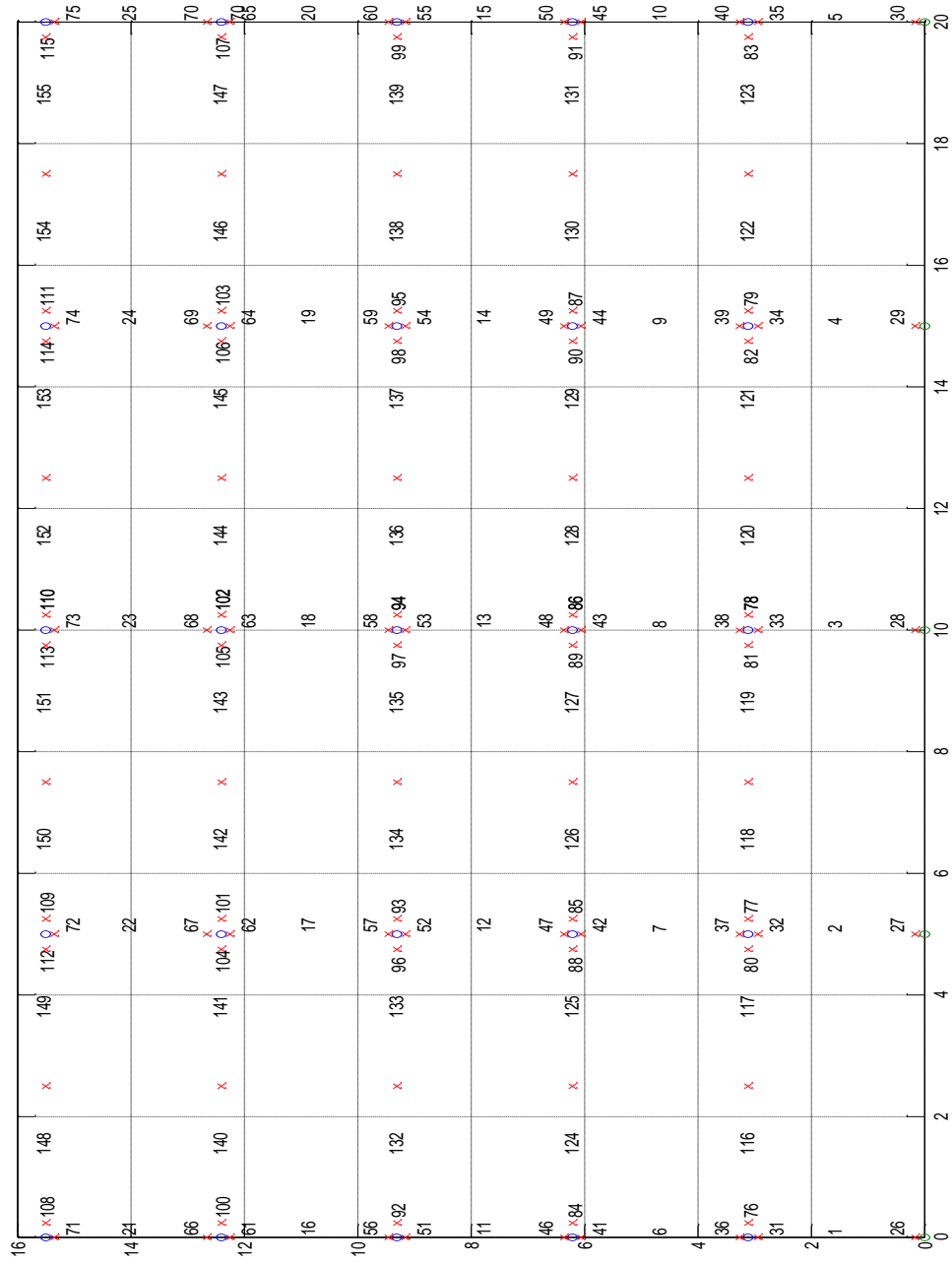
En las FIGURAS 3.20 y 3.21, se presenta la salida gráfica de la rutina (opensees_coordenadas_vigmedias), la cual muestra gráficamente la numeración de nudos y elementos; cabe recalcar que la programación restringe que solo se grafique si la conectividad es correcta; de esta manera se asegura al momento de pasar la “data” a OpenSEES [18], que si existe algún problema en la convergencia de la ecuación no lineal, esta no sea producto de un error en la conectividad de los elementos.

FIGURA 3.20: Numeración de nudos generados con la rutina (opensees_coordenadas_vigmedias)



Elaboración: Carlos Celi.

FIGURA 3.21: Numeración de elementos generados con la rutina (opensees_coordenadas_vigmedias)



Elaboración: Carlos Celi.

Las 90 combinaciones del modelo básico se presentan en el ANEXO 3; en la FIGURA 3.22 se presenta la programación del modelo 85, tomando en consideración que la programación varía de modelo a modelo, no obstante dichas programaciones se anexan en el archivo digital de esta tesis.

No es objetivo de esta investigación indicar cómo se usa y se programa en OpenSEES [18], aunque en los párrafos anteriores se acotó el manejo de ciertas subrutinas que se cree necesarias mencionar brevemente para el entendimiento de esta Tesis; cabe recalcar que el manejo del programa OpenSEES [18], es basado en lenguaje TCL, y que la programación realizada obedece a los principios estructurales básicos y conceptos de elementos fibras mencionados en este capítulo.

FIGURA 3.22: Programación, análisis gravitacional, cgl85.tcl (Modelo 85 OpenSEES)

```
# MODELO 85
# ELEMENTOS VIGA, COLUMNA CON SECCIONES TIPO FIBRA
# UNIDADES T, m, seg
# INICIO
#=====
wipe all; # borra de la memoria modelos anteriores
model BasicBuilder -ndm 2 -ndf 3 ; # defino el modelo 2d y 3gdl por nudo
set dataDir Modelo-1; # asigno el nombre Datos1 al directorio datadir
file mkdir $dataDir; # defino mi archivo de salida Datos1
puts "MODELO DEFINIDO!"
#=====

# DEFINO GEOMETRÍA Y PARÁMETROS
#=====
source DisplayModel2D.tcl; # procedure for displaying a 2D perspective of model
source DisplayPlane.tcl; # procedure for displaying a plane in a model
source rotSpring2DModIKModel.tcl; # procedure for defining a rotational spring (zero-length element)
puts "cargado graficador"

set LCol 3.10; # longitud columna
set LViga 5.0; # longitud viga
set LViga 5.0; # longitud viga
set HCol1 [expr 0.55]; # altura columna Tipo 1
set BCol1 [expr 0.55]; # ancho columna Tipo 1
set A1 [expr $HCol1*$BCol1]; # Area Columna Tipo 1
set Iz1 [expr $HCol1*pow(($BCol1),3)/12]; # Inercia en Z Columna Tipo 1
set HCol2 [expr 0.45]; # altura columna Tipo 2
set BCol2 [expr 0.45]; # ancho columna Tipo 2
set A2 [expr $HCol2*$BCol2]; # Area Columna Tipo 2
set Iz2 [expr $HCol2*pow(($BCol2),3)/12]; # Inercia en Z Columna Tipo 2
puts "ok"
set HViga [expr 0.45]; # altura viga
set BViga [expr 0.30]; # base viga
set A3 [expr $HViga*$BViga]; # Area Viga
set Iz3 [expr $HViga*pow(($BViga),3)/12]; # Inercia en Z Viga
set cover 0.04; # recubrimiento
```

```

set fi10 10; # diámetro 10 mm
set fi12 12; # diámetro 12 mm
set fi14 14; # diámetro 14 mm
set fi16 16; # diámetro 16 mm
set As10 [expr (3.1416*pow(0.001*$fi10,2))/4]; # área varilla 10mm
set As12 [expr (3.1416*pow(0.001*$fi12,2))/4]; # área varilla 12mm
set As14 [expr (3.1416*pow(0.001*$fi14,2))/4]; # área varilla 14mm
set As16 [expr (3.1416*pow(0.001*$fi16,2))/4]; # área varilla 16mm
set As1416 [expr (3*$As14+2*$As16)/5]
set As1014 [expr ($As10+3*$As14)/4]
set H [expr 5*$LCol]; # altura de la estructura
set IDconCore1 1; # Concreto No-Confinado
set IDconCore2 2; # Concreto Confinado
set IDconCore3 3; # Concreto (Comportamiento Lineal)
set IDsteel4 4; # Acero de Refuerzo
puts "ok"
#=====

# PARAMETROS DEL ACERO DE REFUERZO Y CONCRETO
#=====

# conCore1
set fc1 2100; # resistencia a la compresión simple(No-Confinado)
set ec1 0.002; # Deformación del concreto en el esfuerzo máximo(No-Confinado)
set fc21 0.000; # Esfuerzo de fractura del concreto(No-Confinado)
set ec21 0.004; # Deformación del concreto en la fractura del concreto(No-Confinado)
# conCore2
set fc12 2940; # resistencia a la compresión simple(Confinado)
set ec12 0.0062; # Deformación del concreto en el esfuerzo máximo(Confinado)
set fc22 2560; # Esfuerzo de fractura del concreto(Confinado)
set ec22 0.0018; # Deformación del concreto en la fractura del concreto(Confinado)
# conCore3
set Ec13 2000000; # Modulo de Elasticidad del Concreto
# steel4
set fy14 42000; # esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo
set E14 21000000.0; # módulo de Young acero
set b14 0.05; # coeficiente endurecimiento - deformación (entre la rigidez post
fluencia y la rigidez elástica inicial)
set Fu 57960; # Esfuerzo Maximo del Acero
puts "ok"
#cortante
set Gg [expr ($Ec13)/2/(1+0.2)]; # modulo de cortante
puts "modulo de corte"
#=====

# DEFINO MATERIALES
#=====
# CONCRETO DEL NÚCLEO (CONFINADO)
# CONCRETO tag f'c ec0 f'cu ecu
uniaxialMaterial Concrete01 $IDconCore2 $fc12 $ec12 $fc22 $ec22

# CONCRETO EXTERIOR (NO CONFINADO)
# CONCRETO tag f'c ec0 f'cu ecu
uniaxialMaterial Concrete01 $IDconCore1 $fc11 $ec11 $fc21 $ec21

# CONCRETO (LINEAL)
# CONCRETO tag Ec
uniaxialMaterial Elastic $IDconCore3 $Ec13

# ACERO DE REFUERZO
# tag fy E0 b
uniaxialMaterial Steel01 $IDsteel4 $fy14 $E14 $b14

```

```

#PARÁMETROS AUXILIARES PARA DEFINIR SECCIÓN FIBRA COLUMNA
set y1 [expr $HCol1/2.0]; # Col tipo 1
set z1 [expr $BCol1/2.0]; # Col tipo 1
set y2 [expr $HCol2/2.0]; # Col tipo 2
set z2 [expr $BCol2/2.0]; # Col tipo 2

#PARÁMETROS AUXILIARES PARA DEFINIR SECCIÓN FIBRA VIGAS
set y3 [expr $HViga/2.0]
set z3 [expr $BViga/2.0]

#=====

#SECCIÓN FIBRA PARA COLUMNAS
#=====
set SecTag1 1; # ID
section fiberSec $SecTag1 {
# FIBRAS DE CONCRETO CONFINADO COL TIPO 1
patch rect $IDconCore2 6 6 [expr $cover-$z1] [expr $cover-$y1] [expr $z1-$cover] [expr $y1-$cover];
# FIBRAS DE CONCRETO NO CONFINADO (DER, IZQU,ABAJO, ARRIBA) COL TIPO 1
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr $z1-$cover] [expr -$y1] $z1 $y1;
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr -$z1] [expr -$y1] [expr $cover-$z1] $y1;
patch rect $IDconCore1 1 6 [expr $cover-$z1] [expr -$y1] [expr $z1-$cover] [expr $cover-$y1];
patch rect $IDconCore1 1 6 [expr $cover-$z1] [expr $y1-$cover] [expr $z1-$cover] $y1;
# FIBRAS DE REFUERZO (ARRIBA, MEDIO, ABAJO)
layer straight $IDsteel4 5 $As16 [expr $cover-$z1] [expr $y1-$cover] [expr $z1-$cover] [expr $y1-$cover];
layer straight $IDsteel4 2 $As16 [expr $cover-$z1] [expr $y1/2-$cover] [expr $z1-$cover] [expr $y1/2-$cover];
layer straight $IDsteel4 2 $As16 [expr $cover-$z1] 0.0 [expr $z1-$cover] 0.0;
layer straight $IDsteel4 2 $As16 [expr $cover-$z1] [expr $cover-$y1/2] [expr $z1-$cover] [expr $cover-$y1/2];
layer straight $IDsteel4 5 $As16 [expr $cover-$z1] [expr $cover-$y1] [expr $z1-$cover] [expr $cover-$y1];
}

set SecTag2 2; # ID
section Fiber $SecTag2 {
# FIBRAS DE CONCRETO CONFINADO COL TIPO 2
patch rect $IDconCore2 4 4 [expr $cover-$z2] [expr $cover-$y2] [expr $z2-$cover] [expr $y2-$cover]
# FIBRAS DE CONCRETO NO CONFINADO (DER, IZQU,ABAJO, ARRIBA) COL TIPO 2
patch rect $IDconCore1 6 1 [expr $z2-$cover] [expr -$y2] $z2 $y2
patch rect $IDconCore1 6 1 [expr -$z2] [expr -$y2] [expr $cover-$z2] $y2
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z2] [expr -$y2] [expr $z2-$cover] [expr $cover-$y2]
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z2] [expr $y2-$cover] [expr $z2-$cover] $y2
# FIBRAS DE REFUERZO (ARRIBA, MEDIO, ABAJO)
layer straight $IDsteel4 4 $As16 [expr $cover-$z2] [expr $y2-$cover] [expr $z2-$cover] [expr $y2-$cover]
layer straight $IDsteel4 2 $As16 [expr $cover-$z2] 0.0 [expr $z2-$cover] 0.0
layer straight $IDsteel4 4 $As16 [expr $cover-$z2] [expr $cover-$y2] [expr $z2-$cover] [expr $cover-$y2]
}

#=====

#SECCIÓN FIBRA PARA VIGAS
#=====
set SecTag3 3; # ID #Celeste de 8.6cm2
section Fiber $SecTag3 {
# FIBRAS DE CONCRETO CONFINADO VIG TIPO 1
patch rect $IDconCore2 6 4 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
# FIBRAS DE CONCRETO NO CONFINADO (DER, IZQU,ABAJO, ARRIBA) VIG TIPO 1
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr $z3-$cover] [expr -$y3] $z3 $y3
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr -$z3] [expr -$y3] [expr $cover-$z3] $y3
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr -$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] $y3
# FIBRAS DE REFUERZO (ARRIBA, MEDIO, ABAJO)
layer straight $IDsteel4 5 $As1416 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
}

```

```

layer straight $IDsteel4 2 $As12 [expr $cover-$z3] 0.0 [expr $z3-$cover] 0.0
layer straight $IDsteel4 4 $As1014 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
}

set SecTag31 31; # ID #Celeste de 8.6cm2
section Fiber $SecTag31 {

# FIBRAS DE CONCRETO CONFINADO VIG TIPO 1
patch rect $IDconCore2 6 4 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
# FIBRAS DE CONCRETO NO CONFINADO (DER, IZQU,ABAJO, ARRIBA) VIG TIPO 1
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr $z3-$cover] [expr -$y3] $z3 $y3
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr -$z3] [expr -$y3] [expr $cover-$z3] $y3
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr -$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] $y3
# FIBRAS DE REFUERZO (ARRIBA, MEDIO, ABAJO)
layer straight $IDsteel4 5 $As1416 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
layer straight $IDsteel4 2 $As12 [expr $cover-$z3] 0.0 [expr $z3-$cover] 0.0
layer straight $IDsteel4 4 $As1014 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
}

set SecTag4 4; # ID # amarillo, celeste 7.7cm2
section Fiber $SecTag4 {

# FIBRAS DE CONCRETO CONFINADO VIG TIPO 2
patch rect $IDconCore2 6 4 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
# FIBRAS DE CONCRETO NO CONFINADO (DER, IZQU,ABAJO, ARRIBA) VIG TIPO 2
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr $z3-$cover] [expr -$y3] $z3 $y3
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr -$z3] [expr -$y3] [expr $cover-$z3] $y3
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr -$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] $y3
# FIBRAS DE REFUERZO (ARRIBA, MEDIO, ABAJO)
layer straight $IDsteel4 5 $As14 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
layer straight $IDsteel4 2 $As12 [expr $cover-$z3] 0.0 [expr $z3-$cover] 0.0
layer straight $IDsteel4 4 $As1014 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
}

set SecTag41 41; # ID # amarillo, celeste 7.7cm2
section Fiber $SecTag41 {

# FIBRAS DE CONCRETO CONFINADO VIG TIPO 2
patch rect $IDconCore2 6 4 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
# FIBRAS DE CONCRETO NO CONFINADO (DER, IZQU,ABAJO, ARRIBA) VIG TIPO 2
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr $z3-$cover] [expr -$y3] $z3 $y3
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr -$z3] [expr -$y3] [expr $cover-$z3] $y3
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr -$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] $y3
# FIBRAS DE REFUERZO (ARRIBA, MEDIO, ABAJO)
layer straight $IDsteel4 5 $As14 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
layer straight $IDsteel4 2 $As12 [expr $cover-$z3] 0.0 [expr $z3-$cover] 0.0
layer straight $IDsteel4 4 $As1014 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
}

set SecTag5 5; # ID
section Fiber $SecTag5 {

# FIBRAS DE CONCRETO CONFINADO VIG TIPO 3
patch rect $IDconCore2 6 4 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
# FIBRAS DE CONCRETO NO CONFINADO (DER, IZQU,ABAJO, ARRIBA) VIG TIPO 3
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr $z3-$cover] [expr -$y3] $z3 $y3
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr -$z3] [expr -$y3] [expr $cover-$z3] $y3
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr -$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] $y3
# FIBRAS DE REFUERZO (ARRIBA, MEDIO, ABAJO)
layer straight $IDsteel4 3 $As14 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
layer straight $IDsteel4 2 $As12 [expr $cover-$z3] 0.0 [expr $z3-$cover] 0.0
layer straight $IDsteel4 3 $As12 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
}

```



```

}

set SecTag51 51; # ID
section Fiber $SecTag51 {

# FIBRAS DE CONCRETO CONFINADO VIG TIPO 3
patch rect $IDconCore2 6 4 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
# FIBRAS DE CONCRETO NO CONFINADO (DER, IZQU, ABAJO, ARRIBA) VIG TIPO 3
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr $z3-$cover] [expr -$y3] $z3 $y3
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr -$z3] [expr -$y3] [expr $cover-$z3] $y3
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr -$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
patch rect $IDconCore1 1 4 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] $y3
# FIBRAS DE REFUERZO (ARRIBA, MEDIO, ABAJO)
layer straight $IDsteel4 3 $As14 [expr $cover-$z3] [expr $y3-$cover] [expr $z3-$cover] [expr $y3-$cover]
layer straight $IDsteel4 2 $As12 [expr $cover-$z3] 0.0 [expr $z3-$cover] 0.0
layer straight $IDsteel4 3 $As12 [expr $cover-$z3] [expr $cover-$y3] [expr $z3-$cover] [expr $cover-$y3]
}

puts "SECCIONES FIBRA CREADAS"

# APORTE CORTANTE
set elas 3000;
uniaxialMaterial Elastic $elas $Gg

set SecTag33 99
section Aggregator $SecTag33 $elas Vy -section $SecTag3
puts "cortante agregado a vigas"

set SecTag44 97
section Aggregator $SecTag44 $elas Vy -section $SecTag4
puts "cortante agregado a vigas"

set SecTag55 96
section Aggregator $SecTag55 $elas Vy -section $SecTag5
puts "cortante agregado a vigas"

set SecTag11 98
section Aggregator $SecTag11 $elas Vy -section $SecTag1
puts "cortante agregado a columnas"

# APORTE ADHERENCIA
set adh 3200; # seccion de adhesion

# Calculo de Sy (deslizamiento de la barras de refuerzo en la interfaz de conexion con el miembro rigido sometida a esfuerzo de fluencia)
set alpha 0.4; # parametro que considera el deslizamiento en la conexion
set Sy1 [expr ($fi16*($fy14/101.937)^(2*$alpha+1))];
set Sy2 [expr (8437*pow(($fc12/101.937),0.5))];
set Sy3 [expr 2.54*pow($Sy1/$Sy2,(1/$alpha))+0.34];
set Sy4 [expr $Sy3/1000];
puts "ok"
set Sui [expr $Sy4*40]; # dezlizamiento de las barras en el extremo de carga para el esfuerzo de rotura (30 - 40)
puts "ok"
set bi 0.50; # endurecimiento inicial (deslizamiento monotonic vs esfuerzo de respuesta de las barras)(0.3 - 0.5)
set Rp 1.00; # Factor de perforación para la curva de deslizamiento ciclico vs respuesta de las barras (0.5 - 1.0)
#uniaxialMaterial Bond_SP01 $adh [expr $fy14/703.1] $Sy4 [expr $Fu/703.1] $Sui $bi $Rp; # creacion del material uniaxial de adherencia
uniaxialMaterial Bond_SP01 $adh [expr $fy14] $Sy4 [expr $Fu] $Sui $bi $Rp; # creacion del material uniaxial de adherencia
puts "uniaxial adherencia"

#=====
#=====
#=====

# DEFINO CARGAS
#=====
set Wbp1 1.4*0.939; # carga distribuida peso propio sobre las vigas del nivel

```

```

+3.10m
set Wbd1 1.4*0.333; # carga distribuida carga muerta sobre las vigas del nivel
+3.10m
set Wbl1 1.7*0.333; # carga distribuida carga viva sobre las vigas del nivel
+3.10m
set Wt1 [expr $Wbp1+$Wbd1+$Wbl1]; # carga total sobre cada viga nivel +3.10m

set Wbp2 1.4*0.939; # carga distribuida peso propio sobre las vigas del nivel
+6.20m
set Wbd2 1.4*0.333; # carga distribuida carga muerta sobre las vigas del nivel
+6.20m
set Wbl2 1.7*0.333; # carga distribuida carga viva sobre las vigas del nivel
+6.20m
set Wt2 [expr $Wbp2+$Wbd2+$Wbl2]; # carga total sobre cada viga nivel +6.20m

set Wbp3 1.4*0.897; # carga distribuida peso propio sobre las vigas del nivel
+9.30m
set Wbd3 1.4*0.333; # carga distribuida carga muerta sobre las vigas del nivel
+9.30m
set Wbl3 1.7*0.333; # carga distribuida carga viva sobre las vigas del nivel
+9.30m
set Wt3 [expr $Wbp3+$Wbd3+$Wbl3]; # carga total sobre cada viga nivel +9.30m

set Wbp4 1.4*0.861; # carga distribuida peso propio sobre las vigas del nivel
+12.40m
set Wbd4 1.4*0.333; # carga distribuida carga muerta sobre las vigas del nivel
+12.40m
set Wbl4 1.7*0.333; # carga distribuida carga viva sobre las vigas del nivel
+12.40m
set Wt4 [expr $Wbp4+$Wbd4+$Wbl4]; # carga total sobre cada viga nivel +12.40m

set Wbp5 1.4*0.939; # carga distribuida peso propio sobre las vigas del nivel
+15.50m
set Wbd5 1.4*0.333; # carga distribuida carga muerta sobre las vigas del nivel
+15.50m
set Wbl5 1.7*0.333; # carga distribuida carga viva sobre las vigas del nivel
+15.50m
set Wt5 [expr $Wbp5+$Wbd5+$Wbl5]; # carga total sobre cada viga nivel +15.50m
puts "Cargas Definidas"
#=====

# MASAS NODALES GENERALES
#=====
set Peso1 $Wt1*$LViga; # Peso por vano en nivel +3.10m
set Peso2 $Wt2*$LViga; # Peso por vano en nivel +6.20m
set Peso3 $Wt3*$LViga; # Peso por vano en nivel +9.30m
set Peso4 $Wt4*$LViga; # Peso por vano en nivel +12.40m
set Peso5 $Wt5*$LViga; # Peso por vano en nivel +15.50m
set g 9.81; # aceleración de la gravedad (m/seg2)

set Pcol11 [expr $Peso1/2]; # Peso concentrado en columna (11) posición nivel +3.10 1 equinera
set Pcol12 [expr $Peso1]; # Peso concentrado en columna (12) posición nivel +3.10 2 interna

set Pcol21 [expr $Peso2/2]; # Peso concentrado en columna (21) posición nivel +6.20 1 equinera
set Pcol22 [expr $Peso2]; # Peso concentrado en columna (22) posición nivel +6.20 2 interna

set Pcol31 [expr $Peso3/2]; # Peso concentrado en columna (31) posición nivel +9.30 1 equinera
set Pcol32 [expr $Peso3]; # Peso concentrado en columna (32) posición nivel +9.30 2 interna

set Pcol41 [expr $Peso4/2]; # Peso concentrado en columna (41) posición nivel +12.40 1 equinera
set Pcol42 [expr $Peso4]; # Peso concentrado en columna (42) posición nivel +12.40 2 interna

set Pcol51 [expr $Peso5/2]; # Peso concentrado en columna (51) posición nivel +15.50 1 equinera
set Pcol52 [expr $Peso5]; # Peso concentrado en columna (52) posición nivel +15.50 2 interna

set Mass11 [expr $Pcol11/$g]; # masa nodal nivel +3.10 esquinera

```

```

set Mass12 [expr $Pcol12/$g]; # masa nodal nivel +3.10 interna

set Mass21 [expr $Pcol21/$g]; # masa nodal nivel +6.20 esquina
set Mass22 [expr $Pcol22/$g]; # masa nodal nivel +6.20 interna

set Mass31 [expr $Pcol31/$g]; # masa nodal nivel +9.30 esquina
set Mass32 [expr $Pcol32/$g]; # masa nodal nivel +9.30 interna

set Mass41 [expr $Pcol41/$g]; # masa nodal nivel +12.40 esquina
set Mass42 [expr $Pcol42/$g]; # masa nodal nivel +12.40 interna

set Mass51 [expr $Pcol51/$g]; # masa nodal nivel +15.50 esquina
set Mass52 [expr $Pcol52/$g]; # masa nodal nivel +15.50 interna
puts "Masas generales Definidas"
#=====

# COORDENADAS NODALES:
#=====
source coordenadas.txt
node 191 0 0;
node 192 5 0;
node 193 10 0;
node 194 15 0;
node 195 20 0;

source Rot_plas.txt

puts "COORDENADAS NODALES ASIGNADAS"
#=====

# Diafragma rigido para conexiones viga - columna por piso
# command: equalDOF $MasterNodeID $SlaveNodeID $dof1 $dof2...
set dof1 1; # constrain movement in dof 1 (x-direction)
equalDOF 16 19 $dof1; # Floor 1: Pier 1 to Pier 2
equalDOF 16 22 $dof1; # Floor 1: Pier 1 to Pier 3
equalDOF 16 25 $dof1; # Floor 1: Pier 1 to Pier 4
equalDOF 16 28 $dof1; # Floor 1: Pier 1 to Pier 5

equalDOF 39 42 $dof1; # Floor 2: Pier 1 to Pier 2
equalDOF 39 45 $dof1; # Floor 2: Pier 1 to Pier 3
equalDOF 39 48 $dof1; # Floor 2: Pier 1 to Pier 4
equalDOF 39 51 $dof1; # Floor 2: Pier 1 to Pier 5

equalDOF 62 65 $dof1; # Floor 3: Pier 1 to Pier 2
equalDOF 62 68 $dof1; # Floor 3: Pier 1 to Pier 3
equalDOF 62 71 $dof1; # Floor 3: Pier 1 to Pier 4
equalDOF 62 74 $dof1; # Floor 3: Pier 1 to Pier 5

equalDOF 85 88 $dof1; # Floor 4: Pier 1 to Pier 2
equalDOF 85 91 $dof1; # Floor 4: Pier 1 to Pier 3
equalDOF 85 94 $dof1; # Floor 4: Pier 1 to Pier 4
equalDOF 85 97 $dof1; # Floor 4: Pier 1 to Pier 5

equalDOF 108 111 $dof1; # Floor 5: Pier 1 to Pier 2
equalDOF 108 114 $dof1; # Floor 5: Pier 1 to Pier 3
equalDOF 108 117 $dof1; # Floor 5: Pier 1 to Pier 4
equalDOF 108 120 $dof1; # Floor 5: Pier 1 to Pier 5

equalDOF 103 104 $dof1;

puts "Diafragma rigido creado"
#=====

# RESTRICCIONES EN APOYOS
#=====
fix 1 1 0 0

```

```

fix 2 1 0 0
fix 3 1 0 0
fix 4 1 0 0
fix 5 1 0 0
fix 191 1 1 1
fix 192 1 1 1
fix 193 1 1 1
fix 194 1 1 1
fix 195 1 1 1
puts "NUDOS CREADOS, RESTRINGIDOS!"
#=====

# MASAS NODALES ESPECIFICAS:
#=====
# Nivel +3.10m
mass 16 $Mass11 1.0e-8 1.0e-8
mass 19 $Mass12 1.0e-8 1.0e-8
mass 22 $Mass12 1.0e-8 1.0e-8
mass 25 $Mass12 1.0e-8 1.0e-8
mass 28 $Mass11 1.0e-8 1.0e-8
# Nivel +6.20m
mass 39 $Mass21 1.0e-8 1.0e-8
mass 42 $Mass22 1.0e-8 1.0e-8
mass 45 $Mass22 1.0e-8 1.0e-8
mass 48 $Mass22 1.0e-8 1.0e-8
mass 51 $Mass21 1.0e-8 1.0e-8
# Nivel +9.30m
mass 62 $Mass31 1.0e-8 1.0e-8
mass 65 $Mass32 1.0e-8 1.0e-8
mass 68 $Mass32 1.0e-8 1.0e-8
mass 71 $Mass32 1.0e-8 1.0e-8
mass 74 $Mass31 1.0e-8 1.0e-8
# Nivel +12.40m
mass 85 $Mass41 1.0e-8 1.0e-8
mass 88 $Mass42 1.0e-8 1.0e-8
mass 91 $Mass42 1.0e-8 1.0e-8
mass 94 $Mass42 1.0e-8 1.0e-8
mass 97 $Mass41 1.0e-8 1.0e-8
# Nivel +15.50m
mass 108 $Mass51 1.0e-8 1.0e-8
mass 111 $Mass52 1.0e-8 1.0e-8
mass 114 $Mass52 1.0e-8 1.0e-8
mass 117 $Mass52 1.0e-8 1.0e-8
mass 120 $Mass51 1.0e-8 1.0e-8
puts "MASAS NODALES ASIGNADAS"
#=====

# CREACION DE ELEMENTO DE LONGITUD CERO:
#=====
set SecTag87 87; # ID
section fiberSec $SecTag87 {
# FIBRAS DE CONCRETO CONFINADO COL TIPO 1
patch rect $IDconCore2 6 6 [expr $cover-$z1] [expr $cover-$y1] [expr $z1-$cover] [expr $y1-$cover];
# FIBRAS DE CONCRETO NO CONFINADO (DER, IZQU, ABAJO, ARRIBA) COL TIPO 1
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr $z1-$cover] [expr -$y1] $z1 $y1;
patch rect $IDconCore1 8 1 [expr -$z1] [expr -$y1] [expr $cover-$z1] $y1;
patch rect $IDconCore1 1 6 [expr $cover-$z1] [expr -$y1] [expr $z1-$cover] [expr $cover-$y1];
patch rect $IDconCore1 1 6 [expr $cover-$z1] [expr $y1-$cover] [expr $z1-$cover] $y1;
# FIBRAS DE REFUERZO (ARRIBA, MEDIO, ABAJO)
layer straight $adh 5 $As16 [expr $cover-$z1] [expr $y1-$cover] [expr $z1-$cover] [expr $y1-$cover];
layer straight $adh 2 $As16 [expr $cover-$z1] [expr $y1/2-$cover] [expr $z1-$cover] [expr $y1/2-$cover];
layer straight $adh 2 $As16 [expr $cover-$z1] 0.0 [expr $z1-$cover] 0.0;
layer straight $adh 2 $As16 [expr $cover-$z1] [expr $cover-$y1/2] [expr $z1-$cover] [expr $cover-$y1/2];
layer straight $adh 5 $As16 [expr $cover-$z1] [expr $cover-$y1] [expr $z1-$cover] [expr $cover-$y1];
}

```

```

set ADH1 234;
set ADH2 235;
set ADH3 236;
set ADH4 237;
set ADH5 238;
element zeroLengthSection $ADH1 191 1 $SecTag87 -orient 0 1 0 -1 0 0
element zeroLengthSection $ADH2 192 2 $SecTag87 -orient 0 1 0 -1 0 0
element zeroLengthSection $ADH3 193 3 $SecTag87 -orient 0 1 0 -1 0 0
element zeroLengthSection $ADH4 194 4 $SecTag87 -orient 0 1 0 -1 0 0
element zeroLengthSection $ADH5 195 5 $SecTag87 -orient 0 1 0 -1 0 0

#=====

# CONECCION DE ELEMENTOS INETERMEDIOS DE COLUMNAS:
#=====
set numIntgrPts1 2;
set numIntgrPts2 3;
puts "ok"
set ColTransfTag1 1;
geomTransf PDelta $ColTransfTag1;
set ColTransfTag2 2;
geomTransf Linear $ColTransfTag2;

source colint.txt

puts "CUERPOS INTERMEDIOS DE COLUMNAS CREADOS"
#=====

# CONECCION DE ELEMENTOS CABEZA Y PIE DE COLUMNAS:
#=====
set ColTransfTag3 3;
geomTransf PDelta $ColTransfTag3;

source colextc.txt

puts "CABEZA Y PIE DE COLUMNAS CREADOS"
#=====

# CONECCION DE ELEMENTOS EXTREMOS DE VIGAS:
#=====

source vigextc.txt

puts "Extremos de vigas creadas"

#=====

# CONECCION DE ELEMENTOS INTERNOS DE VIGAS:
#=====

source vigint.txt
puts "Parte Interna de vigas creadas"
#=====

puts "Rotulas plasticas de Vigas asignadas"

#=====

# DEFINICIÓN DE RECORDERS:
#=====
recorder Node -file Modelo-1/DFree-X-Y-C.out -time -nodeRange 1 140 -dof 1 2 disp;
puts "ok"
# Reacciones en Nudo 1
recorder Node -file Modelo-1/RBaseRxC.out -time -nodeRange 1 5 -dof 1 reaction;
reaction X node 1-5
# displacements of free nodes
# support

```

```

recorder Node -file Modelo-1/RBaseRyC.out -time -nodeRange 1 5 -dof 2 reaction; # support
reaction Y node 1-5
recorder Node -file Modelo-1/RBaseMzC.out -time -nodeRange 1 5 -dof 3 reaction; # support
reaction Giro node 1-5
# Acciones en Elementos (Fx Fy Fz Mx My Mz, Fx Fy Fz Mx My Mz) nudo i, j respectivamente
recorder Element -file Modelo-1/AxionesBase1C.out -time -eleRange 76 79 globalForce # Axion Force elements (beams)
recorder Element -file Modelo-1/AxionesBase2C.out -time -eleRange 26 30 globalForce # Axion Force elements (columns)

#=====

# DEFINICIÓN DE GRAVEDAD:
#=====
# Carga Gravitacional Nivel +3.10m
set carga1 1;
pattern Plain $carga1 Linear {
eleLoad -ele 76 116 117 80 77 118 119 81 78 120 121 82 79 122 123 83 -type -beamUniform -$Wt1 ;
}
puts "ok"

# Carga Gravitacional Nivel +6.20m
set carga2 2;
pattern Plain $carga2 Linear {
eleLoad -ele 84 124 125 88 85 126 127 89 86 128 129 90 87 130 131 91 -type -beamUniform -$Wt2 ;
}
puts "ok"

# Carga Gravitacional Nivel +9.30m
set carga3 3;
pattern Plain $carga3 Linear {
eleLoad -ele 92 132 133 96 93 134 135 97 94 136 137 98 95 138 139 99 -type -beamUniform -$Wt3 ;
}
puts "ok"

# Carga Gravitacional Nivel +12.40m
set carga4 4;
pattern Plain $carga4 Linear {
eleLoad -ele 100 140 141 104 101 142 143 105 102 144 145 106 103 146 147 107 -type -beamUniform -$Wt4 ;
}
puts "ok"

# Carga Gravitacional Nivel +15.50m
set carga5 5;
pattern Plain $carga5 Linear {
eleLoad -ele 108 148 149 112 109 150 151 113 110 152 153 114 111 154 155 115 -type -beamUniform -$Wt5 ;
}

puts "ok"

# Gravity-analysis parameters -- load-controlled static analysis
set Tol 1.0e-9; # tolerancia para test de convergencia

constraints Plain; # forma en que se manejan las restricciones de nudo

numberer Plain; # reenumera los dof para minimizar el ancho de banda

puts "ok"
system BandGeneral; # Como Guarda y Resuelve el sistema de ecuaciones para el analisis

test NormUnbalance 1.0e-4 400;
#test NormDisplncr $Tol 6 2; # determina si la convergencia ha sido alcanzada

#system SparseGeneral -piv; # how to store and solve the system of equations in the analysis

#test EnergyIncr 1.0e-9 10
algorithm Newton; # Usa el Algoritmo de Newton: Actualiza la Rigidez Tangente por cada Interacción

```

```

set NstepGravity 10;
# aplico la gravedad en 10 pasos

set DGravity [expr 1./$NstepGravity];
# incrementos para la aplicación de carga

integrator LoadControl $DGravity;
# aplico 10% de carga gravitatoria por paso

analysis Static;
# defino el tipo de análisis (estático)

analyze $NstepGravity;
# Aplicacion de la Carga

# ----- maintain constant gravity loads and reset time to zero
loadConst -time 0.0
puts "Model Built"

```

Elaboración: Carlos Celi.

En la FIGURA 3.23, se presenta la programación necesaria para realizar el análisis NSP, basado en los resultados de la programación presentada en la FIGURA 3.22.

FIGURA 3.23: Programación, análisis NSP, AENL85.tcl (Modelo 85 OpenSEES).

```

# MODELO 85
# ELEMENTOS VIGA, COLUMNA CON SECCIONES TIPO FIBRA
# Modelo Tipo Frame con Rotulas Plásticas Concentradas en la union Viga-Columna
# UNIDADES T, m, seg
# INICIO

#-----

# Analisis Gravitacional
source "cgl85.tcl"
puts "analisis gravitacional terminado"
#-----

# Set Up & Source Definition (Fuentes)
#-----
source DisplayModel2D.tcl; # Despliega perspectiva 2d
#-----

# -----
# Start of additional modelling for lateral loads
# -----

# Define lateral loads
# -----

# Set some parameters
set lat1 19.73; # Fuerza lateral en nivel +3.10m
set lat2 34.61; # Fuerza lateral en nivel +6.20m
set lat3 40.69; # Fuerza lateral en nivel +9.30m
set lat4 47.99; # Fuerza lateral en nivel +12.40m
set lat5 49.06; # Fuerza lateral en nivel +15.50m

# Set lateral load pattern with a Linear TimeSeries
pattern Plain 200 "Linear" {

# Create nodal loads at nodes 3 & 4
# nd FX FY MZ
load 16 $lat1 0.0 0.0
load 39 $lat2 0.0 0.0
load 62 $lat3 0.0 0.0
load 85 $lat4 0.0 0.0
load 108 $lat5 0.0 0.0

```

```

}
# -----
# End of additional modelling for lateral loads
# -----
# -----
# Start of modifications to analysis for push over
# -----
# Set some parameters
set dU 0.0002;          # Displacement increment

# Change the integration scheme to be displacement control
#           node dof init Jd min max
integrator DisplacementControl 120 1 $dU 1 $dU $dU
# -----
# End of modifications to analysis for push over
# -----
# Recorders
#=====
# record base shear reactions
recorder Node -file Modelo-1/Vbase85.out -nodeRange 1 5 -dof 1 reaction;
recorder Node -file Modelo-1/Dtpe85.out -node 120 -dof 1 disp;

puts "recorders creados"

# display deformed shape:
set ViewScale 5;
DisplayModel2D DeformedShape $ViewScale ;    # display deformed shape, the scaling factor needs to be adjusted for each model
# -----
# Finally perform the analysis
# -----

# Set some parameters
set maxU 0.775;          # Max displacement
set currentDisp 0.0;
set ok 0

while {$ok == 0 && $currentDisp < $maxU} {

    set ok [analyze 1]

    # if the analysis fails try initial tangent iteration
    if {$ok != 0} {
        puts "regular newton failed .. lets try an inital stiffness for this step"
        test NormDisplnCr 1.0e-4 1000
        algorithm ModifiedNewton -initial
        set ok [analyze 1]
        if {$ok == 0} {puts "that worked .. back to regular newton"}
        test NormDisplnCr 1.0e-8 10
        algorithm Newton
    }

    set currentDisp [nodeDisp 120 1]
}

if {$ok == 0} {
    puts "Pushover analysis completed SUCCESSFULLY";
} else {
    puts "Pushover analysis FAILED";
}

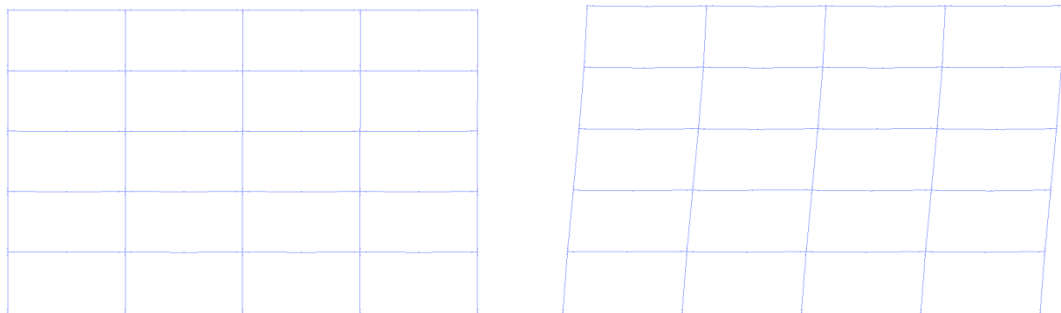
puts "Pushover complete";          # display this message in the command window

```

Elaboración: Carlos Celi.

Con base en el programa propuesto por Silvia M y Frank Mc (2006), y con ciertas modificaciones realizadas para esta investigación, se elaboró un post procesador gráfico que presente en tiempo real la deformación de la estructura durante la historia de carga en el análisis NSP; en la FIGURA 3.24 se muestra como la estructura sufre la deformación lateral.

FIGURA 3.24: Post procesador gráfico.



Fuente: Silvia M, Frank Mc(2006)

Modificado: Carlos Celi.

De las limitaciones previamente mencionadas de OpenSEES [18], una de ellas es que no entrega directamente los resultados de las curvas de capacidad de los modelos ejecutados, ni tampoco calcula el punto de desempeño para cada modelo; por tal razón, para obtener la curva de capacidad de cada modelo se realizó una programación muy simple para filtrar los resultados matriciales, que entrega OpenSEES [18], mediante lenguaje de Matlab [14], como se muestra en la FIGURA 3.25; además para solventar la desventaja de que OpenSEES [18], no calcula el punto de desempeño, se realizó una programación en Matlab [14] basada en cuerpos normativos como son ATC 40 y FEMA 356,273; además de las recomendaciones presentes en ASPD [4] y las propuestas por Pritsley [9], esta programación y uso de ecuaciones se presentan en el capítulo 4.

FIGURA 3.25: Filtrado de datos, rutina (curvas_opensees).

```

%% Grafica Curva de Capacidad Proveniente del Calculo de OpenSees
display('Autor: Ing. Carlos Andres Celi')
display('Análisis paramétrico de la fiabilidad de un modelamiento sísmico en el rango no lineal, en
función del tipo de modelamiento empleado ')
clc
clear

load Vbase1.out
load Dtope1.out
aux1 = size(Dtope1);
load Vbase2.out
load Dtope2.out
aux2 = size(Dtope2);
load Vbase3.out
load Dtope3.out
aux3 = size(Dtope3);
load Vbase4.out
load Dtope4.out
aux4 = size(Dtope4);
load Vbase5.out
load Dtope5.out
aux5 = size(Dtope5);
load Vbase6.out
load Dtope6.out
aux6 = size(Dtope6);
load Vbase7.out
load Dtope7.out
aux7 = size(Dtope7);
load Vbase8.out
load Dtope8.out
aux8 = size(Dtope8);
load Vbase9.out
load Dtope9.out
aux9 = size(Dtope9);
load Vbase10.out
load Dtope10.out
aux10 = size(Dtope10);
load Vbase11.out
load Dtope11.out
aux11 = size(Dtope11);
load Vbase12.out
load Dtope12.out
aux12 = size(Dtope12);
load Vbase13.out
load Dtope13.out
aux13 = size(Dtope13);
load Vbase14.out
load Dtope14.out
aux14 = size(Dtope14);
load Vbase15.out
load Dtope15.out
aux15 = size(Dtope15);
load Vbase16.out
load Dtope16.out
aux16 = size(Dtope16);
load Vbase17.out
load Dtope17.out
aux17 = size(Dtope17);
load Vbase18.out
load Dtope18.out
aux18 = size(Dtope18);
load Vbase19.out
load Dtope19.out
aux19 = size(Dtope19);
load Vbase20.out
load Dtope20.out
aux20 = size(Dtope20);
load Vbase21.out
load Dtope21.out
aux21 = size(Dtope21);
load Vbase22.out
load Dtope22.out
aux22 = size(Dtope22);
load Vbase23.out
load Dtope23.out
aux23 = size(Dtope23);
load Vbase24.out
load Dtope24.out
aux24 = size(Dtope24);
load Vbase25.out
aux25 = size(Dtope25);

```

```
load Vbase26.out
load Dtope26.out
aux26 = size(Dtope26);
load Vbase27.out
load Dtope27.out
aux27 = size(Dtope27);
load Vbase28.out
load Dtope28.out
aux28 = size(Dtope28);
load Vbase29.out
load Dtope29.out
aux29 = size(Dtope29);
load Vbase30.out
load Dtope30.out
aux30 = size(Dtope30);
load Vbase31.out
load Dtope31.out
aux31 = size(Dtope31);
load Vbase32.out
load Dtope32.out
aux32 = size(Dtope32);
load Vbase33.out
load Dtope33.out
aux33 = size(Dtope33);
load Vbase34.out
load Dtope34.out
aux34 = size(Dtope34);
load Vbase35.out
load Dtope35.out
aux35 = size(Dtope35);
load Vbase36.out
load Dtope36.out
aux36 = size(Dtope36);
load Vbase37.out
load Dtope37.out
aux37 = size(Dtope37);
load Vbase38.out
load Dtope38.out
aux38 = size(Dtope38);
load Vbase39.out
load Dtope39.out
aux39 = size(Dtope39);
load Vbase40.out
load Dtope40.out
aux40 = size(Dtope40);
load Vbase41.out
load Dtope41.out
aux41 = size(Dtope41);
load Vbase42.out
load Dtope42.out
aux42 = size(Dtope42);
load Vbase43.out
load Dtope43.out
aux43 = size(Dtope43);
load Vbase44.out
load Dtope44.out
aux44 = size(Dtope44);
load Vbase45.out
load Dtope45.out
aux45 = size(Dtope45);
load Vbase46.out
load Dtope46.out
aux46 = size(Dtope46);
load Vbase47.out
load Dtope47.out
aux47 = size(Dtope47);
load Vbase48.out
load Dtope48.out
aux48 = size(Dtope48);
load Vbase49.out
load Dtope49.out
aux49 = size(Dtope49);
load Vbase50.out
load Dtope50.out
aux50 = size(Dtope50);
load Vbase51.out
load Dtope51.out
aux51 = size(Dtope51);
load Vbase52.out
load Dtope52.out
aux52 = size(Dtope52);
load Vbase53.out
load Dtope53.out
aux53 = size(Dtope53);
load Vbase54.out
load Dtope54.out
```

```
aux54 = size(Dtope54);
load Vbase55.out
load Dtope55.out
aux55 = size(Dtope55);
load Vbase56.out
load Dtope56.out
aux56 = size(Dtope56);
load Vbase57.out
load Dtope57.out
aux57 = size(Dtope57);
load Vbase58.out
load Dtope58.out
aux58 = size(Dtope58);
load Vbase59.out
load Dtope59.out
aux59 = size(Dtope59);
load Vbase60.out
load Dtope60.out
aux60 = size(Dtope60);
load Vbase61.out
load Dtope61.out
aux61 = size(Dtope61);
load Vbase62.out
load Dtope62.out
aux62 = size(Dtope62);
load Vbase63.out
load Dtope63.out
aux63 = size(Dtope63);
load Vbase64.out
load Dtope64.out
aux64 = size(Dtope64);
load Vbase65.out
load Dtope65.out
aux65 = size(Dtope65);
load Vbase66.out
load Dtope66.out
aux66 = size(Dtope66);
load Vbase67.out
load Dtope67.out
aux67 = size(Dtope67);
load Vbase68.out
load Dtope68.out
aux68 = size(Dtope68);
load Vbase69.out
load Dtope69.out
aux69 = size(Dtope69);
load Vbase70.out
load Dtope70.out
aux70 = size(Dtope70);
load Vbase71.out
load Dtope71.out
aux71 = size(Dtope71);
load Vbase72.out
load Dtope72.out
aux72 = size(Dtope72);
load Vbase73.out
load Dtope73.out
aux73 = size(Dtope73);
load Vbase74.out
load Dtope74.out
aux74 = size(Dtope74);
load Vbase75.out
load Dtope75.out
aux75 = size(Dtope75);
load Vbase76.out
load Dtope76.out
aux76 = size(Dtope76);
load Vbase77.out
load Dtope77.out
aux77 = size(Dtope77);
load Vbase78.out
load Dtope78.out
aux78 = size(Dtope78);
load Vbase79.out
load Dtope79.out
aux79 = size(Dtope79);
load Vbase80.out
load Dtope80.out
aux80 = size(Dtope80);
load Vbase81.out
load Dtope81.out
aux81 = size(Dtope81);
load Vbase82.out
load Dtope82.out
aux82 = size(Dtope82);
load Vbase83.out
```

```

load Dtope83.out
aux83 = size(Dtope83);
load Vbase84.out
load Dtope84.out
aux84 = size(Dtope84);
load Vbase85.out
load Dtope85.out
aux85 = size(Dtope85);
load Vbase86.out
load Dtope86.out
aux86 = size(Dtope86);
load Vbase87.out
load Dtope87.out
aux87 = size(Dtope87);
load Vbase88.out
load Dtope88.out
aux88 = size(Dtope88);
load Vbase89.out
load Dtope89.out
aux89 = size(Dtope89);
load Vbase90.out
load Dtope90.out
aux90 = size(Dtope90);
%% Genera las columnas de Cortante en la Base y Desplazamiento en el Tope

for i=1:aux1(1,1)
    V1(i,:) = Vbase1(i,1)+Vbase1(i,2)+Vbase1(i,3)+Vbase1(i,4)+Vbase1(i,5);
end
M1 = [V1*-1,Dtope1];
for i=1:aux2(1,1)
    V2(i,:) = Vbase2(i,1)+Vbase2(i,2)+Vbase2(i,3)+Vbase2(i,4)+Vbase2(i,5);
end
M2 = [V2*-1,Dtope2];
for i=1:aux3(1,1)
    V3(i,:) = Vbase3(i,1)+Vbase3(i,2)+Vbase3(i,3)+Vbase3(i,4)+Vbase3(i,5);
end
M3 = [V3*-1,Dtope3];
for i=1:aux4(1,1)
    V4(i,:) = Vbase4(i,1)+Vbase4(i,2)+Vbase4(i,3)+Vbase4(i,4)+Vbase4(i,5);
end
M4 = [V4*-1,Dtope4];
for i=1:aux5(1,1)
    V5(i,:) = Vbase5(i,1)+Vbase5(i,2)+Vbase5(i,3)+Vbase5(i,4)+Vbase5(i,5);
end
M5 = [V5*-1,Dtope5];
for i=1:aux6(1,1)
    V6(i,:) = Vbase6(i,1)+Vbase6(i,2)+Vbase6(i,3)+Vbase6(i,4)+Vbase6(i,5);
end
M6 = [V6*-1,Dtope6];
for i=1:aux7(1,1)
    V7(i,:) = Vbase7(i,1)+Vbase7(i,2)+Vbase7(i,3)+Vbase7(i,4)+Vbase7(i,5);
end
M7 = [V7*-1,Dtope7];
for i=1:aux8(1,1)
    V8(i,:) = Vbase8(i,1)+Vbase8(i,2)+Vbase8(i,3)+Vbase8(i,4)+Vbase8(i,5);
end
M8 = [V8*-1,Dtope8];
for i=1:aux9(1,1)
    V9(i,:) = Vbase9(i,1)+Vbase9(i,2)+Vbase9(i,3)+Vbase9(i,4)+Vbase9(i,5);
end
M9 = [V9*-1,Dtope9];
for i=100:aux9
    if abs(M9(i,1)) > abs(M9(i-1,1))*1.08
        M9(i,1)=M9(i-1,1)*1.08;
    else
        M9(i,1)=M9(i,1);
    end
end
for i=1:aux10(1,1)
    V10(i,:) = Vbase10(i,1)+Vbase10(i,2)+Vbase10(i,3)+Vbase10(i,4)+Vbase10(i,5);
end
M10 = [V10*-1,Dtope10];
for i=300:1500
    if M10(i,1) > M10(i-1,1)*1.01
        M10(i,1)=M10(i-1,1)*1.005;
    else
        M10(i,1)=M10(i,1);
    end
    if M10(i,1) < M10(i-1,1)*0.9
        M10(i,1)=M10(i-1,1)*1.00001;
    else
        M10(i,1)=M10(i,1);
    end
end
for i=1:aux11(1,1)
    V11(i,:) = Vbase11(i,1)+Vbase11(i,2)+Vbase11(i,3)+Vbase11(i,4)+Vbase11(i,5);
end

```

```

end
M11 = [V11*-1,Dtopel1];
for i=300:1500
    if M11(i,1) > M11(i-1,1)*1.01
        M11(i,1)=M11(i-1,1)*1.005;
    else
        M11(i,1)=M11(i,1);
    end
    if M11(i,1) < M11(i-1,1)*0.9
        M11(i,1)=M11(i-1,1)*1.00001;
    else
        M11(i,1)=M11(i,1);
    end
end
for i=1:aux12(1,1)
    V12(i,:) = Vbase12(i,1)+Vbase12(i,2)+Vbase12(i,3)+Vbase12(i,4)+Vbase12(i,5);
end
M12 = [V12*-1,Dtopel2];
for i=100:aux12
    if abs(M12(i,1)) > abs(M12(i-1,1))*1.02
        M12(i,1)=M12(i-1,1)*1.02;
    else
        M12(i,1)=M12(i,1);
    end
end
for i=1:aux13(1,1)
    V13(i,:) = Vbase13(i,1)+Vbase13(i,2)+Vbase13(i,3)+Vbase13(i,4)+Vbase13(i,5);
end
M13 = [V13*-1,Dtopel3];
for i=1:aux14(1,1)
    V14(i,:) = Vbase14(i,1)+Vbase14(i,2)+Vbase14(i,3)+Vbase14(i,4)+Vbase14(i,5);
end
M14 = [V14*-1,Dtopel4];
for i=100:300
    if abs(M14(i,1)) > abs(M14(i-1,1))*1.10
        M14(i,1)=M14(i-1,1)*1.01;
    else
        if abs(M14(i,1)) < abs(M14(i-1,1))*0.90
            M14(i,1)=M14(i-1,1)*1.02;
        else
            M14(i,1)=M14(i,1);
        end
    end
end
for i=1:aux15(1,1)
    V15(i,:) = Vbase15(i,1)+Vbase15(i,2)+Vbase15(i,3)+Vbase15(i,4)+Vbase15(i,5);
end
M15 = [V15*-1,Dtopel5];
for i=100:aux15
    if abs(M15(i,1)) > abs(M15(i-1,1))*1.02
        M15(i,1)=M15(i-1,1)*1.02;
    else
        M15(i,1)=M15(i,1);
    end
end
for i=1:aux16(1,1)
    V16(i,:) = Vbase16(i,1)+Vbase16(i,2)+Vbase16(i,3)+Vbase16(i,4)+Vbase16(i,5);
end
M16 = [V16*-1,Dtopel6];
for i=200:410
    if M16(i,1) > M16(i-1,1)*1.001
        M16(i,1)=M16(i-1,1)*1.003;
    else
        M16(i,1)=M16(i,1);
    end
end
for i=200:500
    if M16(i,1) < M16(i-1,1)*0.99
        M16(i,1)=M16(i-1,1)*1.0005;
    else
        M16(i,1)=M16(i,1);
    end
end
for i=1:aux17(1,1)
    V17(i,:) = Vbase17(i,1)+Vbase17(i,2)+Vbase17(i,3)+Vbase17(i,4)+Vbase17(i,5);
end
M17 = [V17*-1,Dtopel7];
for i=200:aux17
    if M17(i,1) > M17(i-1,1)*1.05
        M17(i,1)=M17(i-1,1)*1.003;
    else
        M17(i,1)=M17(i,1);
    end
    if M17(i,1) < M17(i-1,1)*0.95
        M17(i,1)=M17(i-1,1)*1.0005;
    end
end

```

```

        else
            M17(i,1)=M17(i,1);
        end
    end
end
for i=1:aux18(1,1)
    V18(i,:) = Vbase18(i,1)+Vbase18(i,2)+Vbase18(i,3)+Vbase18(i,4)+Vbase18(i,5);
end
M18 = [V18*-1,Dtope18];
for i=200:aux18
    if M18(i,1) > M18(i-1,1)*1.05
        M18(i,1)=M18(i-1,1)*1.003;
    else
        M18(i,1)=M18(i,1);
    end
    if M18(i,1) < M18(i-1,1)*0.95
        M18(i,1)=M18(i-1,1)*1.0005;
    else
        M18(i,1)=M18(i,1);
    end
end
end
for i=1:aux19(1,1)
    V19(i,:) = Vbase19(i,1)+Vbase19(i,2)+Vbase19(i,3)+Vbase19(i,4)+Vbase19(i,5);
end
M19 = [V19*-1,Dtope19];
for i=200:aux19
    if M19(i,1) > M19(i-1,1)*1.05
        M19(i,1)=M19(i-1,1)*1.003;
    else
        M19(i,1)=M19(i,1);
    end
    if M19(i,1) < M19(i-1,1)*0.95
        M19(i,1)=M19(i-1,1)*1.0005;
    else
        M19(i,1)=M19(i,1);
    end
end
end
for i=1:aux20(1,1)
    V20(i,:) = Vbase20(i,1)+Vbase20(i,2)+Vbase20(i,3)+Vbase20(i,4)+Vbase20(i,5);
end
M20 = [V20*-1,Dtope20];
for i=200:aux20
    if M20(i,1) > M20(i-1,1)*1.05
        M20(i,1)=M20(i-1,1)*1.003;
    else
        M20(i,1)=M20(i,1);
    end
    if M20(i,1) < M20(i-1,1)*0.90
        M20(i,1)=M20(i-1,1)*1.0005;
    else
        M20(i,1)=M20(i,1);
    end
end
end
for i=1:aux21(1,1)
    V21(i,:) = Vbase21(i,1)+Vbase21(i,2)+Vbase21(i,3)+Vbase21(i,4)+Vbase21(i,5);
end
M21 = [V21*-1,Dtope21];
for i=200:500
    if M21(i,1) > M21(i-1,1)*1.01
        M21(i,1)=M21(i-1,1)*1.0025;
    else
        M21(i,1)=M21(i,1);
    end
    if M21(i,1) < M21(i-1,1)*0.99
        M21(i,1)=M21(i-1,1)*1.0005;
    else
        M21(i,1)=M21(i,1);
    end
end
end
for i=1:aux22(1,1)
    V22(i,:) = Vbase22(i,1)+Vbase22(i,2)+Vbase22(i,3)+Vbase22(i,4)+Vbase22(i,5);
end
M22 = [V22*-1,Dtope22];
for i=350:700
    if M22(i,1) > M22(i-1,1)*1.05
        M22(i,1)=M22(i-1,1)*1.0025;
    else
        M22(i,1)=M21(i,1);
    end
    if M22(i,1) < M22(i-1,1)*0.98
        M22(i,1)=M22(i-1,1)*1.0005;
    else
        M22(i,1)=M22(i,1);
    end
end
end
for i=1:aux23(1,1)
    V23(i,:) = Vbase23(i,1)+Vbase23(i,2)+Vbase23(i,3)+Vbase23(i,4)+Vbase23(i,5);
end

```

```

end
M23 = [V23*-1,Dtope23];
for i=225:500
    if M23(i,1) > M23(i-1,1)*1.05
        M23(i,1)=M23(i-1,1)*1.0001;
    else
        M23(i,1)=M23(i,1);
    end
    if M23(i,1) < M23(i-1,1)*0.99
        M23(i,1)=M23(i-1,1)*1.0005;
    else
        M23(i,1)=M23(i,1);
    end
end
for i=1:aux24(1,1)
    V24(i,:) = Vbase24(i,1)+Vbase24(i,2)+Vbase24(i,3)+Vbase24(i,4)+Vbase24(i,5);
end
M24 = [V24*-1,Dtope24];
for i=320:500
    if M24(i,1) > M24(i-1,1)*1.05
        M24(i,1)=M24(i-1,1)*1.0001;
    else
        M24(i,1)=M24(i,1);
    end
    if M24(i,1) < M24(i-1,1)*0.95
        M24(i,1)=M24(i-1,1)*1.0005;
    else
        M24(i,1)=M24(i,1);
    end
end
for i=1:aux25(1,1)
    V25(i,:) = Vbase25(i,1)+Vbase25(i,2)+Vbase25(i,3)+Vbase25(i,4)+Vbase25(i,5);
end
M25 = [V25*-1,Dtope25];
for i=600:aux25
    if M25(i,1) > M25(i-1,1)*1.05
        M25(i,1)=M25(i-1,1)*1.0005;
    else
        M25(i,1)=M25(i,1);
    end
    if M25(i,1) < M25(i-1,1)*0.95
        M25(i,1)=M25(i-1,1)*1.0005;
    else
        M25(i,1)=M25(i,1);
    end
end
for i=1:aux26(1,1)
    V26(i,:) = Vbase26(i,1)+Vbase26(i,2)+Vbase26(i,3)+Vbase26(i,4)+Vbase26(i,5);
end
M26 = [V26*-1,Dtope26];
for i=280:aux26
    if M26(i,1) > M26(i-1,1)*1.05
        M26(i,1)=M26(i-1,1)*1.0005;
    else
        M26(i,1)=M26(i,1);
    end
    if M26(i,1) < M26(i-1,1)*0.8
        M26(i,1)=M26(i-1,1)*1.0005;
    else
        M26(i,1)=M26(i,1);
    end
end
for i=1:aux27(1,1)
    V27(i,:) = Vbase27(i,1)+Vbase27(i,2)+Vbase27(i,3)+Vbase27(i,4)+Vbase27(i,5);
end
M27 = [V27*-1,Dtope27];
for i=265:600
    if M27(i,1) > M27(i-1,1)*1.05
        M27(i,1)=M27(i-1,1)*1.0005;
    else
        M27(i,1)=M27(i,1);
    end
    if M27(i,1) < M27(i-1,1)*0.95
        M27(i,1)=M27(i-1,1)*1.0005;
    else
        M27(i,1)=M27(i,1);
    end
end
for i=1:aux28(1,1)
    V28(i,:) = Vbase28(i,1)+Vbase28(i,2)+Vbase28(i,3)+Vbase28(i,4)+Vbase28(i,5);
end
M28 = [V28*-1,Dtope28];
for i=335:600
    if M28(i,1) > M28(i-1,1)*1.05
        M28(i,1)=M28(i-1,1)*1.0005;
    else

```



```

M28(i,1)=M28(i,1);
end
if M28(i,1) < M28(i-1,1)*0.95
    M28(i,1)=M28(i-1,1)*1.0005;
else
    M28(i,1)=M28(i,1);
end
end
for i=1:aux29(1,1)
    V29(i,:) = Vbase29(i,1)+Vbase29(i,2)+Vbase29(i,3)+Vbase29(i,4)+Vbase29(i,5);
end
M29 = [V29*-1,Dtope29];
for i=200:600
    if M29(i,1) > M29(i-1,1)*1.1
        M29(i,1)=M29(i-1,1)*1.01;
    else
        M29(i,1)=M29(i,1);
    end
    if M29(i,1) < M29(i-1,1)*0.95
        M29(i,1)=M29(i-1,1)*1.0005;
    else
        M29(i,1)=M29(i,1);
    end
end
for i=1:aux30(1,1)
    V30(i,:) = Vbase30(i,1)+Vbase30(i,2)+Vbase30(i,3)+Vbase30(i,4)+Vbase30(i,5);
end
M30 = [V30*-1,Dtope30];
for i=400:1400
    if M30(i,1) > M30(i-1,1)*1.05
        M30(i,1)=M30(i-1,1)*1.001;
    else
        M30(i,1)=M30(i,1);
    end
    if M30(i,1) < M30(i-1,1)*0.95
        M30(i,1)=M30(i-1,1)*1.0005;
    else
        M30(i,1)=M30(i,1);
    end
end
for i=1:aux31(1,1)
    V31(i,:) = Vbase31(i,1)+Vbase31(i,2)+Vbase31(i,3)+Vbase31(i,4)+Vbase31(i,5);
end
M31 = [V31*-1,Dtope31];
for i=200:800
    if M31(i,1) > M31(i-1,1)*1.05
        M31(i,1)=M31(i-1,1)*1.005;
    else
        M31(i,1)=M31(i,1);
    end
    if M31(i,1) < M31(i-1,1)*0.95
        M31(i,1)=M31(i-1,1)*1.0005;
    else
        M31(i,1)=M31(i,1);
    end
end
for i=1:aux32(1,1)
    V32(i,:) = Vbase32(i,1)+Vbase32(i,2)+Vbase32(i,3)+Vbase32(i,4)+Vbase32(i,5);
end
M32 = [V32*-1,Dtope32];
for i=225:500
    if M32(i,1) > M32(i-1,1)*1.05
        M32(i,1)=M32(i-1,1)*1.0001;
    else
        M32(i,1)=M32(i,1);
    end
    if M32(i,1) < M32(i-1,1)*0.99
        M32(i,1)=M32(i-1,1)*1.0005;
    else
        M32(i,1)=M32(i,1);
    end
end
for i=1:aux33(1,1)
    V33(i,:) = Vbase33(i,1)+Vbase33(i,2)+Vbase33(i,3)+Vbase33(i,4)+Vbase33(i,5);
end
M33 = [V33*-1,Dtope33];
for i=100:600
    if M33(i,1) > M33(i-1,1)*1.01
        M33(i,1)=M33(i-1,1)*1.005;
    else
        M33(i,1)=M33(i,1);
    end
    if M33(i,1) < M33(i-1,1)*0.95
        M33(i,1)=M33(i-1,1)*1.0005;
    else
        M33(i,1)=M33(i,1);
    end
end

```

```

end
end
for i=1:aux34(1,1)
V34(i,:) = Vbase34(i,1)+Vbase34(i,2)+Vbase34(i,3)+Vbase34(i,4)+Vbase34(i,5);
end
M34 = [V34*-1,Dtope34];
for i=200:600
if M34(i,1) > M34(i-1,1)*1.1
M34(i,1)=M34(i-1,1)*1.001;
else
M34(i,1)=M34(i,1);
end
if M34(i,1) < M34(i-1,1)*0.95
M34(i,1)=M34(i-1,1)*1.0005;
else
M34(i,1)=M34(i,1);
end
end
end
for i=1:aux35(1,1)
V35(i,:) = Vbase35(i,1)+Vbase35(i,2)+Vbase35(i,3)+Vbase35(i,4)+Vbase35(i,5);
end
M35 = [V35*-1,Dtope35];
for i=350:700
if M35(i,1) > M35(i-1,1)*1.05
M35(i,1)=M35(i-1,1)*1.0005;
else
M35(i,1)=M35(i,1);
end
if M35(i,1) < M35(i-1,1)*0.95
M35(i,1)=M35(i-1,1)*1.0005;
else
M35(i,1)=M35(i,1);
end
end
end
for i=1:aux36(1,1)
V36(i,:) = Vbase36(i,1)+Vbase36(i,2)+Vbase36(i,3)+Vbase36(i,4)+Vbase36(i,5);
end
M36 = [V36*-1,Dtope36];
for i=1:aux37(1,1)
V37(i,:) = Vbase37(i,1)+Vbase37(i,2)+Vbase37(i,3)+Vbase37(i,4)+Vbase37(i,5);
end
M37 = [V37*-1,Dtope37];
for i=400:700
if M37(i,1) > M37(i-1,1)*1.05
M37(i,1)=M37(i-1,1)*1.05;
else
M37(i,1)=M37(i,1);
end
if M37(i,1) < M37(i-1,1)*0.95
M37(i,1)=M37(i-1,1)*1.0005;
else
M37(i,1)=M37(i,1);
end
end
end
for i=1:aux38(1,1)
V38(i,:) = Vbase38(i,1)+Vbase38(i,2)+Vbase38(i,3)+Vbase38(i,4)+Vbase38(i,5);
end
M38 = [V38*-1,Dtope38];
for i=200:600
if M38(i,1) > M38(i-1,1)*1.1
M38(i,1)=M38(i-1,1)*1.001;
else
M38(i,1)=M38(i,1);
end
if M38(i,1) < M38(i-1,1)*0.95
M38(i,1)=M38(i-1,1)*1.0005;
else
M38(i,1)=M38(i,1);
end
end
end
for i=1:aux39(1,1)
V39(i,:) = Vbase39(i,1)+Vbase39(i,2)+Vbase39(i,3)+Vbase39(i,4)+Vbase39(i,5);
end
M39 = [V39*-1,Dtope39];
for i=400:1000
if M39(i,1) > M39(i-1,1)*1.05
M39(i,1)=M39(i-1,1)*1.002;
else
M39(i,1)=M39(i,1);
end
if M39(i,1) < M39(i-1,1)*0.85
M39(i,1)=M39(i-1,1)*1.0005;
else
M39(i,1)=M39(i,1);
end
end
end
end

```

```

for i=1:aux40(1,1)
    V40(i,:) = Vbase40(i,1)+Vbase40(i,2)+Vbase40(i,3)+Vbase40(i,4)+Vbase40(i,5);
end
M40 = [V40*-1,Dtope40];
for i=1:aux41(1,1)
    V41(i,:) = Vbase41(i,1)+Vbase41(i,2)+Vbase41(i,3)+Vbase41(i,4)+Vbase41(i,5);
end
M41 = [V41*-1,Dtope41];
for i=500:1100
    if M41(i,1) > M41(i-1,1)*1.01
        M41(i,1)=M41(i-1,1)*1.005;
    else
        M41(i,1)=M41(i,1);
    end
    if M41(i,1) < M41(i-1,1)*0.99
        M41(i,1)=M41(i-1,1)*1.0005;
    else
        M41(i,1)=M41(i,1);
    end
end
for i=1:aux42(1,1)
    V42(i,:) = Vbase42(i,1)+Vbase42(i,2)+Vbase42(i,3)+Vbase42(i,4)+Vbase42(i,5);
end
M42 = [V42*-1,Dtope42];
for i=1000:2000
    if M42(i,1) > M42(i-1,1)*1.1
        M42(i,1)=M42(i-1,1)*1.01;
    else
        M42(i,1)=M42(i,1);
    end
    if M42(i,1) < M42(i-1,1)*0.99
        M42(i,1)=M42(i-1,1)*1.000005;
    else
        M42(i,1)=M42(i,1);
    end
end
for i=1:aux43(1,1)
    V43(i,:) = Vbase43(i,1)+Vbase43(i,2)+Vbase43(i,3)+Vbase43(i,4)+Vbase43(i,5);
end
M43 = [V43*-1,Dtope43];
for i=1050:2000
    if M43(i,1) > M43(i-1,1)*1.01
        M43(i,1)=M43(i-1,1)*1.0001;
    else
        M43(i,1)=M43(i,1);
    end
    if M43(i,1) < M43(i-1,1)*0.8
        M43(i,1)=M43(i-1,1)*1.000005;
    else
        M43(i,1)=M43(i,1);
    end
end
for i=1:aux44(1,1)
    V44(i,:) = Vbase44(i,1)+Vbase44(i,2)+Vbase44(i,3)+Vbase44(i,4)+Vbase44(i,5);
end
M44 = [V44*-1,Dtope44];
for i=1:aux45(1,1)
    V45(i,:) = Vbase45(i,1)+Vbase45(i,2)+Vbase45(i,3)+Vbase45(i,4)+Vbase45(i,5);
end
M45 = [V45*-1,Dtope45];
for i=1:aux46(1,1)
    V46(i,:) = Vbase46(i,1)+Vbase46(i,2)+Vbase46(i,3)+Vbase46(i,4)+Vbase46(i,5);
end
M46 = [V46*-1,Dtope46];
for i=1:aux47(1,1)
    V47(i,:) = Vbase47(i,1)+Vbase47(i,2)+Vbase47(i,3)+Vbase47(i,4)+Vbase47(i,5);
end
M47 = [V47*-1,Dtope47];
for i=1:aux48(1,1)
    V48(i,:) = Vbase48(i,1)+Vbase48(i,2)+Vbase48(i,3)+Vbase48(i,4)+Vbase48(i,5);
end
M48 = [V48*-1,Dtope48];
for i=300:2000
    if M48(i,1) > M48(i-1,1)*1.1
        M48(i,1)=M48(i-1,1)*1.01;
    else
        M48(i,1)=M48(i,1);
    end
    if M48(i,1) < M48(i-1,1)*0.97
        M48(i,1)=M48(i-1,1)*1.00001;
    else
        M48(i,1)=M48(i,1);
    end
end
for i=1:aux49(1,1)
    V49(i,:) = Vbase49(i,1)+Vbase49(i,2)+Vbase49(i,3)+Vbase49(i,4)+Vbase49(i,5);
end

```

```

end
M49 = [V49*-1,Dtope49];
for i=300:2000
    if M49(i,1) > M49(i-1,1)*1.2
        M49(i,1)=M49(i-1,1)*1.01;
    else
        M49(i,1)=M49(i,1);
    end
    if M49(i,1) < M49(i-1,1)*0.97
        M49(i,1)=M49(i-1,1)*1.00001;
    else
        M49(i,1)=M49(i,1);
    end
end
for i=1:aux50(1,1)
    V50(i,:) = Vbase50(i,1)+Vbase50(i,2)+Vbase50(i,3)+Vbase50(i,4)+Vbase50(i,5);
end
M50 = [V50*-1,Dtope50];
for i=300:2000
    if M50(i,1) > M50(i-1,1)*1.2
        M50(i,1)=M50(i-1,1)*1.01;
    else
        M50(i,1)=M50(i,1);
    end
    if M50(i,1) < M50(i-1,1)*0.97
        M50(i,1)=M50(i-1,1)*1.00001;
    else
        M50(i,1)=M50(i,1);
    end
end
for i=1:aux51(1,1)
    V51(i,:) = Vbase51(i,1)+Vbase51(i,2)+Vbase51(i,3)+Vbase51(i,4)+Vbase51(i,5);
end
M51 = [V51*-1,Dtope51];
for i=500:1500
    if M51(i,1) > M51(i-1,1)*1.05
        M51(i,1)=M51(i-1,1)*1.0001;
    else
        M51(i,1)=M51(i,1);
    end
    if M51(i,1) < M51(i-1,1)*0.97
        M51(i,1)=M51(i-1,1)*1.00001;
    else
        M51(i,1)=M51(i,1);
    end
end
for i=1:aux52(1,1)
    V52(i,:) = Vbase52(i,1)+Vbase52(i,2)+Vbase52(i,3)+Vbase52(i,4)+Vbase52(i,5);
end
M52 = [V52*-1,Dtope52];
for i=1:aux53(1,1)
    V53(i,:) = Vbase53(i,1)+Vbase53(i,2)+Vbase53(i,3)+Vbase53(i,4)+Vbase53(i,5);
end
M53 = [V53*-1,Dtope53];
for i=1:aux54(1,1)
    V54(i,:) = Vbase54(i,1)+Vbase54(i,2)+Vbase54(i,3)+Vbase54(i,4)+Vbase54(i,5);
end
M54 = [V54*-1,Dtope54];
for i=1:aux55(1,1)
    V55(i,:) = Vbase55(i,1)+Vbase55(i,2)+Vbase55(i,3)+Vbase55(i,4)+Vbase55(i,5);
end
M55 = [V55*-1,Dtope55];
for i=500:1500
    if M55(i,1) > M55(i-1,1)*1.01
        M55(i,1)=M55(i-1,1)*1.00001;
    else
        M55(i,1)=M55(i,1);
    end
    if M55(i,1) < M55(i-1,1)*0.97
        M55(i,1)=M55(i-1,1)*1.00001;
    else
        M55(i,1)=M55(i,1);
    end
end
for i=1:aux56(1,1)
    V56(i,:) = Vbase56(i,1)+Vbase56(i,2)+Vbase56(i,3)+Vbase56(i,4)+Vbase56(i,5);
end
M56 = [V56*-1,Dtope56];
for i=500:1000
    if M56(i,1) > M56(i-1,1)*1.3
        M56(i,1)=M56(i-1,1)*1.00001;
    else
        M56(i,1)=M56(i,1);
    end
    if M56(i,1) < M56(i-1,1)*0.99
        M56(i,1)=M56(i-1,1)*1.00001;
    end
end

```

```

        else
            M56(i,1)=M56(i,1);
        end
    end
end
for i=1:aux57(1,1)
    V57(i,:) = Vbase57(i,1)+Vbase57(i,2)+Vbase57(i,3)+Vbase57(i,4)+Vbase57(i,5);
end
M57 = [V57*-1,Dtope57];
for i=1:aux58(1,1)
    V58(i,:) = Vbase58(i,1)+Vbase58(i,2)+Vbase58(i,3)+Vbase58(i,4)+Vbase58(i,5);
end
M58 = [V58*-1,Dtope58];
for i=500:1300
    if M58(i,1) > M58(i-1,1)*2
        M58(i,1)=M58(i-1,1)*1.00001;
    else
        M58(i,1)=M58(i,1);
    end
    if M58(i,1) < M58(i-1,1)*0.99
        M58(i,1)=M58(i-1,1)*1.00001;
    else
        M58(i,1)=M58(i,1);
    end
end
for i=1:aux59(1,1)
    V59(i,:) = Vbase59(i,1)+Vbase59(i,2)+Vbase59(i,3)+Vbase59(i,4)+Vbase59(i,5);
end
M59 = [V59*-1,Dtope59];
for i=500:1300
    if M59(i,1) > M59(i-1,1)*1.01
        M59(i,1)=M59(i-1,1)*1.01;
    else
        M59(i,1)=M59(i,1);
    end
    if M59(i,1) < M59(i-1,1)*0.98
        M59(i,1)=M59(i-1,1)*1.000001;
    else
        M59(i,1)=M59(i,1);
    end
end
for i=1:aux60(1,1)
    V60(i,:) = Vbase60(i,1)+Vbase60(i,2)+Vbase60(i,3)+Vbase60(i,4)+Vbase60(i,5);
end
M60 = [V60*-1,Dtope60];
for i=500:2300
    if M60(i,1) > M60(i-1,1)*1.01
        M60(i,1)=M60(i-1,1)*1.0001;
    else
        M60(i,1)=M60(i,1);
    end
    if M60(i,1) < M60(i-1,1)*0.8
        M60(i,1)=M60(i-1,1)*1.00001;
    else
        M60(i,1)=M60(i,1);
    end
end
for i=1:aux61(1,1)
    V61(i,:) = Vbase61(i,1)+Vbase61(i,2)+Vbase61(i,3)+Vbase61(i,4)+Vbase61(i,5);
end
M61 = [V61*-1,Dtope61];
for i=500:1300
    if M61(i,1) > M61(i-1,1)*1.05
        M61(i,1)=M61(i-1,1)*1.0001;
    else
        M61(i,1)=M61(i,1);
    end
    if M61(i,1) < M61(i-1,1)*0.8
        M61(i,1)=M61(i-1,1)*1.00001;
    else
        M61(i,1)=M61(i,1);
    end
end
for i=1:aux62(1,1)
    V62(i,:) = Vbase62(i,1)+Vbase62(i,2)+Vbase62(i,3)+Vbase62(i,4)+Vbase62(i,5);
end
M62 = [V62*-1,Dtope62];
for i=500:3300
    if M62(i,1) > M62(i-1,1)*1.05
        M62(i,1)=M62(i-1,1)*1.0001;
    else
        M62(i,1)=M62(i,1);
    end
    if M62(i,1) < M62(i-1,1)*0.93
        M62(i,1)=M62(i-1,1)*1.00001;
    else
        M62(i,1)=M62(i,1);
    end
end

```

```

end
end
for i=1:aux63(1,1)
V63(i,:) = Vbase63(i,1)+Vbase63(i,2)+Vbase63(i,3)+Vbase63(i,4)+Vbase63(i,5);
end
M63 = [V63*-1,Dtope63];
for i=500:2700
if M63(i,1) > M63(i-1,1)*1.1
M63(i,1)=M63(i-1,1)*1.0001;
else
M63(i,1)=M63(i,1);
end
if M63(i,1) < M63(i-1,1)*0.97
M63(i,1)=M63(i-1,1)*1.00001;
else
M63(i,1)=M63(i,1);
end
end
end
for i=1:aux64(1,1)
V64(i,:) = Vbase64(i,1)+Vbase64(i,2)+Vbase64(i,3)+Vbase64(i,4)+Vbase64(i,5);
end
M64 = [V64*-1,Dtope64];
for i=500:2700
if M64(i,1) > M64(i-1,1)*1.1
M64(i,1)=M64(i-1,1)*1.0001;
else
M64(i,1)=M64(i,1);
end
if M64(i,1) < M64(i-1,1)*0.97
M64(i,1)=M64(i-1,1)*1.00001;
else
M64(i,1)=M64(i,1);
end
end
end
for i=1:aux65(1,1)
V65(i,:) = Vbase65(i,1)+Vbase65(i,2)+Vbase65(i,3)+Vbase65(i,4)+Vbase65(i,5);
end
M65 = [V65*-1,Dtope65];
for i=500:2700
if M65(i,1) > M65(i-1,1)*1.1
M65(i,1)=M65(i-1,1)*1.0001;
else
M65(i,1)=M65(i,1);
end
if M65(i,1) < M65(i-1,1)*0.97
M65(i,1)=M65(i-1,1)*1.00001;
else
M65(i,1)=M65(i,1);
end
end
end
for i=1:aux66(1,1)
V66(i,:) = Vbase66(i,1)+Vbase66(i,2)+Vbase66(i,3)+Vbase66(i,4)+Vbase66(i,5);
end
M66 = [V66*-1,Dtope66];
for i=500:2700
if M66(i,1) > M66(i-1,1)*1.1
M66(i,1)=M66(i-1,1)*1.0001;
else
M66(i,1)=M66(i,1);
end
if M66(i,1) < M66(i-1,1)*0.97
M66(i,1)=M66(i-1,1)*1.00001;
else
M66(i,1)=M66(i,1);
end
end
end
for i=1:aux67(1,1)
V67(i,:) = Vbase67(i,1)+Vbase67(i,2)+Vbase67(i,3)+Vbase67(i,4)+Vbase67(i,5);
end
M67 = [V67*-1,Dtope67];
for i=500:2700
if M67(i,1) > M67(i-1,1)*1.1
M67(i,1)=M67(i-1,1)*1.0001;
else
M67(i,1)=M67(i,1);
end
if M67(i,1) < M67(i-1,1)*0.97
M67(i,1)=M67(i-1,1)*1.00001;
else
M67(i,1)=M67(i,1);
end
end
end
for i=1:aux68(1,1)
V68(i,:) = Vbase68(i,1)+Vbase68(i,2)+Vbase68(i,3)+Vbase68(i,4)+Vbase68(i,5);
end
M68 = [V68*-1,Dtope68];

```

```

for i=700:1800
    if M68(i,1) > M68(i-1,1)*1.01
        M68(i,1)=M68(i-1,1)*1.005;
    else
        M68(i,1)=M68(i,1);
    end
    if M68(i,1) < M68(i-1,1)*0.96
        M68(i,1)=M68(i-1,1)*1.00001;
    else
        M68(i,1)=M68(i,1);
    end
end
for i=1:aux69(1,1)
    V69(i,:) = Vbase69(i,1)+Vbase69(i,2)+Vbase69(i,3)+Vbase69(i,4)+Vbase69(i,5);
end
M69 = [V69*-1,Dtope69];
for i=700:1800
    if M69(i,1) > M69(i-1,1)*1.01
        M69(i,1)=M69(i-1,1)*1.005;
    else
        M69(i,1)=M69(i,1);
    end
    if M69(i,1) < M69(i-1,1)*0.96
        M69(i,1)=M69(i-1,1)*1.00001;
    else
        M69(i,1)=M69(i,1);
    end
end
for i=1:aux70(1,1)
    V70(i,:) = Vbase70(i,1)+Vbase70(i,2)+Vbase70(i,3)+Vbase70(i,4)+Vbase70(i,5);
end
M70 = [V70*-1,Dtope70];
for i=700:1800
    if M70(i,1) > M70(i-1,1)*1.01
        M70(i,1)=M70(i-1,1)*1.005;
    else
        M70(i,1)=M70(i,1);
    end
    if M70(i,1) < M70(i-1,1)*0.96
        M70(i,1)=M70(i-1,1)*1.00001;
    else
        M70(i,1)=M70(i,1);
    end
end
for i=1:aux71(1,1)
    V71(i,:) = Vbase71(i,1)+Vbase71(i,2)+Vbase71(i,3)+Vbase71(i,4)+Vbase71(i,5);
end
M71 = [V71*-1,Dtope71];
for i=500:1800
    if M71(i,1) > M71(i-1,1)*1.01
        M71(i,1)=M71(i-1,1)*1.005;
    else
        M71(i,1)=M71(i,1);
    end
    if M71(i,1) < M71(i-1,1)*0.95
        M71(i,1)=M71(i-1,1)*1.00001;
    else
        M71(i,1)=M71(i,1);
    end
end
for i=1:aux72(1,1)
    V72(i,:) = Vbase72(i,1)+Vbase72(i,2)+Vbase72(i,3)+Vbase72(i,4)+Vbase72(i,5);
end
M72 = [V72*-1,Dtope72];
for i=500:1800
    if M72(i,1) > M72(i-1,1)*1.01
        M72(i,1)=M72(i-1,1)*1.005;
    else
        M72(i,1)=M72(i,1);
    end
    if M72(i,1) < M72(i-1,1)*0.95
        M72(i,1)=M72(i-1,1)*1.00001;
    else
        M72(i,1)=M72(i,1);
    end
end
for i=1:aux73(1,1)
    V73(i,:) = Vbase73(i,1)+Vbase73(i,2)+Vbase73(i,3)+Vbase73(i,4)+Vbase73(i,5);
end
M73 = [V73*-1,Dtope73];
for i=500:1800
    if M73(i,1) > M73(i-1,1)*1.01
        M73(i,1)=M73(i-1,1)*1.005;
    else
        M73(i,1)=M73(i,1);
    end
end

```

```

        if M73(i,1) < M73(i-1,1)*0.95
            M73(i,1)=M73(i-1,1)*1.00001;
        else
            M73(i,1)=M73(i,1);
        end
    end
    for i=1:aux74(1,1)
        V74(i,:) = Vbase74(i,1)+Vbase74(i,2)+Vbase74(i,3)+Vbase74(i,4)+Vbase74(i,5);
    end
    M74 = [V74*-1,Dtope74];
    for i=500:1500
        if M74(i,1) > M74(i-1,1)*1.01
            M74(i,1)=M74(i-1,1)*1.005;
        else
            M74(i,1)=M74(i,1);
        end
        if M74(i,1) < M74(i-1,1)*0.95
            M74(i,1)=M74(i-1,1)*1.00001;
        else
            M74(i,1)=M74(i,1);
        end
    end
    for i=1:aux75(1,1)
        V75(i,:) = Vbase75(i,1)+Vbase75(i,2)+Vbase75(i,3)+Vbase75(i,4)+Vbase75(i,5);
    end
    M75 = [V75*-1,Dtope75];
    for i=500:1500
        if M75(i,1) > M75(i-1,1)*1.01
            M75(i,1)=M75(i-1,1)*1.005;
        else
            M75(i,1)=M75(i,1);
        end
        if M75(i,1) < M75(i-1,1)*0.95
            M75(i,1)=M75(i-1,1)*1.00001;
        else
            M75(i,1)=M75(i,1);
        end
    end
    for i=1:aux76(1,1)
        V76(i,:) = Vbase76(i,1)+Vbase76(i,2)+Vbase76(i,3)+Vbase76(i,4)+Vbase76(i,5);
    end
    M76 = [V76*-1,Dtope76];
    for i=500:1900
        if M76(i,1) > M76(i-1,1)*1.01
            M76(i,1)=M76(i-1,1)*1.005;
        else
            M76(i,1)=M76(i,1);
        end
        if M76(i,1) < M76(i-1,1)*0.95
            M76(i,1)=M76(i-1,1)*1.00001;
        else
            M76(i,1)=M76(i,1);
        end
    end
    for i=1:aux77(1,1)
        V77(i,:) = Vbase77(i,1)+Vbase77(i,2)+Vbase77(i,3)+Vbase77(i,4)+Vbase77(i,5);
    end
    M77 = [V77*-1,Dtope77];
    for i=500:1900
        if M77(i,1) > M77(i-1,1)*1.01
            M77(i,1)=M77(i-1,1)*1.005;
        else
            M77(i,1)=M77(i,1);
        end
        if M77(i,1) < M77(i-1,1)*0.95
            M77(i,1)=M77(i-1,1)*1.00001;
        else
            M77(i,1)=M77(i,1);
        end
    end
    for i=1:aux78(1,1)
        V78(i,:) = Vbase78(i,1)+Vbase78(i,2)+Vbase78(i,3)+Vbase78(i,4)+Vbase78(i,5);
    end
    M78 = [V78*-1,Dtope78];
    for i=500:2300
        if M78(i,1) > M78(i-1,1)*1.01
            M78(i,1)=M78(i-1,1)*1.005;
        else
            M78(i,1)=M78(i,1);
        end
        if M78(i,1) < M78(i-1,1)*0.95
            M78(i,1)=M78(i-1,1)*1.00001;
        else
            M78(i,1)=M78(i,1);
        end
    end
end

```



```

for i=1:aux79(1,1)
    V79(i,:) = Vbase79(i,1)+Vbase79(i,2)+Vbase79(i,3)+Vbase79(i,4)+Vbase79(i,5);
end
M79 = [V79*-1,Dtope79];
for i=500:1300
    if M79(i,1) > M79(i-1,1)*1.01
        M79(i,1)=M79(i-1,1)*1.005;
    else
        M79(i,1)=M79(i,1);
    end
    if M79(i,1) < M79(i-1,1)*0.95
        M79(i,1)=M79(i-1,1)*1.00001;
    else
        M79(i,1)=M79(i,1);
    end
end
for i=1:aux80(1,1)
    V80(i,:) = Vbase80(i,1)+Vbase80(i,2)+Vbase80(i,3)+Vbase80(i,4)+Vbase80(i,5);
end
M80 = [V80*-1,Dtope80];
for i=500:1300
    if M80(i,1) > M80(i-1,1)*1.01
        M80(i,1)=M80(i-1,1)*1.005;
    else
        M80(i,1)=M80(i,1);
    end
    if M80(i,1) < M80(i-1,1)*0.95
        M80(i,1)=M80(i-1,1)*1.00001;
    else
        M80(i,1)=M80(i,1);
    end
end
for i=1:aux81(1,1)
    V81(i,:) = Vbase81(i,1)+Vbase81(i,2)+Vbase81(i,3)+Vbase81(i,4)+Vbase81(i,5);
end
M81 = [V81*-1,Dtope81];
for i=500:1900
    if M81(i,1) > M81(i-1,1)*1.01
        M81(i,1)=M81(i-1,1)*1.005;
    else
        M81(i,1)=M81(i,1);
    end
    if M81(i,1) < M81(i-1,1)*0.95
        M81(i,1)=M81(i-1,1)*1.00001;
    else
        M81(i,1)=M81(i,1);
    end
end
for i=1:aux82(1,1)
    V82(i,:) = Vbase82(i,1)+Vbase82(i,2)+Vbase82(i,3)+Vbase82(i,4)+Vbase82(i,5);
end
M82 = [V82*-1,Dtope82];
for i=500:1900
    if M82(i,1) > M82(i-1,1)*1.01
        M82(i,1)=M82(i-1,1)*1.005;
    else
        M82(i,1)=M82(i,1);
    end
    if M82(i,1) < M82(i-1,1)*0.95
        M82(i,1)=M82(i-1,1)*1.00001;
    else
        M82(i,1)=M82(i,1);
    end
end
for i=1:aux83(1,1)
    V83(i,:) = Vbase83(i,1)+Vbase83(i,2)+Vbase83(i,3)+Vbase83(i,4)+Vbase83(i,5);
end
M83 = [V83*-1,Dtope83];
for i=500:1300
    if M83(i,1) > M83(i-1,1)*1.01
        M83(i,1)=M83(i-1,1)*1.005;
    else
        M83(i,1)=M83(i,1);
    end
    if M83(i,1) < M83(i-1,1)*0.95
        M83(i,1)=M83(i-1,1)*1.00001;
    else
        M83(i,1)=M83(i,1);
    end
end
for i=1:aux84(1,1)
    V84(i,:) = Vbase84(i,1)+Vbase84(i,2)+Vbase84(i,3)+Vbase84(i,4)+Vbase84(i,5);
end
M84 = [V84*-1,Dtope84];
for i=500:1300
    if M84(i,1) > M84(i-1,1)*1.01

```

```

M84(i,1)=M84(i-1,1)*1.005;
else
M84(i,1)=M84(i,1);
end
if M84(i,1) < M84(i-1,1)*0.95
M84(i,1)=M84(i-1,1)*1.00001;
else
M84(i,1)=M84(i,1);
end
end
for i=1:aux85(1,1)
V85(i,:) = Vbase85(i,1)+Vbase85(i,2)+Vbase85(i,3)+Vbase85(i,4)+Vbase85(i,5);
end
M85 = [V85*-1,Dtope85];
for i=500:1300
if M85(i,1) > M85(i-1,1)*1.01
M85(i,1)=M85(i-1,1)*1.005;
else
M85(i,1)=M85(i,1);
end
if M85(i,1) < M85(i-1,1)*0.95
M85(i,1)=M85(i-1,1)*1.00001;
else
M85(i,1)=M85(i,1);
end
end
for i=1:aux86(1,1)
V86(i,:) = Vbase86(i,1)+Vbase86(i,2)+Vbase86(i,3)+Vbase86(i,4)+Vbase86(i,5);
end
M86 = [V86*-1,Dtope86];
for i=500:2300
if M86(i,1) > M86(i-1,1)*1.01
M86(i,1)=M86(i-1,1)*1.005;
else
M86(i,1)=M86(i,1);
end
if M86(i,1) < M86(i-1,1)*0.95
M86(i,1)=M86(i-1,1)*1.00001;
else
M86(i,1)=M86(i,1);
end
end
for i=1:aux87(1,1)
V87(i,:) = Vbase87(i,1)+Vbase87(i,2)+Vbase87(i,3)+Vbase87(i,4)+Vbase87(i,5);
end
M87 = [V87*-1,Dtope87];
for i=500:1500
if M87(i,1) > M87(i-1,1)*1.01
M87(i,1)=M87(i-1,1)*1.005;
else
M87(i,1)=M87(i,1);
end
if M87(i,1) < M87(i-1,1)*0.95
M87(i,1)=M87(i-1,1)*1.00001;
else
M87(i,1)=M87(i,1);
end
end
for i=1:aux88(1,1)
V88(i,:) = Vbase88(i,1)+Vbase88(i,2)+Vbase88(i,3)+Vbase88(i,4)+Vbase88(i,5);
end
M88 = [V88*-1,Dtope88];
for i=500:1900
if M88(i,1) > M88(i-1,1)*1.2
M88(i,1)=M88(i-1,1)*1.005;
else
M88(i,1)=M88(i,1);
end
if M88(i,1) < M88(i-1,1)*0.97
M88(i,1)=M88(i-1,1)*1.00001;
else
M88(i,1)=M88(i,1);
end
end
for i=1:aux89(1,1)
V89(i,:) = Vbase89(i,1)+Vbase89(i,2)+Vbase89(i,3)+Vbase89(i,4)+Vbase89(i,5);
end
M89 = [V89*-1,Dtope89];
for i=500:1200
if M89(i,1) > M89(i-1,1)*1.01
M89(i,1)=M89(i-1,1)*1.005;
else
M89(i,1)=M89(i,1);
end
if M89(i,1) < M89(i-1,1)*0.97
M89(i,1)=M89(i-1,1)*1.00001;

```

```

        else
            M89(i,1)=M89(i,1);
        end
    end
end
for i=1:aux90(1,1)
    V90(i,:) = Vbase90(i,1)+Vbase90(i,2)+Vbase90(i,3)+Vbase90(i,4)+Vbase90(i,5);
end
M90 = [V90*-1,Dtope90];
for i=300:1500
    if M90(i,1) > M90(i-1,1)*1.01
        M90(i,1)=M90(i-1,1)*1.005;
    else
        M90(i,1)=M90(i,1);
    end
    if M90(i,1) < M90(i-1,1)*0.9
        M90(i,1)=M90(i-1,1)*1.00001;
    else
        M90(i,1)=M90(i,1);
    end
end
end
%% Plot
figure(1)
plot(M1(1:280,2),M1(1:280,1),M2(1:280,2),M2(1:280,1),M3(:,2),M3(:,1),M4(:,2),M4(:,1),M5(:,2),M5(:,1),M6(
:,2),M6(:,1),M7(:,2),M7(:,1),M8(:,2),M8(:,1),M9(:,2),M9(:,1),M10(:,2),M10(:,1)));title('Curva de
Capacidad de Modelos (OpenSees) 1 al 10');xlabel('Desplazamiento (m)');ylabel('Cortante (Ton)'); grid
on;
legend('m1','m2','m3','m4','m5','m6','m7','m8','m9','m10');
figure(2)
plot(M11(:,2),M11(:,1),M12(:,2),M12(:,1),M13(:,2),M13(:,1),M14(:,2),M14(:,1),M15(:,2),M15(:,1),M16(:,2),
M16(:,1),M17(:,2),M17(:,1),M18(:,2),M18(:,1),M19(:,2),M19(:,1),M20(:,2),M20(:,1)));title('Curva de
Capacidad de Modelos (OpenSees) 11 al 20');xlabel('Desplazamiento (m)');ylabel('Cortante (Ton)'); grid
on;
legend('m11','m12','m13','m14','m15','m16','m17','m18','m19','m20');
figure(3)
plot(M21(:,2),M21(:,1),M22(:,2),M22(:,1),M23(:,2),M23(:,1),M24(:,2),M24(:,1),M25(:,2),M25(:,1),M26(:,2),
M26(:,1),M27(:,2),M27(:,1),M28(:,2),M28(:,1),M29(:,2),M29(:,1),M30(:,2),M30(:,1)));title('Curva de
Capacidad de Modelos (OpenSees) 21 al 30');xlabel('Desplazamiento (m)');ylabel('Cortante (Ton)'); grid
on;
legend('m21','m22','m23','m24','m25','m26','m27','m28','m29','m30');
figure(4)
plot(M31(:,2),M31(:,1),M32(:,2),M32(:,1),M33(:,2),M33(:,1),M34(:,2),M34(:,1),M35(:,2),M35(:,1),M36(:,2),
M36(:,1),M37(:,2),M37(:,1),M38(:,2),M38(:,1),M39(:,2),M39(:,1),M40(:,2),M40(:,1)));title('Curva de
Capacidad de Modelos (OpenSees) 31 al 40');xlabel('Desplazamiento (m)');ylabel('Cortante (Ton)'); grid
on;
legend('m31','m32','m33','m34','m35','m36','m37','m38','m39','m40');
figure(5)
plot(M41(:,2),M41(:,1),M42(:,2),M42(:,1),M43(:,2),M43(:,1),M44(:,2),M44(:,1),M45(:,2),M45(:,1),M46(:,2),
M46(:,1),M47(:,2),M47(:,1),M48(:,2),M48(:,1),M49(:,2),M49(:,1),M50(:,2),M50(:,1)));title('Curva de
Capacidad de Modelos (OpenSees) 41 al 50');xlabel('Desplazamiento (m)');ylabel('Cortante (Ton)'); grid
on;
legend('m41','m42','m43','m44','m45','m46','m47','m48','m49','m50');
figure(6)
plot(M51(:,2),M51(:,1),M52(:,2),M52(:,1),M53(:,2),M53(:,1),M54(:,2),M54(:,1),M55(:,2),M55(:,1),M56(:,2),
M56(:,1),M57(:,2),M57(:,1),M58(:,2),M58(:,1),M59(:,2),M59(:,1),M60(:,2),M60(:,1)));title('Curva de
Capacidad de Modelos (OpenSees) 51 al 60');xlabel('Desplazamiento (m)');ylabel('Cortante (Ton)'); grid
on;
legend('m51','m52','m53','m54','m55','m56','m57','m58','m59','m60');
figure(7)
plot(M61(:,2),M61(:,1),M62(:,2),M62(:,1),M63(:,2),M63(:,1),M64(:,2),M64(:,1),M65(:,2),M65(:,1),M66(:,2),
M66(:,1),M67(:,2),M67(:,1),M68(:,2),M68(:,1),M69(:,2),M69(:,1),M70(:,2),M70(:,1)));title('Curva de
Capacidad de Modelos (OpenSees) 61 al 70');xlabel('Desplazamiento (m)');ylabel('Cortante (Ton)'); grid
on;
legend('m61','m62','m63','m64','m65','m66','m67','m68','m69','m70');
figure(8)
plot(M71(:,2),M71(:,1),M72(:,2),M72(:,1),M73(:,2),M73(:,1),M74(:,2),M74(:,1),M75(:,2),M75(:,1),M76(:,2),
M76(:,1),M77(:,2),M77(:,1),M78(:,2),M78(:,1),M79(:,2),M79(:,1),M80(:,2),M80(:,1)));title('Curva de
Capacidad de Modelos (OpenSees) 71 al 80');xlabel('Desplazamiento (m)');ylabel('Cortante (Ton)'); grid
on;
legend('m71','m72','m73','m74','m75','m76','m77','m78','m79','m80');
figure(9)
plot(M81(:,2),M81(:,1),M82(:,2),M82(:,1),M83(:,2),M83(:,1),M84(:,2),M84(:,1),M85(:,2),M85(:,1),M86(:,2),
M86(:,1),M87(:,2),M87(:,1),M88(:,2),M88(:,1),M89(:,2),M89(:,1),M90(:,2),M90(:,1)));title('Curva de
Capacidad de Modelos (OpenSees) 81 al 90');xlabel('Desplazamiento (m)');ylabel('Cortante (Ton)'); grid
on;
legend('m81','m82','m83','m84','m85','m86','m87','m88','m89','m90');
figure(10)
plot(M1(1:280,2),M1(1:280,1),M2(1:280,2),M2(1:280,1),M3(:,2),M3(:,1),M4(:,2),M4(:,1),M5(:,2),M5(:,1),M6(
:,2),M6(:,1),M7(:,2),M7(:,1),M8(:,2),M8(:,1),M9(:,2),M9(:,1),M10(:,2),M10(:,1),M11(:,2),M11(:,1),M12(:,2
),M12(:,1),M13(:,2),M13(:,1),M14(:,2),M14(:,1),M15(:,2),M15(:,1),M16(:,2),M16(:,1),M17(:,2),M17(:,1),M18
(:,2),M18(:,1),M19(:,2),M19(:,1),M20(:,2),M20(:,1),M21(:,2),M21(:,1),M22(:,2),M22(:,1),M23(:,2),M23(:,1)
,M24(:,2),M24(:,1),M25(:,2),M25(:,1),M26(:,2),M26(:,1),M27(:,2),M27(:,1),M28(:,2),M28(:,1),M29(:,2),M29(
:,1),M30(:,2),M30(:,1),M31(:,2),M31(:,1),M32(:,2),M32(:,1),M33(:,2),M33(:,1),M34(:,2),M34(:,1),M35(:,2),
M35(:,1),M36(:,2),M36(:,1),M37(:,2),M37(:,1),M38(:,2),M38(:,1),M39(:,2),M39(:,1),M40(:,2),M40(:,1),M41(
:,2),M41(:,1),M42(:,2),M42(:,1),M43(:,2),M43(:,1),M44(:,2),M44(:,1),M45(:,2),M45(:,1),M46(:,2),M46(:,1),M
47(:,2),M47(:,1),M48(:,2),M48(:,1),M49(:,2),M49(:,1),M50(:,2),M50(:,1),M61(:,2),M61(:,1),M62(:,2),M62(
:,1),M63(:,2),M63(:,1),M64(:,2),M64(:,1),M65(:,2),M65(:,1),M66(:,2),M66(:,1),M67(:,2),M67(:,1),M68(:,2),M68(
:,1),M69(:,2),M69(:,1),M70(:,2),M70(:,1),M71(:,2),M71(:,1),M72(:,2),M72(:,1),M73(:,2),M73(:,1),M74(:,2),M74(
:,1),M75(:,2),M75(:,1),M76(:,2),M76(:,1),M77(:,2),M77(:,1),M78(:,2),M78(:,1),M79(:,2),M79(:,1),M80(:,2),M80(
:,1),M81(:,2),M81(:,1),M82(:,2),M82(:,1),M83(:,2),M83(:,1),M84(:,2),M84(:,1),M85(:,2),M85(:,1),M86(:,2),M86(
:,1),M87(:,2),M87(:,1),M88(:,2),M88(:,1),M89(:,2),M89(:,1),M90(:,2),M90(:,1));

```

```
8(:,1),M69(:,2),M69(:,1),M70(:,2),M70(:,1),M71(:,2),M71(:,1),M72(:,2),M72(:,1),M73(:,2),M73(:,1),M74(:,2),M74(:,1),M75(:,2),M75(:,1),M76(:,2),M76(:,1),M77(:,2),M77(:,1),M78(:,2),M78(:,1),M79(:,2),M79(:,1),M80(:,2),M80(:,1),M81(:,2),M81(:,1),M82(:,2),M82(:,1),M83(:,2),M83(:,1),M84(:,2),M84(:,1),M85(:,2),M85(:,1),M86(:,2),M86(:,1),M87(:,2),M87(:,1),M88(:,2),M88(:,1),M89(:,2),M89(:,1),M90(:,2),M90(:,1));title('Curva de Capacidad de Modelos (OpenSees) 1 al 90');xlabel('Desplazamiento (m)');ylabel('Cortante (Ton)');grid on;
```

Elaboración: Carlos Celi.

El uso de los programas mencionados es básico para la elaboración de la base estadística que se analizará en el capítulo 6.

CAPÍTULO 4

MODELO CON BASE EN ZONAS PLÁSTICAS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se describe el procedimiento realizado para modelar 200 combinaciones de la estructura básica; empleando el método NSP basado en zonas plásticas para los mecanismos de disipación de energía, de los elementos estructurales como son vigas y columnas.

En este capítulo se describe brevemente un análisis manual simplificado para obtener la curva de capacidad de la estructura, de tal manera de corroborar los resultados de salida del programa SAP2000 [11]; como se mencionó en el capítulo anterior, en esta sección se describe el proceso necesario para obtener el punto de desempeño de la estructura, basado en las recomendaciones de ATC40 [4] y ASPD [3].

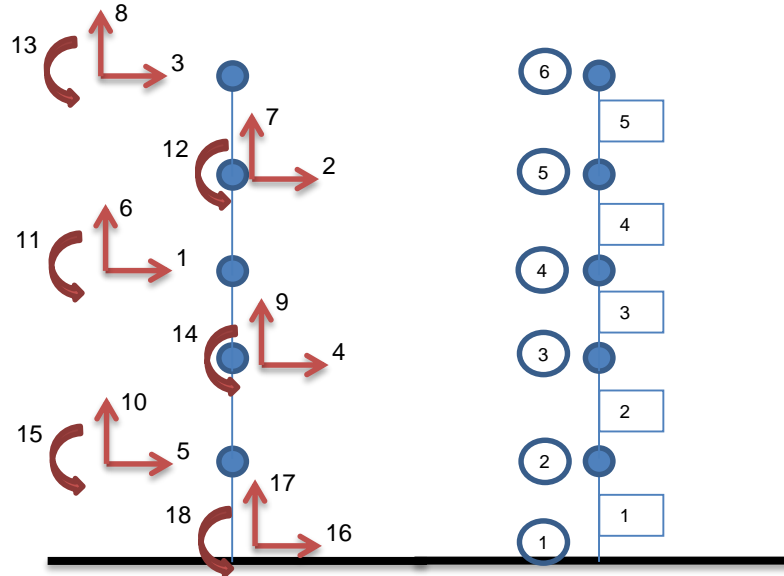
4.2 ESTRUCTURA BÁSICA PARA MODELO SIMPLIFICADO

Puesto que el modelo simplificado sirve exclusivamente como un parámetro de comparación para verificar de alguna manera los resultados de salida del programa SAP2000 [11], dicho modelo se basará en una degradación de la rigidez de los elementos estructurales a medida que se someten a un incremento de carga lateral. Para ello se realizó el cálculo lineal del modelo básico hasta que alcance el desplazamiento de control mencionado en los capítulos anteriores; luego el cálculo se retroalimenta con una nueva rigidez de los elementos, basada en el diagrama momento curvatura de las secciones; es decir en cada paso del cálculo (tantos pasos como se desee), se verificará el momento actuante sobre el elemento estructural vertical y se interpolará obteniendo la nueva rigidez del elemento a través del diagrama momento - curvatura.

Para esta tesis se discretiza la estructura de forma de obtener un cálculo simple a partir de ella; por ende a la estructura básica presentada en el capítulo 2 se la

resume en un péndulo invertido con masas concentradas y grados de libertad, como se muestra en la FIGURA 4.1.

FIGURA 4.1: Discretización de la estructura básica.



Elaboración: Carlos Celi

La numeración de grados de libertad obedece a que, dentro del cálculo de los desplazamientos para el péndulo invertido que se muestra en la FIGURA 4.1, se realizó una simplificación más, que consiste en una condensación estática para el grado de libertad 1, que se encuentra a la mitad de la altura de la estructura, de manera de comprobar rápidamente que la matriz de rigidez del sistema no tenga valores de cero en la diagonal en cada paso del cálculo.

4.2.1 MOMENTO CURVATURA

Es importante conocer la relación $M - \phi$ (momento curvatura), dentro de un análisis estructural no lineal, con el objeto de saber cuál es la capacidad de ductilidad por curvatura μ_{ϕ} de la estructura, además de la máxima capacidad a flexión del elemento M_{μ} ; de esta forma comparar estas capacidades características del diagrama $M - \phi$ con la demanda que sufrirá la estructura durante la historia de carga.

Aunque normalmente en un análisis no-lineal, la relación $M - \phi$ determina la rigidez de cada una de las ramas del diagrama histerético que se utiliza para definir la linealidad del material; para la presente simplificación del problema (péndulo invertido FIGURA 4.1), a partir del diagrama momento - curvatura de un elemento estructural vertical representativo, se calcula la degradación de la inercia del elemento, ya que el módulo de rigidez (EI) es igual al momento aplicado dividido para la curvatura en ese punto. En esta investigación se considera que el módulo de elasticidad es constante, con el fin de simplificar el cálculo de la degradación del módulo de rigidez.

Con el fin de simplificar el cálculo de la degradación, se emplean secantes, tomando en consideración que todas ellas tienen como origen el inicio del diagrama momento – curvatura, y no se toma en consideración un desplazamiento plástico irre recuperable [8], para el inicio de la próxima secante.

$$E^* I_{ef} = \left[\frac{M}{\phi} \right] \quad (4.1)$$

$$I_{cr} = \left[\frac{E^* I_{ef}}{E^* I_g} \right] \quad (4.2)$$

donde:

Φ = curvatura

I_{ef} = inercia efectiva de la sección

I_g = inercia gruesa de la sección

I_{cr} = relación de inercias

Es necesario recordar que el cálculo del diagrama momento – curvatura, emplea los modelos de hormigón confinado y no confinado; modelos descritos en el capítulo 3 de esta investigación.

Para obtener los puntos notables del diagrama $M - \phi$, se emplean dos métodos para las distintas secciones del diagrama; es decir para la primera parte del diagrama se emplea el método de las dovelas, y luego el método convencional de cálculo del diagrama de interacción de un elemento estructural.

4.2.1.1 Método de Dovelas

Este método se basa en que a un punto del diagrama le corresponde una curvatura dada, y que para obtener el resto de los puntos notables se debe ir incrementando gradualmente la curvatura; este método fue propuesto por Kunnath (1992) [12] y Park (1983) [13].

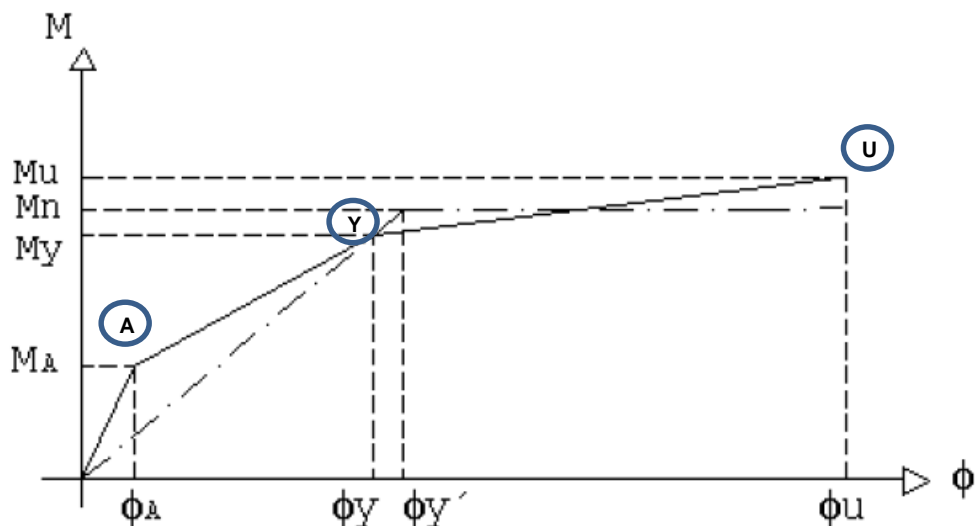
La deducción de las ecuaciones se presenta en la referencia [3]; para la presente investigación se presenta el resumen de ecuaciones aproximadas para encontrar los puntos notables de un elemento doblemente armado.

Los puntos notables del método de dovelas se describen de la siguiente manera:

- A: Se alcanza cuando el hormigón llega a su máximo esfuerzo a la tracción.
- Y: Se determina cuando el acero a tracción alcanza el punto de fluencia.
- U: Se determina cuando el hormigón llega a su máxima deformación útil.

En la FIGURA 4.2 se observa la posición relativa entre los puntos notables del diagrama $M - \phi$ basado en el método de dovelas.

FIGURA 4.2: Puntos notables, diagrama $M - \phi$.



Fuente: ASPD, 2003

Modificado: Carlos Celi

Las formulas aproximadas para determinar los puntos notables mencionados, son las siguientes:

Punto A:

$$C_t = \frac{h}{2} \quad (4.3)$$

$$A = b * h \quad (4.4)$$

$$f_{ct} = 0.10 * f'c \quad (4.5)$$

$$M_A = \frac{I}{C_t} * \left(f_{ct} + \frac{P_o}{A} \right) \quad (4.6)$$

$$\Phi_A = \frac{M_A}{E_c * I} \quad (4.7)$$

donde:

C_t = Profundidad media.

A = Área de la sección.

f_{ct} = Capacidad a tracción del hormigón.

$f'c$ = Capacidad a compresión del hormigón.

M_A = Momento resistente del elemento en el punto A.

Φ_A = Curvatura del elemento en el punto A.

Punto Y: Las ecuaciones descritas para el punto Y no poseen nombres propios, pero si una ecuación para determinarlas; la definición de ec, eo, ey, d fueron dadas en capítulos anteriores.

$$M_Y = 0.5 * f'c * b * d * [(1 + \beta_c - n) * n_0 + (2 - n) * p_t + (n - 2 * \beta_c) * \alpha_c * p't] \quad (4.8)$$

$$\beta_c = \frac{d'}{d} \quad (4.9)$$

$$n = \frac{0.75}{1 + \alpha_Y} * \left(\frac{ec}{eo} \right)^{0.7} \quad (4.10)$$

$$\alpha_Y = \frac{ey}{eo} \quad (4.11)$$

$$n_0 = \frac{P_o}{b * d * f'c} \quad (4.12)$$

$$p_t = \frac{A_s * f_y}{b * d * f'c} \quad (4.13)$$

$$p't = \frac{A's * f_y}{b * d * f'c} \quad (4.14)$$

$$ec = \phi_y * d - ey \leq eu \quad (4.15)$$

$$\alpha_c = (1 - \beta_c) * \frac{ec}{ey} - \beta_c \leq 1 \quad (4.16)$$

$$\phi_Y = \left[1.05 + (C2 - 1.05) * \frac{n_0}{0.03} \right] * \frac{ey}{(1-k)*d} \quad (4.17)$$

$$k = \sqrt{(p_t + p't)^2 * \frac{1}{4*\alpha_Y^2} + (p_t + \beta_c * p't) * \frac{1}{\alpha_Y} - (p_t + p't) * \frac{1}{2*\alpha_Y}} \quad (4.18)$$

$$C2 = 1 + \frac{0.45}{(0.84 + p_t)} \quad (4.19)$$

donde:

M_Y = Momento resistente del elemento en el punto Y.

ϕ_Y = Curvatura del elemento en el punto Y.

Punto U:

$$M_U = (1.24 - 0.15 * p_t - 0.5 * n_0) * M_Y \quad (4.20)$$

$$\phi_U = \mu_\phi * \phi_Y \quad (4.21)$$

$$\mu_\phi = \left(\frac{ep}{eo} \right)^{0.218*pw-2.15} * \exp(0.654 * pw + 0.38) \quad (4.22)$$

$$ep = 0.5 * eb + 0.5 * \sqrt{eb^2 + \theta s^2} \quad (4.23)$$

$$eb = \left[C1 + (C2 - C1) * \frac{n_0}{0.3} \right] * \phi_Y \quad (4.24)$$

$$C1 = 1.05 \quad \text{para } p't \neq 0 \quad (4.25)$$

$$C1 = 1 + 1.9 * p_t^{2.4} \quad \text{para } p't = 0 \quad (4.26)$$

$$C2 = 1 + \frac{0.45}{(0.84 + 2*p't - p_t)} \quad (4.27)$$

$$\theta s = \frac{0.002}{\frac{L}{d} - 0.5} \quad \mu > 5 \text{ ó } \frac{L}{d} > 4 \quad (4.28)$$

$$\theta s = \frac{0.002}{\frac{L}{d} - 0.5} * [1 + 0.27 * (\mu - 5)] \quad \mu > 5 \text{ y } 2.5 < \frac{L}{d} < 4 \quad (4.29)$$

$$\theta s = \frac{0.002}{\frac{L}{d} - 0.5} * \left[1 + \frac{0.185 * (\mu - 5)}{\sqrt{pw} - 0.4} \right] \quad \mu > 5 \text{ y } \frac{L}{d} < 2.5 \quad (4.30)$$

$$\mu = \frac{T_b}{\sqrt{f'tc}} \quad (4.31)$$

donde:

θs = Rotación por corte.

T_b = Esfuerzo promedio de adherencia.

L = Longitud del elemento.

ρ_w = Cuantía de confinamiento de refuerzo transversal.

M_Y = Momento resistente del elemento en el punto Y.

ϕ_Y = Curvatura del elemento en el punto Y.

En la referencia [3] se destaca que el punto U, que se obtiene a partir del método de dovelas no es muy preciso en relación con el empleo del método convencional (variación del proceso de obtención del diagrama de interacción de un elemento); por ende después de obtener el punto notable Y del diagrama $M - \phi$ se usará el método convencional para obtener el resto del diagrama.

Cabe recalcar que todos los valores numéricos de las variables de las ecuaciones antes propuestas se determinaron en los capítulos 2 y 3 de esta investigación.

4.2.1.2 Método Convencional (variación del proceso de obtención del diagrama de interacción de un elemento)

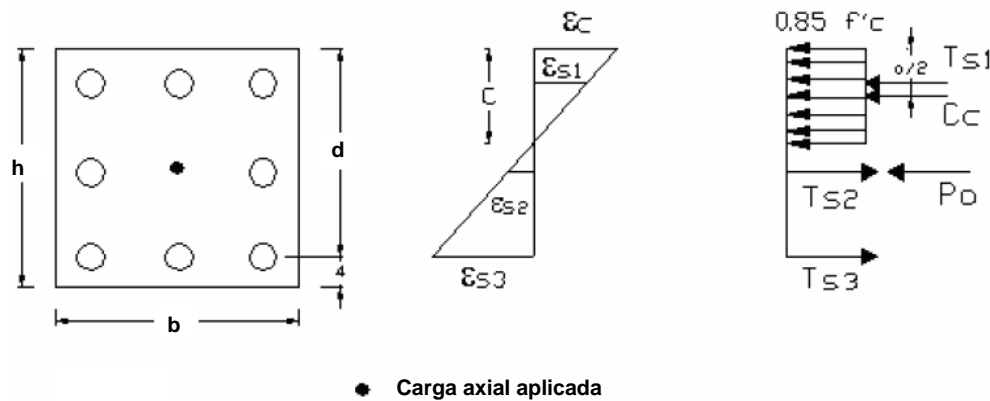
Este proceso se basa en el criterio de compatibilidad de deformaciones, equilibrio de fuerzas y equilibrio de momentos, para un proceso que se describe a continuación:

- Seleccionar e_c para el primer punto del diagrama $M - \phi$.
- Imponerse c (ubicación del eje neutro) y trazar el perfil de deformación a lo largo de la profundidad de la sección.
- Obtener los esfuerzos del acero y hormigón, a partir de las deformaciones calculadas en base a las curvas constitutivas de ambos materiales.
- Calcular las fuerzas en base a los esfuerzos por áreas correspondientes.
- Obtener la suma vectorial de las fuerzas, sobre la sección de cálculo, además de la carga axial que actúa sobre la estructura.
- Realizar el proceso anterior (variación de c = profundidad del eje neutro) hasta que exista equilibrio de fuerzas.
- Calcular el momento flector interno, medido desde el centroide plástico de la sección.
- Calcular la curvatura, como la razón entre e_c y la distancia al eje neutro.

Con este proceso se encuentra un primer punto del diagrama $M - \phi$; para obtener más puntos se variará ϵ_c , y se realiza el mismo proceso de cálculo.

En la FIGURA 4.3 se ilustra gráficamente el procedimiento descrito en 4.2.1.2.

FIGURA 4.3: Puntos notables, diagrama $M - \phi$.

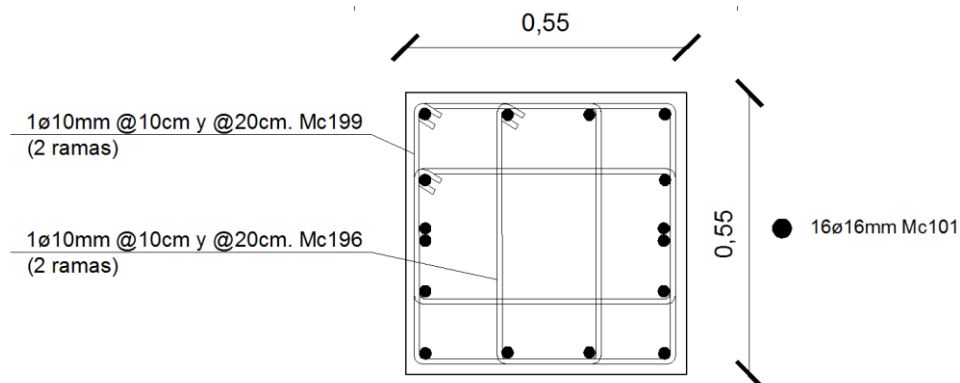


Elaboración: Carlos Celi

Para el análisis del resto del diagrama $M - \phi$, como se mencionó antes, se tomó una columna central del primer piso, cuyo armado se muestra en el ANEXO 2 y en la FIGURA 4.4; además se empleó todos los parámetros previamente calculados en el capítulo 3 para definir el hormigón confinado, y se empleó una carga axial actuante de 20 t que representa el promedio de carga axial para una columna del primer piso para esta investigación.

Este proceso se emplea después de determinar el punto notable Y del diagrama $M - \phi$, el proceso se detiene una vez alcanzado un $\epsilon_c = 0.0023$.

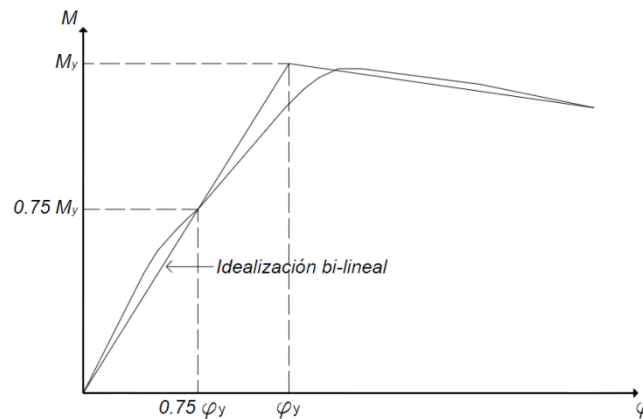
FIGURA 4.4: Armado longitudinal, columna central primer piso.



Elaboración: Carlos Celi

A manera de ejemplificar que el diagrama $M - \phi$ puede bilinealizarse, se emplearon las recomendaciones descritas por Paulay y Priestley (1992) [9]; quienes mencionan que para obtener una correcta bilinealización de $M - \phi$ debe igualarse el área debajo de la curva y cumpliere con la condición que la gráfica real y la curva idealizada se intercepten en el 75% del momento de fluencia, como se muestra en la FIGURA 4.5.

FIGURA 4.5: Idealización elasto-plástica, relación $M - \phi$



Fuente: Paulay y Priestley, 1992

Como se mencionó anteriormente, a partir del diagrama $M - \phi$, se determina una degradación de la rigidez, mediante secantes de rigidez para cada uno de los puntos notables del diagrama; no tomando en consideración la deformación plástica irrecuperable en cada paso del cálculo, ya que el objetivo es realizar una simplificación del proceso de obtención de la curva de capacidad de la estructura; para calcular esta degradación se emplean las ecuaciones (4.1), (4.2) y (4.32):

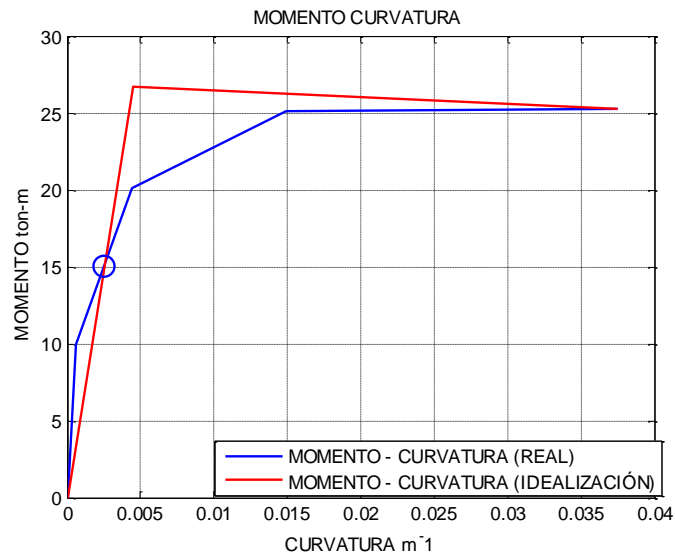
$$k = \frac{M_{i+1} - M_i}{\phi_{i+1} - \phi_i} \quad (4.32)$$

donde k es la rigidez secante en cada paso del cálculo, aunque para esta investigación se optó por calcular la degradación de la inercia de la sección a lo largo del diagrama $M - \phi$; para luego con base en esta nueva inercia, calcular la rigidez del sistema resistente a medida que se incremente la carga.

En la FIGURA 4.6, se presenta el momento-curvatura calculado para la columna escogida de esta investigación, y en la FIGURA 4.7 se muestra la degradación de

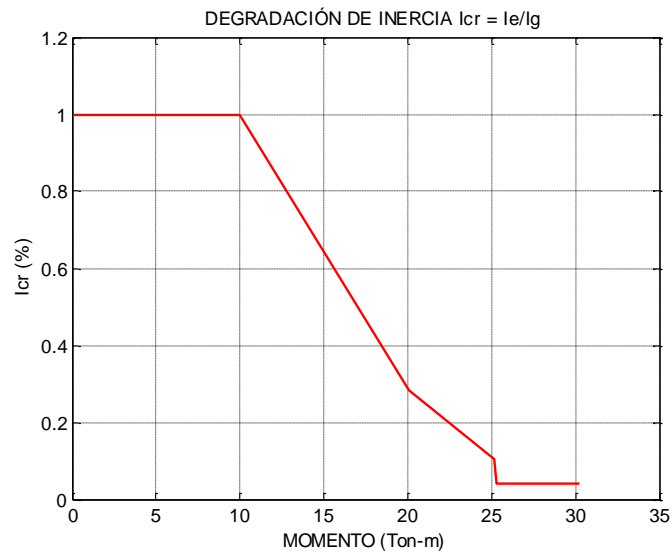
la inercia de la sección calculada en función del momento proveniente del diagrama M - ϕ .

FIGURA 4.6: Diagrama M - ϕ , columna central primer piso



Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 4.7: Degradación de Inercia, columna central primer piso



Elaboración: Carlos Celi

Las FIGURAS 4.6 y 4.7, son resultado de la subrutina realizada en Matlab [14] denominada (momento_curvatura), que emplea los procesos y ecuaciones antes descritas; la programación de esta subrutina se muestra en la FIGURA 4.8.

FIGURA 4.8: Rutina (momento_curvatura), obtiene el diagrama $M-\phi$ y la degradación de la inercia de una sección.

```

clc
clear
%% Calcula El Momento Curvatura para una sección de Columna
%% y La degradación de la Rigidez (Icr = Ie/Ig)
display('Autor: Ing. Carlos Andrés Celi')
display('Análisis paramétrico de la fiabilidad de un modelamiento sísmico en el rango no lineal,
en función del tipo de modelamiento empleado ')
display('Calcula El Momento Curvatura para una sección de Columna y La degradación de la Rigidez
(Icr = Ie/Ig)')
% A = sección gruesa de columna (cm2)
% E = Modulo de Elasticidad del concreto (kg/cm2)
% fc = Esfuerzo Máximo del Hormigón no confinado (kg/cm2)
% fy = Fluencia del acero (kg/cm2)
% Po = Carga Aplicada (kg)
% b = Dimensión de la columna en sentido X (cm)
% h = Dimensión de la columna en sentido Y (cm)

% Datos
L = 3.10; % longitud de Columna (m)
Lv = 5.0; % Longitud de Viga (m)
% limite2 = 0.002;
% limite3 = 0.0025;
% limite4 = 0.0030;
% limite5 = 0.00349;
limite0 = 0.001;
limite2 = 0.001;
limite3 = 0.001;
limite4 = 0.001;
limite5 = 0.0023;
h = 55;
b = 55;
hv = 45;
bv = 30;
E = 2100000;
fc = 210;
fy = 4200;
fcu = 294;
% Po = 665.4;
Po = 20000;
Pov = 0.0;
r = 4;
% coor = [6.03 r
%         4.02 h/2
%         6.03 h-r];
coor = [8.08 r
        4.04 h/3
        4.04 h/2
        4.04 2*h/3
        8.08 h-r];

coorv = [8.66 r
        2.26 h/2
        5.41 hv-r];
%% Para ec = limite0
% Solución
es=0;
fs=0;
aux1 = size(coor);
c=r+0.1;
cc =0;
equi = 11;
j=1;
for ec=limite0:limite0
    ec;
    while equi > 5

        for i=1:aux1(1,1)
            if coor(i,2)<=c
                es(i,1)=(c-coor(i,2))*ec/c;
            else
                es(i,1)=(coor(i,2)-c)*ec/c*-1;
            end
        end
        equi = sum(es);
    end
end
for i=1:aux1(1,1)

```

```

    fs(i,1)=E*abs(es(i,1));
    if abs(fs(i,1))<=fy
        fs(i,1)=fs(i,1)*abs(es(i,1))/es(i,1);
    else
        fs(i,1)= fy*abs(es(i,1))/es(i,1);
    end
end
fs;
a = 0.85*c;
fcc = 0.85*fc*a*b;

for i=1:aux1(1,1)
    ff(i,1)=coor(i,1)*fs(i,:);
end
ff;
F_D = [ fcc 0
        Po h/2
        ff coor(:,2)];
equi = abs(sum(ff)+fcc+Po);

brazos=0;
aux3=size (F_D);
for i=1:aux3(1,1)
    brazos(i,1) = c-F_D(i,2);
end
brazos;

M=0;
for i=1:aux3(1,1)
    M(i,:) = F_D(i,1)*brazos(i,1);
end
M;

aux5 = sum(M);
u= ec/c;

c=c+0.001;
end
format long
balance(j,1) = equi;
equi=11;
cc(j,1)=c;
mom(j,1)=aux5/(1000*100);
curv(j,1)=u;
c;
ec = ec+0.0001;
j= j+1;
resp1 = [curv*100 mom balance ec];
end

%% Para ec = limite2
% Solución
es=0;
fs=0;
aux1 = size(coor);
c=r+0.1;
cc =0;
equi = 11;
j=1;
for ec=limite2:0.0001:limite2
    ec;
    while equi > 5

        for i=1:aux1(1,1)
            if coor(i,2)<=c
                es(i,1)=(c-coor(i,2))*ec/c;
            else
                es(i,1)=(coor(i,2)-c)*ec/c*-1;
            end
        end
        es;
        for i=1:aux1(1,1)
            fs(i,1)=E*abs(es(i,1));
            if abs(fs(i,1))<=fy
                fs(i,1)=fs(i,1)*abs(es(i,1))/es(i,1);
            else
                fs(i,1)= fy*abs(es(i,1))/es(i,1);
            end
        end
        fs;
    end
end

```



```

a = 0.85*c;
fcc = 0.85*fc*a*b;

for i=1:aux1(1,1)
    ff(i,1)=coor(i,1)*fs(i,:);
end
ff;
F_D = [ fcc 0
        Po  h/2
        ff  coor(:,2)];
equi = abs(sum(ff)+fcc+Po);

brazos=0;
aux3=size (F_D);
for i=1:aux3(1,1)
    brazos(i,1) = c-F_D(i,2);
end
brazos;

M=0;
for i=1:aux3(1,1)
    M(i,:)= F_D(i,1)*brazos(i,1);
end
M;

aux5 = sum(M);
u= ec/c;

c=c+0.001;
end
format long
balance(j,1) = equi;
equi=11;
cc(j,1)=c;
mom(j,1)=aux5/(1000*100);
curv(j,1)=u;
c;
% ec = ec+0.0001;
j= j+1;
resp2 = [curv*100 mom balance ec];
end
%% Para ec = limite3
% Solución
es=0;
fs=0;
aux1 = size(coor);
c=r+0.1;
cc =0;
equi = 11;
j=1;
for ec=limite3:0.0001:limite3
    ec;
    while equi > 5

        for i=1:aux1(1,1)
            if coor(i,2)<=c
                es(i,1)=(c-coor(i,2))*ec/c;
            else
                es(i,1)=(coor(i,2)-c)*ec/c*-1;
            end
        end
        es;
        for i=1:aux1(1,1)
            fs(i,1)=E*abs(es(i,1));
            if abs(fs(i,1))<=fy
                fs(i,1)=fs(i,1)*abs(es(i,1))/es(i,1);
            else
                fs(i,1)= fy*abs(es(i,1))/es(i,1);
            end
        end
        fs;
        a = 0.85*c;
        fcc = 0.85*fc*a*b;

        for i=1:aux1(1,1)
            ff(i,1)=coor(i,1)*fs(i,:);
        end
        ff;
        F_D = [ fcc 0
                Po  h/2

```

```

        ff coor(:,2)];
equi = abs(sum(ff)+fcc+Po);

brazos=0;
aux3=size (F_D);
for i=1:aux3(1,1)
    brazos(i,1) = c-F_D(i,2);
end
brazos;

M=0;
for i=1:aux3(1,1)
M(i,:)= F_D(i,1)*brazos(i,1);
end
M;

aux5 = sum(M);
u= ec/c;

c=c+0.001;
end
format long
balance(j,1) = equi;
equi=11;
cc(j,1)=c;
mom(j,1)=aux5/(1000*100);
curv(j,1)=u;
c;
% ec = ec+0.0001;
j= j+1;
resp3 = [curv*100 mom balance ec];
end
%% Para ec = limite4
% Solución
es=0;
fs=0;
aux1 = size(coor);
c=r+0.1;
cc =0;
equi = 11;
j=1;
for ec=limite4:0.0001:limite4
    ec;
    while equi > 5

        for i=1:aux1(1,1)
            if coor(i,2)<=c
                es(i,1)=(c-coor(i,2))*ec/c;
            else
                es(i,1)=(coor(i,2)-c)*ec/c*-1;
            end
        end
        es;
        for i=1:aux1(1,1)
            fs(i,1)=E*abs(es(i,1));
            if abs(fs(i,1))<=fy
                fs(i,1)=fs(i,1)*abs(es(i,1))/es(i,1);
            else
                fs(i,1)= fy*abs(es(i,1))/es(i,1);
            end
        end
        fs;
        a = 0.85*c;
        fcc = 0.85*fc*a*b;

        for i=1:aux1(1,1)
            ff(i,1)=coor(i,1)*fs(i,:);
        end
        ff;
        F_D = [ fcc 0
                Po h/2
                ff coor(:,2)];
        equi = abs(sum(ff)+fcc+Po);

        brazos=0;
        aux3=size (F_D);
        for i=1:aux3(1,1)
            brazos(i,1) = c-F_D(i,2);
        end
        brazos;

```

```

M=0;
for i=1:aux3(1,1)
M(i,:)= F_D(i,1)*brazos(i,1);
end
M;

aux5 = sum(M);
u= ec/c;

c=c+0.001;
end
format long
balance(j,1) = equi;
equi=11;
cc(j,1)=c;
mom(j,1)=aux5/(1000*100);
curv(j,1)=u;
c;
ec = ec+0.0001;
j= j+1;
resp4 = [curv*100 mom balance ec];
end
%% Para ec = limite5
% Solución
es=0;
fs=0;
aux1 = size(coor);
c=r+0.1;
cc =0;
equi = 11;
j=1;
for ec=limite5:0.0001:limite5
ec;
while equi > 5

for i=1:aux1(1,1)
if coor(i,2)<=c
es(i,1)=(c-coor(i,2))*ec/c;
else
es(i,1)=(coor(i,2)-c)*ec/c*-1;
end
end
es;
for i=1:aux1(1,1)
fs(i,1)=E*abs(es(i,1));
if abs(fs(i,1))<=fy
fs(i,1)=fs(i,1)*abs(es(i,1))/es(i,1);
else
fs(i,1)= fy*abs(es(i,1))/es(i,1);
end
end
fs;
a = 0.85*c;
fcc = 0.85*fc*a*b;

for i=1:aux1(1,1)
ff(i,1)=coor(i,1)*fs(i,:);
end
ff;
F_D = [ fcc 0
        Po h/2
        ff coor(:,2)];
equi = abs(sum(ff)+fcc+Po);

brazos=0;
aux3=size (F_D);
for i=1:aux3(1,1)
brazos(i,1) = c-F_D(i,2);
end
brazos;

M=0;
for i=1:aux3(1,1)
M(i,:)= F_D(i,1)*brazos(i,1);
end
M;

aux5 = sum(M);
u= ec/c;

```

```

        c=c+0.001;
    end
format long
balance(j,1) = equi;
equi=11;
cc(j,1)=c;
mom(j,1)=aux5/(1000*100);
curv(j,1)=u;
c;
% ec = ec+0.0001;
j= j+1;
resp5 = [curv*100 mom balance ec];
end
ceroz=[0 0 0 0];
%% Calculo del punto (Ma, fia)
I = (b/100)*(h/100)^3/12;
Ct = h/2*1/100;
Aa = h*b/100^2;
Fct = 0.1*fcu*10;
Ma = I/Ct*(Fct+ ((Po/1000)/Aa));
fia = Ma/(E*I);
ma = [fia Ma 0 0];

%% Calculo del Punto my,fiy Columnas
ey = 0.002;
eo = 0.0061;
eu = 0.002;
di = r;
d = h-r;
ax =size(coor);
Pt = coor(1,1)*4200/(b*d*fcu);
Ptt = coor(ax(1,1),1)*4200/(b*d*fcu);
alfy = ey/eo;
betas = di/d;
k = ((Pt+Ptt)^2*1/(4*alfy^2)+(Pt+betas*Ptt)*1/alfy)^0.5-(Pt+Ptt)*1/(2*alfy);
C2 = 1+0.45/(0.84+Pt);
no = (Po/1000)/(b/100*d/100*fcu*10);
fiy = (1.05+(C2-1.05)*no/0.03)*ey/((1+k)*d)*100;
if fiy*d-ey<= eu
    ecf =fiy*d-ey;
else
    ecf = eu;
end
n = 0.75/(1+fiy)*(ecf/eo);
fic = (1-betas)*ecf/ey-betas;
my = 0.5*fcu*10*b/100*(d/100)^2*((1+betas-n)*no+(2-n)*Pt+(n-2*betas)*fic*Ptt); % momento de
Fluencia para columnas
myy = [fiy my 0 0];

%% Calculo alternativo del punto Mu, fiu Columnas
% pw = cuantia de confinamiento de refuerzo transversal (%)
% tb = esfuerzo promedio de adherencia
% ts = rotación por corte
pw = 1.2;
Mu = (1.24-0.15*Pt-0.5*no)*my;
ts = 0.002/(L/d-0.5);
if Ptt==0
    C1 = 1.05;
else
    C1 = 1 + 1.19* Pt^(2.4);
end
C2 = 1+0.45/(0.84+2*Ptt-Pt);
eb = (C1+(C2-C1)*no/0.3)*fiy;
ep = 0.5*eb+0.5*(eb^2+ts^2)^0.5;
ductic=(ep/eo)^(0.218*pw-2.15)*exp(0.654*pw+0.38);
if ductic<1
    ductic = 1;
    fiu = ductic*fiy;
else
    fiu = ductic*fiy;
end
Muu = [fiu Mu 0 0];

%% Respuesta
Respu = [ceroz
        ma
        myy
        resp1

```

```

        resp3
        resp4
        resp5];

%% Bilinealización
aux7=size(Respu);
Ar1 = (Respu(2,2)-Respu(1,2))*(Respu(2,1)-Respu(1,1))/2;
Ar2 = (Respu(3,2)+Respu(2,2))*(Respu(3,1)-Respu(2,1))/2;
Ar3 = (Respu(4,2)+Respu(3,2))*(Respu(4,1)-Respu(3,1))/2;
Ar4 = (Respu(5,2)+Respu(4,2))*(Respu(5,1)-Respu(4,1))/2;
Ar5 = (Respu(6,2)+Respu(5,2))*(Respu(6,1)-Respu(5,1))/2;
Ar6 = (Respu(7,2)+Respu(6,2))*(Respu(7,1)-Respu(6,1))/2;
Arc = Ar1+Ar2+Ar3+Ar4+Ar5+Ar6; % area bajo la curva original
My = Respu(3,2)*.75;
cc1 = Respu(3,2)*.75;
Arb=100;
% uy = Respu(3,1)*.75;
uy = ((cc1-Ma)*(fiy-fia)/(my-Ma))+fia;
cc2 = uy;
par1=cc2;
par2=cc1;
while abs(Arc-Arb)/Arc>0.02
Arr1 = My*uy/2;
Arr2 = (Respu(aux7(1,1),2)+My)*(max(Respu(:,1))-uy)/2;
Arb = Arr1+Arr2;
uy = uy+ 0.1*uy;
My = uy*cc1/cc2;
end
Arb; % área bajo la curva bilineal
err = abs(Arc-Arb)/Arc % error relativo
Coorb = [0 0
          uy My
          max(Respu(:,1)) Respu(aux7(1,1),2)];
figure (1)
plot(Respu(:,1),Respu(:,2),'b',Coorb(:,1),Coorb(:,2),'r',par1,par2,'o','markersize',12,'LineWidth',1.5);title('MOMENTO CURVATURA');xlabel('CURVATURA m^-1');ylabel('MOMENTO ton-m'); grid on;legend('MOMENTO - CURVATURA (REAL)','MOMENTO - CURVATURA (IDEALIZACIÓN)')
%% Degradación de Inercia
Ig = (b/100)*(h/100)^3/12;
for i=2:aux7(1,1)
    Ie(i,:) = Respu(i,2)/Respu(i,1);
end
Ie;
for i=1:aux7
    Ic(i,:) =Ie(i, :)/(E*Ig);
end
Ic;
for i=1:aux7(1,1)-1
    Icr(i,:) = Ic(i+1,:);
end
Icr;
for i=1:aux7(1,1)-1
    R1(i,1) = Respu(i+1,2);
end
R1;
aux8 = size(Icr);
Icrr = [Icr
        Icr(aux8(1,1),1)];
R12 = [R1
        R1(aux8(1,1),1)] ;
aux9 =size(R12);

R2 = [0 Icrr(1,1)
       R12(:,1) Icrr
       R12(aux9(1,1),1)+5 Icrr(aux8(1,1),1)];
figure (2)
plot(R2(:,1),R2(:,2),'r','LineWidth',1.5);title('DEGRADACIÓN DE INERCIA Icr = Ie/Ig');xlabel('MOMENTO (Ton-m)');ylabel('Icr (%)'); grid on;

%% Puntos Notables Vigas
%% Calculo del Punto my,fiy Vigas
ey = 0.002;
eo = 0.0061;
eu = 0.002;
div = r;
dv = hv-r;
axv =size(coorv);
Ptv = coorv(1,1)*4200/(bv*dv*fcu);
Pttv = coorv(axv(1,1),1)*4200/(bv*dv*fcu);
alfyv = ey/eo;

```

```

betasv = div/dv;
kv = ((Ptv+Pttv)^2*1/(4*alfyv^2)+(Ptv+betasv*Pttv)*1/alfyv)^0.5-(Ptv+Pttv)*1/(2*alfyv);
C2v = 1+0.45/(0.84+Ptv);
nov = (Pov/1000)/(bv/100*dv/100*fcu*10);
fiyv = (1.05+(C2v-1.05)*nov/0.03)*ey/((1+kv)*dv)*100;
if fiyv*dv-ey<= eu
    ecfv =fiyv*dv-ey;
else
    ecfv = eu;
end
nv = 0.75/(1+fiyv)*(ecfv/eo);
ficv = (1-betasv)*ecfv/ey-betasv;
myv = 0.5*fcu*10*bv/100*(dv/100)^2*((1+betasv-nv)*nov+(2-nv)*Ptv+(nv-2*betasv)*ficv*Pttv); %
momento de Fluencia para columnas

%% Calculo alternativo del punto Mu, fiu Columnas
% pw = cuantía de confinamiento de refuerzo transversal (%)
% tb = esfuerzo promedio de adherencia
% ts = rotación por corte
pwv = 1.2;
Muv = (1.24-0.15*Ptv-0.5*nov)*myv;
tsv = 0.002/(Lv/dv-0.5);
if Pttv==0
    Clv = 1.05;
else
    Clv = 1 + 1.19* Ptv^(2.4);
end
C2v = 1+0.45/(0.84+2*Pttv-Ptv);
ebv = (Clv+(C2v-Clv)*nov/0.3)*fiyv;
epv = 0.5*ebv+0.5*(ebv^2+tsv^2)^0.5;
ducticv=(epv/eo)^(0.218*pwv-2.15)*exp(0.654*pwv+0.38);
if ducticv<1
    ducticv = 1;
    fiuv = ducticv*fiyv;
else
    fiuv = ducticv*fiyv;
end

display 'Parametros para Resortes Rotacionales de Rotulas Plasticas "COLUMNAS"'
Myc = my
Mcc = Mu
MccMyc = Mu/my
display 'Parametros para Resortes Rotacionales de Rotulas Plasticas "VIGAS"'
Myv = myv
Mcv = Muv
McvMyv = Muv/myv

```

Elaboración: Carlos Celi

4.2.2 PROCESO PARA OBTENER LA CURVA DE CAPACIDAD DE LA ESTRUCTURA BASADA EN EL MÉTODO SIMPLIFICADO

Se realiza un cálculo manual lineal (método de la rigidez), para obtener los desplazamientos en el tope de la estructura, usando el modelo de péndulo invertido antes mencionado sometido a cargas transversales, con incrementos de carga de 0.50 t, obteniendo una curva de capacidad lineal.

Se observan las acciones (momentos) correspondientes a cada ciclo de carga, y se los correlaciona con la FIGURA 4.6, la cual presenta la degradación de la inercia en función del momento aplicado; tomando en consideración que este diagrama es de una sola columna, deberá tomarse en cuenta las 4 restantes que hay por cada piso; de manera de realizar un cálculo interactivo, agrietando cada

vez más las secciones en función del momento resultante. Una vez realizadas las interacciones, se obtiene una curva de capacidad en función del incremento de las fuerzas laterales, que se obtuvieron de la superposición modal del primero y segundo modo de vibración de la estructura.

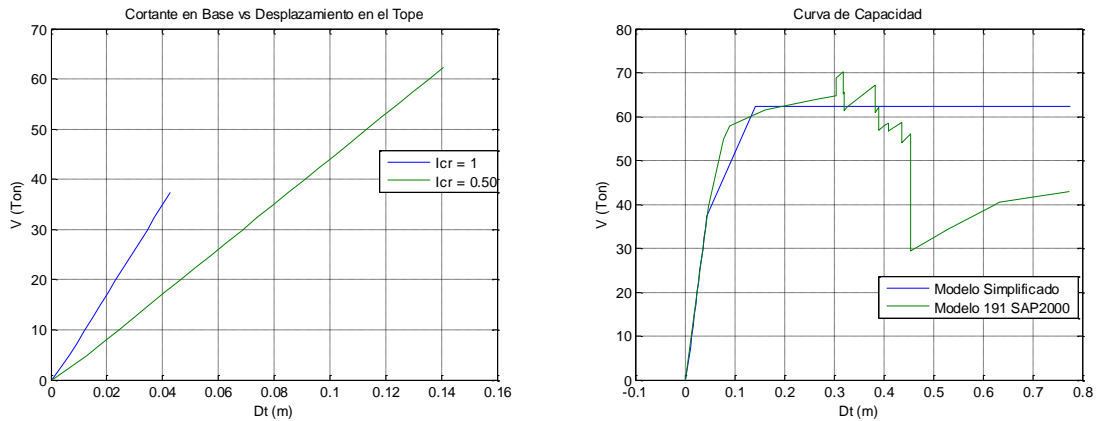
Cabe recalcar que para la presente investigación se realizaron solo 2 puntos de cálculo, el primero cuando la estructura aún posee un comportamiento perfectamente lineal, es decir cuando su $I_{cr} = 1$, puesto que no existe agrietamiento alguno de la sección y por ende su rigidez es completa y cuando $I_{cr} = 0.50$ es decir cuando se tiene un 50 % de agrietamiento de la sección, donde como se sabe el comportamiento ya no es lineal. Al conocer el momento que genera este agrietamiento en la sección a partir de curva I_{cr} , podemos determinar el desplazamiento de la estructura cuando se alcanza dicho agrietamiento, a través del uso del método de la rigidez; de esta manera se determina que la estructura simplificada, empieza a incursionar en el rango no – lineal después de alcanzar un desplazamiento en el tope de la estructura de 4.27 cm; es decir, que el momento aplicado en las columnas del primer piso, empiezan a degradar la rigidez de la sección una vez se alcanzó dicho desplazamiento.

Para cuando las columnas del primer piso alcanzan un $I_{cr} = 0.50$ %, debido al momento aplicado, calculado en base al método de la rigidez, la estructura alcanza un desplazamiento de 14.08 cm; se podría seguir el proceso de cálculo para más I_{cr} , pero ya que se trata de una simplificación del proceso, se optó que a partir de dicho desplazamiento, considerar que la estructura ya no será capaz de resistir más acciones, y solo gira hasta que se alcance el desplazamiento de control descrito en la referencia [3]; siendo esta consideración bastante conservadora.

En la FIGURA 4.9, se muestra la rigidez secante para un $I_{cr} = 1.0$ y 0.50 , basado en el proceso antes mencionado; además a partir de la unión de los puntos notables (secantes para $I_{cr} = 1$ y $I_{cr} = 0.50$) se obtiene la curva de capacidad representativa del modelo simplificado (péndulo invertido). Se comparó esta curva de capacidad, con la curva obtenida empleando el modelo completo (ANEXOS 1

Y 2), descrito en capítulos anteriores usando el programa comercial SAP2000 [11]; se observa que existe coherencia entre ambos métodos.

FIGURA 4.9: Curva de Capacidad, modelo simplificado



Elaboración: Carlos Celi

En la FIGURA 4.10, presenta la programación realizada para obtener la curva de capacidad basada en el proceso antes descrito.

FIGURA 4.10: Rutina (pendulo_degradacion), obtiene la curva de capacidad simplificada.

```

%% Calcula La Curva de Capacidad
%% Método Simplificado, por degradación de Inercia
display('Autor: Ing. Carlos Andrés Celi')
display('Análisis paramétrico de la fiabilidad de un modelamiento sísmico en el rango no lineal,
en función del tipo de modelamiento empleado ')
clc
clear
%% Datos
Ht = 15.50;
factor = 2.55;
b1 = factor*0.55; h1 = factor*0.55;
b2 = factor*0.45; h2 = factor*0.45;
fc = 210; miu = 0.2;
E = 120000*fc^0.5; G = E/2/(1+miu);
L1 = 3.10;L2 = 3.10;L3 = 3.10;L4 = 3.10;L5 = 3.10;
alfa1=90;alfa2=90;alfa3=90;alfa4=90;alfa5=90;
A1 = b1*h1;
Ac1 = A1/1.2;
A2 = b2*h2;
Ac2 = A2/1.2;
Iz1 = b1*(h1)^3/12;
Iz2 = b2*(h2)^3/12;
CG = [4 4 2];
ngdl = 15;
ngdlt = 18;
delta = zeros(ngdlt,1);
%% Degradación de Rigidez de Columna Tipo (Rutina Momento Curvatura)
degr= [
0 1.0000000000000000
5*9.985708333333337 1.0000000000000000
5*20.107428510726262 0.284677497697121
5*25.129911386539824 0.104969552674325
5*25.129911386539824 0.104969552674325
5*25.129911386539824 0.104969552674325
5*25.129911386539824 0.104969552674325
5*25.450151572301056 0.081958163797184
5*25.450151572301056 0.081958163797184
5*30.450151572301056 0.081958163797184];
%% Rigideces en coordenadas reducidas de los elementos

```



```

[k1] = R_MP(A1,Ac1,Iz1,CG,L1,E,G); %Rigidez del elemento 1, en coordenadas reducidas %
[k2] = R_MP(A1,Ac1,Iz1,CG,L2,E,G); %Rigidez del elemento 2, en coordenadas reducidas %
[k3] = R_MP(A1,Ac1,Iz1,CG,L3,E,G); %Rigidez del elemento 3, en coordenadas reducidas %
[k4] = R_MP(A2,Ac2,Iz2,CG,L4,E,G); %Rigidez del elemento 4, en coordenadas reducidas %
[k5] = R_MP(A2,Ac2,Iz2,CG,L5,E,G); %Rigidez del elemento 5, en coordenadas reducidas %
% hy = 200;
% k1 = hy/1*k1;
% k2 = hy/1*k2;
% k3 = hy/1*k3;
% k4 = hy/1*k4;
% k5 = hy/1*k5;
na=1;
Kaa=k1(1:na,1:na);Kab=k1(1:na,na+1:3);Kba=Kab';Kbb=k1(na+1:3,na+1:3);
klat=Kaa-Kab*inv(Kbb)*Kba;
%% Matrices de Transformación
%obtiene las matrices de transformación para pasar de coordenadas reducidas a
%coordenas de nudo, para este ejemplo la matriz Ta y h que sirven para
%pasar las acciones de resultantes de cargas en los elementos(aep), es la
%misma para todos los elementos, debido a que no existen cargas aplicadas
%sobre los miembros, por tanto no existen acciones de empotramiento
%perfecto
[T1,Ta,h] = MP_TTah(L1,alfa1,0,0,[0 0 0 0]);
[T2,Ta,h] = MP_TTah(L2,alfa2,0,0,[0 0 0 0]);
[T3,Ta,h] = MP_TTah(L3,alfa3,0,0,[0 0 0 0]);
[T4,Ta,h] = MP_TTah(L4,alfa4,0,0,[0 0 0 0]);
[T5,Ta,h] = MP_TTah(L5,alfa5,0,0,[0 0 0 0]);

%% Matrices de Rigides de cada elemento en coordenadas de Nudo = T*k*T'
K1=T1*k1*T1'; %matriz de rigidez del elemento 1 en coordenadas de nudo
K2=T2*k2*T2'; %matriz de rigidez del elemento 2 en coordenadas de nudo
K3=T3*k3*T3'; %matriz de rigidez del elemento 3 en coordenadas de nudo
K4=T4*k4*T4'; %matriz de rigidez del elemento 4 en coordenadas de nudo
K5=T5*k5*T5'; %matriz de rigidez del elemento 5 en coordenadas de nudo
%% Condensación estática de la matriz de rigidez del sistema
lee1 = [16 17 18 5 10 15]; % Vector de ensamble elemento 1 %
lee2 = [5 10 15 4 9 14]; % Vector de ensamble elemento 2 %
lee3 = [4 9 14 1 6 11]; % Vector de ensamble elemento 3 %
lee4 = [1 6 11 2 7 12]; % Vector de ensamble elemento 4 %
lee5 = [2 7 12 3 8 13]; % Vector de ensamble elemento 5 %
S=zeros(ngdl); % matriz de rigidez de la estructura 'en los grados de
libertad'%
B=zeros(ngdlt,1); % B Vector de cargas y de desplazamientos en los apoyos %
[S,B] = Ens2(lee1,K1,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee2,K2,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee3,K3,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee4,K4,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee5,K5,ngdl,S,B);
na=1;
Kaa=S(1:na,1:na);Kab=S(1:na,na+1:ngdl);Kba=Kab';Kbb=S(na+1:ngdl,na+1:ngdl);
Klat=Kaa-Kab*inv(Kbb)*Kba;
%% Vectores de Ensamble de Elementos
% muestra la direccion de los posibles desplazamientos de cada miembro en
% direccion de los grados de libertad antes numerados
lee1 = [16 17 18 1 6 11]; % Vector de ensamble elemento 1 %
lee2 = [1 6 11 2 7 12]; % Vector de ensamble elemento 2 %
lee3 = [2 7 12 3 8 13]; % Vector de ensamble elemento 3 %
lee4 = [3 8 13 4 9 14]; % Vector de ensamble elemento 4 %
lee5 = [4 9 14 5 10 15]; % Vector de ensamble elemento 5 %
%% Ensamblaje de la matriz S
S=zeros(ngdl); % matriz de rigidez de la estructura 'en los grados de
libertad'%
B=zeros(ngdlt,1); % B Vector de cargas y de desplazamientos en los apoyos %
[S,B] = Ens2(lee1,K1,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee2,K2,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee3,K3,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee4,K4,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee5,K5,ngdl,S,B);
cont =1;
i= 0.5;
medi = 0;
%% Interactivo
while medi<=36;
%% vector de cargas
% vector B en nivel +9.30m
B(1)=i;B(2)=i+0.377;B(3)=i+0.53;B(4)=i+0.72;B(5)=i+0.743; %Asignacion de las cargas aplicadas
en dirección de los grados de libertad
%% Vector de desplazamiento %
delta = S\B(1:ngdl); %vector de desplazamiento en los grados de libertad %
%% Acciones finales en los Elementos
delta(ngdlt)=0; % completa el vector delta en coordenadas de nudo %

```

```

D1 = delta(lee1);D2 = delta(lee2);D3 = delta(lee3);D4 = delta(lee4);D5 = delta(lee5);
[D1 D2 D3 D4 D5]; % desplazamiento de los elementos en coordenadas de nudo %
d1 = T1'*D1; d2 = T2'*D2; d3 = T3'*D3; d4 = T4'*D4; d5 = T5'*D5;
a1=k1*d1; a2=k2*d2; a3=k3*d3; a4=k4*d4; a5=k5*d5;
acciones = [a1 a2 a3 a4 a5]; % vector de acciones en los elementos %
%% Acciones en coordenadas de Nudo
A1=T1*a1; A2=T2*a2; A3=T3*a3; A4=T4*a4; A5=T5*a5;
acciones_nudo= [A1 A2 A3 A4 A5];
format long
vector(cont,:) = [i,delta(5),A1(4), (A1(4)-A2(4)), medi];
cont=cont+1;
i = i+0.5;
medi = A1(4);
%% Momento Promedio
% Mom = [(A1(3)+A1(6))/2*1/5
% (A2(3)+A2(6))/2*1/5
% (A3(3)+A3(6))/2*1/5
% (A4(3)+A4(6))/2*1/5
% (A5(3)+A5(6))/2*1/5]
%% Momento Cabeza de Columna
Mom1= [A1(6)*1/5
A2(6)*1/5
A3(6)*1/5
A4(6)*1/5
A5(6)*1/5];
end
vector;
Parte_Lineal = [0 0
vector(:,2) vector(:,3)];
figure (1)
plot (degr(:,1),degr(:,2))
figure (2)
plot (Parte_Lineal(:,1),Parte_Lineal(:,2)); grid on;

%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Punto de Curva para agrietamiento 0.5 Ie
agr50 =(degr(3,1)-(0.5-degr(3,2))*(degr(3,1)-degr(2,1))/(degr(2,2)-degr(3,2))); % interpolación
%% Datos
factor = 2.55;
b1 = factor*0.55; h1 = factor*0.55;
b2 = factor*0.45; h2 = factor*0.45;
fc = 210; miu = 0.2;
E = 120000*fc^0.5; G = E/2/(1+miu);
L1 = 3.10;L2 = 3.10;L3 = 3.10;L4 = 3.10;L5 = 3.10;
alfa1=90;alfa2=90;alfa3=90;alfa4=90;alfa5=90;
A1 = b1*h1;
Ac1 = A1/1.2;
A2 = b2*h2;
Ac2 = A2/1.2;
Iz1 = 0.5*b1*(h1)^3/12;
Iz2 = 0.5*b2*(h2)^3/12;
CG = [4 4 2];
ngdl = 15;
ngdlt = 18;
delta = zeros(ngdlt,1);
%% Rigideces en coordenadas reducidas de los elementos
[k1] = R_MP(A1,Ac1,Iz1,CG,L1,E,G); %Rigidez del elemento 1, en coordenadas reducidas %
[k2] = R_MP(A1,Ac1,Iz1,CG,L2,E,G); %Rigidez del elemento 2, en coordenadas reducidas %
[k3] = R_MP(A1,Ac1,Iz1,CG,L3,E,G); %Rigidez del elemento 3, en coordenadas reducidas %
[k4] = R_MP(A2,Ac2,Iz2,CG,L4,E,G); %Rigidez del elemento 4, en coordenadas reducidas %
[k5] = R_MP(A2,Ac2,Iz2,CG,L5,E,G); %Rigidez del elemento 5, en coordenadas reducidas %
% hy = 200;
% k1 = hy/1*k1;
% k2 = hy/1*k2;
% k3 = hy/1*k3;
% k4 = hy/1*k4;
% k5 = hy/1*k5;
%% Condensación Estática.
na=1;
Kaa=k1(1:na,1:na);Kab=k1(1:na,na+1:3);Kba=Kab';Kbb=k1(na+1:3,na+1:3);
klat=Kaa-Kab*inv(Kbb)*Kba;
%% Matrices de Transformación
%obtiene las matrices de transformación para pasar de coordenadas reducidas a
%coordenadas de nudo, para este ejemplo la matriz Ta y h que sirven para
%pasar las acciones de resultantes de cargas en los elementos(aep), es la
%misma para todos los elementos, debido a que no existen cargas aplicadas
%sobre los miembros, por tanto no existen acciones de empotramiento
%perfecto
[T1,Ta,h] = MP TTah(L1,alfa1,0,0,[0 0 0 0]);

```

```

[T2,Ta,h] = MP_TTah(L2,alfa2,0,0,[0 0 0 0]);
[T3,Ta,h] = MP_TTah(L3,alfa3,0,0,[0 0 0 0]);
[T4,Ta,h] = MP_TTah(L4,alfa4,0,0,[0 0 0 0]);
[T5,Ta,h] = MP_TTah(L5,alfa5,0,0,[0 0 0 0]);

%% Matrices de Rigides de cada elemento en coordenadas de Nudo = T*k*T'
K1=T1*k1*T1'; %matriz de rigidez del elemento 1 en coordenadas de nudo
K2=T2*k2*T2'; %matriz de rigidez del elemento 2 en coordenadas de nudo
K3=T3*k3*T3'; %matriz de rigidez del elemento 3 en coordenadas de nudo
K4=T4*k4*T4'; %matriz de rigidez del elemento 4 en coordenadas de nudo
K5=T5*k5*T5'; %matriz de rigidez del elemento 5 en coordenadas de nudo
%% Condensación estática de la matriz de rigidez del sistema
lee1 = [16 17 18 5 10 15]; % Vector de ensamble elemento 1 %
lee2 = [5 10 15 4 9 14]; % Vector de ensamble elemento 2 %
lee3 = [4 9 14 1 6 11]; % Vector de ensamble elemento 3 %
lee4 = [1 6 11 2 7 12]; % Vector de ensamble elemento 4 %
lee5 = [2 7 12 3 8 13]; % Vector de ensamble elemento 5 %
S=zeros(ngdl); % matriz de rigidez de la estructura 'en los grados de
libertad'%
B=zeros(ngdlt,1); % B Vector de cargas y de desplazamientos en los apoyos %
[S,B] = Ens2(lee1,K1,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee2,K2,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee3,K3,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee4,K4,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee5,K5,ngdl,S,B);
na=1;
Kaa=S(1:na,1:na);Kab=S(1:na,na+1:ngdl);Kba=Kab';Kbb=S(na+1:ngdl,na+1:ngdl);
Klat=Kaa-Kab*inv(Kbb)*Kba;
%% Vectores de Ensamble de Elementos
% muestra la direccion de los posibles desplazamientos de cada miembro en
% direccion de los grados de libertad antes numerados
lee1 = [16 17 18 1 6 11]; % Vector de ensamble elemento 1 %
lee2 = [1 6 11 2 7 12]; % Vector de ensamble elemento 2 %
lee3 = [2 7 12 3 8 13]; % Vector de ensamble elemento 3 %
lee4 = [3 8 13 4 9 14]; % Vector de ensamble elemento 4 %
lee5 = [4 9 14 5 10 15]; % Vector de ensamble elemento 5 %
%% Ensamblaje de la matriz S
S=zeros(ngdl); % matriz de rigidez de la estructura 'en los grados de
libertad'%
B=zeros(ngdlt,1); % B Vector de cargas y de desplazamientos en los apoyos %
[S,B] = Ens2(lee1,K1,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee2,K2,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee3,K3,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee4,K4,ngdl,S,B);
[S,B] = Ens2(lee5,K5,ngdl,S,B);
cont =1;
i= 0.5;
medi = 0;
%% Interactivo
while medi<=62;
%% vector de cargas
% vector B en nivel +9.30m
B(1)=i;B(2)=i+0.377;B(3)=i+0.53;B(4)=i+0.72;B(5)=i+0.743; %Asignacion de las cargas aplicadas
en dirección de los grados de libertad
%% Vector de desplazamiento %
delta = S\B(1:ngdl); %vector de desplazamiento en los grados de libertad %

%% Acciones finales en los Elementos
delta(ngdlt)=0; % completa el vector delta en coordenadas de nudo %
D1 = delta(lee1);D2 = delta(lee2);D3 = delta(lee3);D4 = delta(lee4);D5 = delta(lee5);
[D1 D2 D3 D4 D5]; % desplazamiento de los elementos en coordenadas de nudo %
d1 = T1'*D1; d2 = T2'*D2; d3 = T3'*D3; d4 = T4'*D4; d5 = T5'*D5;
a1=k1*d1; a2=k2*d2; a3=k3*d3; a4=k4*d4; a5=k5*d5;
acciones = [a1 a2 a3 a4 a5]; % vector de acciones en los elementos %

%% Acciones en coordenadas de Nudo
A1=T1*a1; A2=T2*a2; A3=T3*a3; A4=T4*a4; A5=T5*a5;
acciones_nudo= [A1 A2 A3 A4 A5];
format long
vector2(cont,:) = [i,delta(5),A1(4), (A1(4)-A2(4)), medi];
cont=cont+1;
i = i+0.5;
medi = A1(4);
%% Momento Promedio
% Mom = [(A1(3)+A1(6))/2*1/5
% (A2(3)+A2(6))/2*1/5
% (A3(3)+A3(6))/2*1/5
% (A4(3)+A4(6))/2*1/5
% (A5(3)+A5(6))/2*1/5]
%% Momento Cabeza de Columna

```

```

Mom2= [A1(6)*1/5
        A2(6)*1/5
        A3(6)*1/5
        A4(6)*1/5
        A5(6)*1/5];
end
aux3 = size(Parte_Lineal);

vector;
% Parte_agr50 = [Parte_Lineal(aux3(1,1),1)           Parte_Lineal(aux3(1,1),2)
%               (Parte_Lineal(aux3(1,1),1)+ vector(:,2))
(Parte_Lineal(aux3(1,1),2)+vector(:,3))];
Parte_agr50 = [0
               0
               (vector2(:,2)) (vector2(:,3))];

figure (3)
plot (Parte_agr50(:,1),Parte_agr50(:,2)); grid on;

%% Comparación entre Curvas de Capacidad
aux1 =size(Parte_agr50);
dmax= 0.05*Ht;
Parte_agrfin = [dmax,Parte_agr50(aux1(1,1),2)];
Completo = [Parte_Lineal
            Parte_agr50(aux1(1,1),:)
            Parte_agrfin]
Curva_CApacidad_191 = [ -0.0001810000000000    0
0.0449470000000000    39.45949999999999998
0.0761170000000000    54.80140000000000001
0.0879000000000000    57.84620000000000003
0.0886870000000000    57.95140000000000000
0.1606460000000000    61.57189999999999999
0.2635640000000000    63.86359999999999998
0.3035440000000000    64.70279999999999996
0.3035520000000000    68.83289999999999995
0.3172010000000000    70.16670000000000006
0.3172090000000000    65.21229999999999999
0.3198870000000000    65.57980000000000006
0.3198950000000000    61.24810000000000001
0.3254720000000000    62.16239999999999998
0.3822630000000000    67.09929999999999999
0.3822710000000000    65.68940000000000006
0.3822790000000000    60.97910000000000003
0.3902330000000000    62.04670000000000001
0.3902400000000000    56.77530000000000001
0.4016770000000000    58.00450000000000000
0.4090410000000000    58.49719999999999999
0.4090490000000000    56.67369999999999997
0.4106440000000000    56.90809999999999997
0.4364520000000000    58.70519999999999998
0.4364590000000000    54.11140000000000003
0.4496900000000000    55.74260000000000003
0.4536640000000000    56.01310000000000001
0.4536720000000000    29.37859999999999999
0.5311720000000000    34.39529999999999999
0.6196300000000000    39.77239999999999998
0.6318690000000000    40.43820000000000002
0.7748190000000000    42.89330000000000004];
load M1.txt;
figure (4)
plot
(Completo(:,1),Completo(:,2),Curva_CApacidad_191(:,1),Curva_CApacidad_191(:,2),M1(:,1),M1(:,2));
grid on;
title('Curva de Capacidad');xlabel('Dt (m)');ylabel('V (Ton)'); grid on;
legend ('Modelo Simplificado','Modelo 191 SAP2000','Modelo ASPD')

figure (5)
plot (Parte_Lineal(:,1),Parte_Lineal(:,2),Parte_agr50(:,1),Parte_agr50(:,2)); grid on;
title('Cortante en Base vs Desplazamiento en el Tope');xlabel('Dt (m)');ylabel('V (Ton)'); grid
on;
legend ('Icr = 1','Icr = 0.50')

figure (6)
plot (Completo(:,1),Completo(:,2),Curva_CApacidad_191(:,1),Curva_CApacidad_191(:,2)); grid on;
title('Curva de Capacidad');xlabel('Dt (m)');ylabel('V (Ton)'); grid on;
legend ('Modelo Simplificado','Modelo 191 SAP2000')

```

Elaboración: Carlos Celi

4.3 MODELO SIMPLIFICADO EMPLEADO ASPD

Para simplificar el cálculo de la curva de capacidad, se realiza una bilinealización, para lo cual es mandatorio obtener la rigidez antes de la primera fluencia, y la rigidez post-fluencia. Para ello se establece una rigidez secante basada en los cálculos anteriores, para un desplazamiento de 10 cm, desplazamiento que está entre los 4.27 cm de elasticidad perfecta y los 14.08 cm correspondientes a un $I_{cr} = 0.50$; es decir para determinar la curva de capacidad basada en las formulas propuestas por ASPD [3], se calcula una rigidez inicial $k_e = 115 \text{ t}$ en base al numeral 4.2.2, y la rigidez post fluencia $k_p = 0.04 \cdot k_e$.

$k_e = 115 \text{ ton}$ (rigidez equivalente antes de la primera fluencia).

$k_p = 4.6 \text{ ton}$ (rigidez post-fluencia).

donde, **k_e** es la rigidez secante de un pórtico con origen en el centro de coordenadas de la curva de capacidad hasta la primera fluencia, y **k_p** es la pendiente entre la primera fluencia y el punto de colapso teórico de la curva de capacidad.

El colapso teórico se considera cuando el desplazamiento lateral en el tope es 5% de la altura del edificio, según ASPD [3]. Una vez establecidos K_e , K_p , y por tanto los desplazamientos correspondientes a ellos, se calcula la curva de capacidad bilinealizada según las ecuaciones presentes en ASPD [3], a partir de las matrices de compatibilidad, el vector de cargas, el cortante basal, entre otros parámetros propios de la estructura.

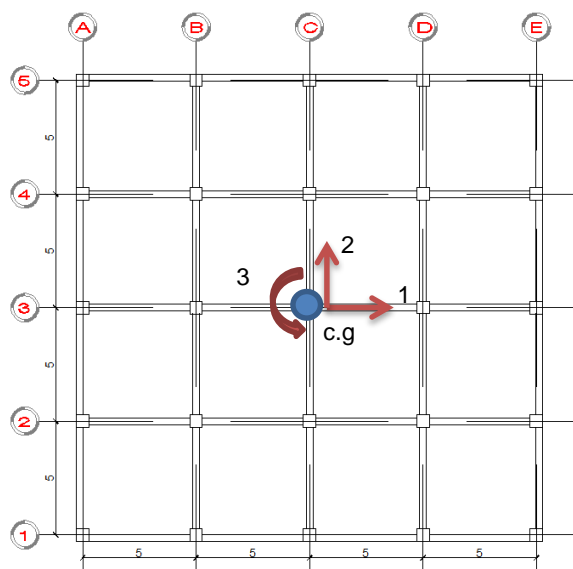
Se concentra la masa en el último piso de la estructura y se consideran 3 grados de libertad por planta; no obstante cuando se realice el cálculo del espectro de capacidad (conversión de la curva de capacidad a espectro) se necesitará de las masas concertadas por piso.

Los 3 grados de libertad se ubicarán en el centro de gravedad de la planta; para obtener la matriz de rigidez de dicha planta se establecen los valores de α (ángulo que forma la orientación positiva con el eje X) y r (distancia normal que existe

entre el pórtico y el cg de la planta, será positivo si la orientación positiva del pórtico rota con relación a cg en forma anti horaria) ASPD [3].

En la FIGURA 4.11 se muestran los grados de libertad por planta, para la estructura de esta investigación.

FIGURA 4.11: Grados de libertad por planta



Elaboración: Carlos Celi

En la TABLA 4.1, se muestran los valores de α y r , de cada pórtico respecto de c.g.

TABLA 4.1: Datos de entrada y parámetros resultados (hormigón no confinado)

Pórtico	α	r
1	0	-10
2	0	-5
3	0	0
4	0	5
5	0	10
A	90	-10
B	90	-5
C	90	0
D	90	5
E	90	10

Elaboración: Carlos Celi

Usando las ecuaciones propuestas en ASPD[3], se obtiene la curva de capacidad resistente de la nueva estructura simplificada.

$$A^i = [\text{Cos } \alpha \quad \text{Sen } \alpha \quad r] \quad (4.33)$$

donde:

A^i = Vector de compatibilidad para cada pórtico

$$K = \sum_{i=1}^n A^{(i)t} * k^{(i)} * A^{(i)} \quad (4.34)$$

donde:

k = rigidez de cada pórtico

A^i = Vector de compatibilidad para cada pórtico

n = número total de pórticos

K = Matriz de rigidez del sistema

$$q = KE^{-1} * Q \quad (4.35)$$

donde:

q = vector de desplazamientos

Q = vector de cargas incrementales

K = Matriz de rigidez del sistema

Basada en las ecuaciones propuestas se realiza una rutina en Matlab[14] (FIGURA 4.12) que calcula la curva de capacidad de la nueva estructura simplificada, la rutina lleva el nombre de (Copy_of_curva_capacidad).

FIGURA 4.12: Rutina (Copy_of_curva_capacidad), obtiene la curva de capacidad simplificada.

```

clc
clear
%% Calula el diagrama de Curva de Capacidad para masa concentrada en el
%% ultimo nivel de la estructura con 3 gdl%
display('Autor: Ing. Carlos Andres Celi')
display('Análisis paramétrico de la fiabilidad de un modelamiento sísmico en el rango no lineal,
en función del tipo de modelamiento empleado ')
clc
clear
% Q = vector de cargas
% KE = matriz de rigidez en coordenadas de piso
% p = desplazamientos laterales de cada piso
% ki = matriz de rigidez de cada portico
% Ai = matriz de compatibilidad de cada portico

% datos %
altura = 15.50; % altura total de la edificación
ke = 115; % rigidez equivalente
kp = 0.04*ke; % rigidez post fluencia
Vy = 192.11; % cortante basal
% ducty=input('\ductilidad:'); % ductilidad asumida
dy = .1; % desplazamiento de fluencia
% dy = 0.05*altura/ducty; % desplazamiento de fluencia
load alfa_r; % matriz de valores de angulos alfa y distancias r, de cada portico al centro de
masas

```

```

MTi = [31 31 30 29 21]; % Vector de masas por piso (ton*s^2*m^-1)
a = 12; % dimension del piso "x" en (m)
b = 12; % dimension del piso "y" en (m)

%-----%
%% Calculo de Matriz de Compatibilidad de cada portico en el rango lineal %
bi=size(alfa_r);
KEi=0;
for i=1:1:bi(1,1)
    Ai=[cos(pi()*alfa_r(i,1)/180) sin(pi()*alfa_r(i,1)/180) alfa_r(i,2)];
    KEi= KEi + (Ai'*ke*Ai);
end
KE = KEi;

aux1=KE*[dy
         0
         0];
V_f=aux1(1,1); %cortante de fluencia

Q = zeros(3,1); % vector de cargas incrementales
q = zeros(3,1); % vector de desplazamientos
l=1; % contador auxiliar
for i=0:0.1:V_f
    Q(1,1)= i;
    q=KE^-1*Q;
    vector(1,:)=[q(1,1) Q(1,1)];
    l=l+1;
end
vector;
jk=size(vector);

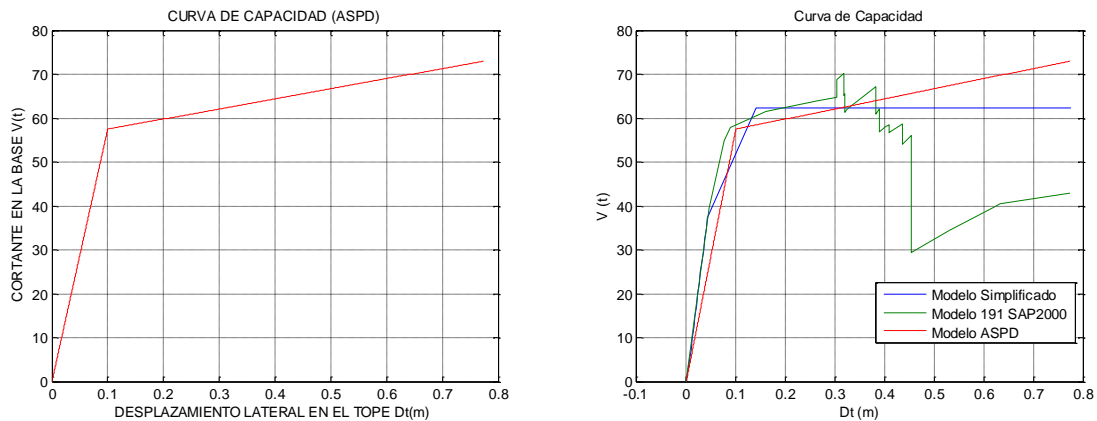
%% Calculo de Matriz de Compatibilidad de cada portico en el rango No-lineal %
dmax= 0.05*altura; %desplazamiento maximo antes del colapso
KEpi=0;
for i=1:1:bi(1,1)
    Ai=[cos(pi()*alfa_r(i,1)/180) sin(pi()*alfa_r(i,1)/180) alfa_r(i,2)];
    KEpi= KEpi + (Ai'*kp*Ai);
end
KEp = KEpi;

aux2=KEp*[dmax-dy
         0
         0];
V_c=aux2(1,1); %cortante de colapso
Q = zeros(3,1); % vector de cargas incrementales
q = zeros(3,1); % vector de desplazamientos
m=1;
for i=0:0.1:V_c
    Q(1,1)= i;
    q=KEp^-1*Q;
    resto(m,:)=[q(1,1) Q(1,1)];
    m=m+1;
end
hg =size(resto);
for i =1:hg(1,1)
    resto(i,1)= resto(i,1)+vector(jk(1,1),1);
    resto(i,2)= resto(i,2)+vector(jk(1,1),2);
end
resto;
total = [vector
        resto];
figure(1)
plot(total(:,1),total(:,2),'r');title('CURVA DE CAPACIDAD (ASPD)');xlabel('DESPLAZAMIENTO LATERAL EN EL TOPE Dt(m)');ylabel('CORTANTE EN LA BASE V(t)','LineWidth',3); grid on;

```

Elaboración: Carlos Celi

En la FIGURA 4.13 se muestra la curva de capacidad obtenida por medio de las ecuaciones de ASPD[3] y también la comparación entre dicha curva vs las curvas obtenidas con SAP2000[11] y la obtenida con el método simplificado del literal 4.2.2.

FIGURA 4.13: Curva de Capacidad, modelo simplificado ASPD

Elaboración: Carlos Celi

4.4 ESPECTRO DE CAPACIDAD

La obtención del espectro de capacidad, es el paso previo a la obtención del punto de desempeño de una estructura; el espectro de capacidad es la curva de capacidad de la estructura ante una carga lateral, con la diferencia que las unidades de ordenadas y abscisas es distinta a la curva original, es decir el espectro de capacidad es la curva de capacidad en unidades de pseudo aceleración y pseudo desplazamiento.

Referencias como ATC40 [4] y ASPD [3], presentan ecuaciones para la conversión de unidades de la curva de capacidad a espectro de capacidad, revisada ambas referencias se observó que las ecuaciones propuestas son de estructura similar, por lo que se optó por emplear las ecuaciones propuestas en ASPD [3].

Consideraciones como, concentrar la masa de la estructura en el último piso, son aplicables a la obtención del espectro de capacidad. Tomando en consideración que se posee 3 grados de libertad por planta; además se realiza la normalización de los desplazamientos J , con base en la unidad en el sentido 1 (FIGURA 4.11).

Es decir, J es un vector en función del cual se escribe el vector de cargas generalizadas, por ende para el análisis sísmico en el plano J se obtendrá un vector unitario, pero para un análisis sísmico espacial, el vector J dependerá del

modelo numérico; puesto que el análisis de esta investigación es un pórtico 2D, donde el vector J se lo escribe de la siguiente manera:

$$J = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

De la misma forma, se normalizan los modos de vibración de la estructura a la unidad y ya que la estructura es 2D los modos de vibración en los grados de libertad 2 y 3 son cero, además de que la estructura está concentrada en masa en el último piso; la normalización es de la siguiente manera:

$$\phi = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Lógicamente si se consideran las masas distribuidas por piso y los demás grados de libertad por plana, el vector ϕ será de mayor complejidad y además se deberá normalizar la matriz resultante ϕ ; de darse este caso, que normalmente sucede en el análisis de una estructura tridimensional, se obtendrían tantos espectros de capacidad como modos de vibración posea la estructura.

Una vez obtenido el vector dominante ϕ , para obtener el espectro de capacidad a partir de la curva de capacidad de la estructura, en la referencia [3] se proponen las siguientes ecuaciones para cuando la masa efectiva alcanza más del 90 % de participación de la masa entre el primer y segundo modo de vibración.

$$m_1 = \phi^t * M * \phi \quad (4.36)$$

$$\gamma_1 = \frac{\phi^t * M * J}{m_1} \quad (4.37)$$

$$\alpha_1 = \frac{(\phi^t * M * J)^2}{M_T * m_1} \quad (4.38)$$

$$Sd_j = \frac{Dt_j}{\gamma_1} \quad (4.39)$$

$$Sa_j = \frac{V_j}{\alpha_1 * M_T} \quad (4.40)$$

donde:

m_1 = masa de la estructura según la participación del modo de vibración normalizado.

γ_1 = Factor de participación dinámica.

α_1 = Factor de participación en el cortante basal.

Sd_j = Desplazamiento espectral.

Sa_j = Aceleración espectral

M = Matriz de masas concentradas en el los 3 gdl del piso escogido.

M_T = Sumatoria de masas de todos los pisos.

V_j = Cortante basal de cada punto notable de la curva de capacidad.

Dt_j = Desplazamiento de cada punto notable de la curva de capacidad.

Como se observa, las ecuaciones 4.39 y 4.40 definen Sa y Sd , parámetros que se emplean para calcular cada uno de los puntos notables de la curva de capacidad previamente definida. Tomando en consideración los subíndices j , donde j es cada punto de la curva de capacidad.

4.5 PUNTO DE DESEMPEÑO Ó PUNTO DE DEMANDA

El punto de desempeño o punto de demanda, se presenta cuando la capacidad de ductilidad alcanza la demanda de ductilidad ante la sollicitación sísmica esperada, clasificando su posición mediante niveles de desempeño; en otras palabras el punto de desempeño se produce cuando un punto del desplazamiento lateral máximo del sistema de un grado de libertad de la estructura analizada, posea una demanda de ductilidad de la acción sísmica igual a la demanda de ductilidad de la estructura.

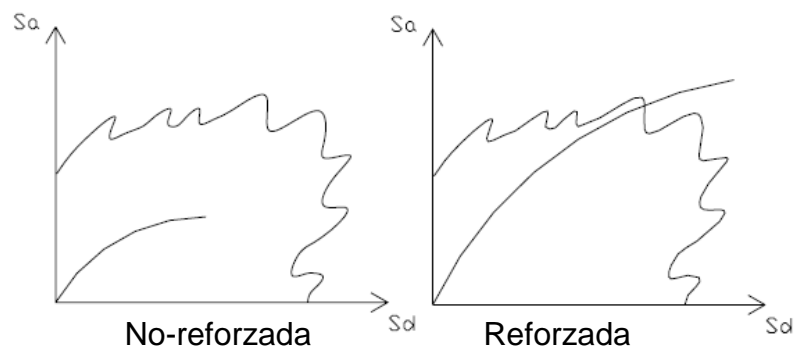
Cabe recalcar que el punto de desempeño es la representación gráfica de la intersección del espectro de demanda y espectro de capacidad; es decir es una representación exclusiva del **Método del Espectro de Capacidad**, actualmente vigente en ATC40 [4], no obstante se describirán brevemente otros dos métodos para un análisis no-lineal basado en pushover.

- **Método del Sistema Lineal de Corte:** Este método se encuentra descrito en la referencia [3]; citando a dicha referencia, la base del método es el cálculo de la rigidez del piso mediante pushover, el análisis sísmico se realiza en el eje de corte y luego los resultados se pasan a la estructura original.
- **Método del Sistema Equivalente:** Este método se encuentra descrito en la referencia [16]; a partir de una estructura se determina un sistema de un grado de libertad en el cual se practica el pushover, luego los resultados se pasan a la estructura original.

4.5.1 MÉTODO DEL ESPECTRO DE CAPACIDAD

Este método fue propuesto por Freeman y Nicoletti [17] alrededor del año 1975, pero no tuvo la acogida esperada; en los años noventa cuerpos normativos como ATC 40 [4] retomaron esta investigación como base para determinar tres métodos para encontrar el punto de desempeño de una estructura, basándose en la curva de capacidad de la misma, el espectro inelástico al cual está sometido y a niveles de desempeño propuestos en normas como FEMA 273 [7] y FEMA 356 [6]; este método tiene una clara ventaja sobre los anteriores mencionados ya que en una sola gráfica se puede visualizar el comportamiento de la estructura ante un sismo dado, FIGURA 4.14.

FIGURA 4.14: Probable comportamiento de una estructura reforzada y no reforzada.



Fuente: ASPD, 2003

Modificado: Carlos Celi

En la FIGURA 4.14, se observa que no interceptan los espectros de demanda y el espectro de capacidad, para una estructura no reforzada; es decir no poseen un punto de desempeño, por ende la estructura no reforzada incursionara en rangos de desempeño peligrosos ante sollicitaciones de carga lateral pequeñas.

Un paso previo a la obtención del punto de desempeño, una vez calculado el espectro de capacidad como se detalló en el numeral 4.4, es la conversión de espectro inelástico de aceleración al espectro ADRS (Acceleration Displacement Response Spectra) por sus siglas en inglés; para ello cada punto de periodo del espectro inelástico de aceleración, le corresponderá un único punto de desplazamiento espectral, realizando esta transformación mediante la siguiente ecuación.

$$Sd_j = \frac{T_j}{4*\pi^2} * Sa_j * g \quad (4.41)$$

ATC 40 [4], presenta 3 procedimientos para determinar el punto de desempeño, cada uno de ellos se encuentra plenamente explicado en el capítulo 8 de la referencia [4], no obstante se describe en esta investigación brevemente el procedimiento **A** de ATC 40 [4], el cual se escogió para esta investigación basado en las recomendaciones de ese mismo cuerpo normativo que se describe a continuación.

- **Procedimiento A:**

- Pulido, limpio y la metodología de aplicación más directa.
- Método analítico.
- Perfecto para programadores de nivel medio.
- Probablemente el mejor método para principiantes, debido a que es más directo y fácil de entender.

- **Procedimiento B:**

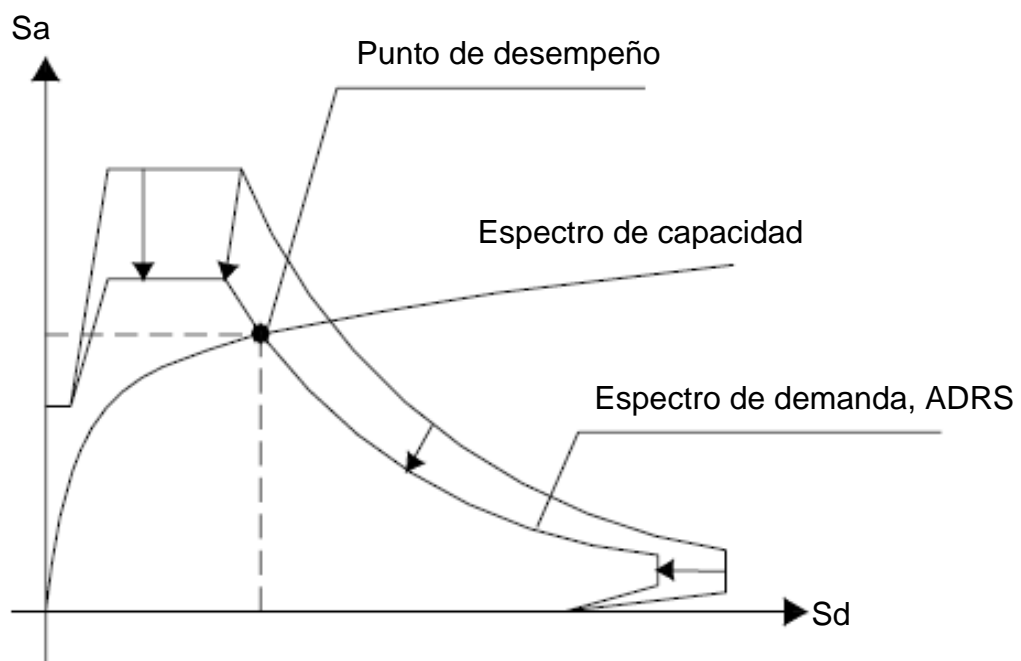
- Procedimiento analítico.
- Más simple que el procedimiento A, debido a sus simples suposiciones (las cuales no siempre serán válidas).
- Más conveniente para programadores principiantes.
- Metodología aplicable, razonablemente transparente.

- Los usuarios de este método deben estar plenamente conscientes de las hipótesis que hagan.
- **Procedimiento C:**
 - Método gráfico.
 - Más conveniente para análisis manual.
 - No es conveniente para programación.
 - Es el método menos transparente de los 3.

Por lo antes citado, el método escogido para esta investigación debido a su conveniencia, es el método A.

En la FIGURA 4.15 se observa la representación gráfica del espectro inelástico de aceleración, transformado a espectro ADRS y su respectiva reducción a espectro de demanda.

FIGURA 4.15: Probable comportamiento de una estructura reforzada y no reforzada.



Elaboración: Carlos Celi

4.5.1.1 Procedimiento A

Para esta investigación, se presenta a continuación un breve resumen del procedimiento descrito en la referencia [4].

1. Obtener el espectro inelástico de aceleración para un amortiguamiento del 5 % (espectro empleado para los cálculos descrito en el capítulo 2 de esta investigación).
2. Transformar la curva de capacidad de la estructura a un espectro de capacidad (numeral 4.4).
3. Seleccionar un punto arbitrario del espectro de capacidad.
4. Calcular la reducción del espectro ADRS según las ecuaciones:

$$B_{eff} = k * B_0 + 5 \quad (4.41)$$

$$B_0 = \frac{63.7 * k * (ap * dpi - dp * api)}{api * dpi} \quad (4.42)$$

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 * \ln(B_{eff})}{2.12} \quad (4.43)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 * \ln(B_{eff})}{1.65} \quad (4.44)$$

donde:

$ap, dp =$ Coordenadas de fluencia del espectro de capacidad (S_a, S_d)

$B_{eff}, B_0 =$ Factores de reducción de espectro

$api, dpi =$ Coordenadas arbitrarias del espectro de capacidad (S_a, S_d)

$SR_A, SR_V =$ Coordenadas del espectro de demanda

$k =$ Factor de modificación de amortiguamiento.

Los valores de k se obtienen de la TABLA 4.2 y en la TABLA 4.3 se presentan los valores mínimos de SR_A y SR_V .

TABLA 4.2: Valores para modificar el amortiguamiento, factor k

Tipo de Comportamiento Estructural	Valor de B_0	k
Tipo A	≤ 16.25	1.0
Tipo A	> 16.25	1.13 * $\frac{0.51 * (ap * dpi - dp * api)}{api * dpi}$
Tipo B	≤ 25	0.67
Tipo B	> 25	0.845 * $\frac{0.446 * (ap * dpi - dp * api)}{api * dpi}$
Tipo C	Cualquier valor	0.33

Elaboración: Carlos Celi

Fuente: ATC40

TABLA 4.3: Valores para modificar el amortiguamiento, factor k

Tipo de Comportamiento Estructural	SRa	SRv
Tipo A	0.33	0.50
Tipo B	0.44	0.56
Tipo C	0.56	0.67

Elaboración: Carlos Celi

Fuente: ATC40

Los valores de comportamiento estructural se clasifican en:

A = Edificación de buen desempeño estructural.

B = Edificación de mediano desempeño estructural, especificado en el código ICBO de 1994.

C = Resto de edificaciones.

5. Calcular en base a las ecuaciones propuestas, el espectro de demanda y se verifica si las curvas de espectro de capacidad y el nuevo espectro de

demanda se interceptan en las coordenadas (api,dpi), escogidas con error aceptable.

6. Si el espectro de demanda y el espectro de capacidad no se interceptan en las coordenadas de api, dpi con una tolerancia aceptable, seleccionar nuevos puntos api y dpi y realizar nuevamente el proceso desde el paso 4.
7. Realizar, el proceso descrito hasta que los puntos api y dpi sean los que obtengan una intersección de las curvas de espectro de demanda y espectro de capacidad con una tolerancia aceptable.

Basada en las ecuaciones propuestas se realiza una rutina en Matlab[14] (FIGURA 4.16) que calcula el punto de desempeño de la estructura.

FIGURA 4.16: Rutina (punto_desempeno), obtiene el punto de desempeño.

```

clc
clear
%% Calcula el Punto de Desempeño en base a las curvas de Capacidad(OpenSees)%
display('Autor: Ing. Carlos Andrés Celi')
display('Análisis paramétrico de la fiabilidad de un modelamiento sísmico en el rango no lineal,
en función del tipo de modelamiento empleado ')
clc
clear
% datos %
dy = 0.10;
V_f = 57.5;
load curvas_capacidad;
altura = 15.50; % altura total de la edificación
load alfa_r; % matriz de valores de ángulos alfa y distancias r, de cada pórtico al centro de
masas
MTi = [31 31 30 29 21]; % Vector de masas por piso (ton*s^2*m^-1)
a = 12; % dimensión del piso "x" en (m)
b = 12; % dimensión del piso "y" en (m)
modelo = M14;
%% -----%
figure(1)
plot(modelo(:,2),modelo(:,1),'r');title('CURVA DE CAPACIDAD (Modelo 90)');xlabel('DESPLAZAMIENTO
LATERAL EN EL TOPE Dt(m)');ylabel('CORTANTE EN LA BASE V(Ton)','LineWidth',3); grid on;

%% Calculo del Espectro de Capacidad %
JT = sum(MTi)/12*(a^2+b^2); % Momento de Inercia de la estructura
M = [sum(MTi) 0 0
0 sum(MTi) 0
0 0 JT]; % Matriz de Masas de la estructura
% lamda = KE/M; % valores propios

%-----%
J = [1;0;0]; % Vector donde se desea encontrar el espectro de capacidad
%-----%

fi = [1;0;0]; % Modo de vibración normalizado ala unidad
%en sentido "x",de haber considerado
%desplazamientos en "y" y ó "z", este
%vector deberá calcularse de acuerdo a la
%curva de capacidad y normalizarse hacia el
%sentido que se determine "x,y,ó z"

m1= fi'*M*fi; % valor constante ya que para este caso fi
% es constante

gamal=fi'*M*J/m1; % valor constante ya que para este caso fi
% es constante

% gamal=1.39;
MT = sum(MTi); % masa condensada
alfal= (fi'*M*J)^2/(MT*m1); % valor constante ya que para este caso fi
% es constante

```

```

% Calculo de Sd y Sa
aux3 = size(modelo);
Sa=0;
Sd=0;
x=1;
for i=1:aux3(1,1)
    Sd(i,:) = modelo(i,2)/gamal;
    Sa(i,:) = modelo(i,1)/(MT*alfal);
end
Espectro = [Sd Sa];

figure(2)
plot(Espectro(:,1),Espectro(:,2),'m');title('Espectro de Capacidad');xlabel('Desplazamiento Espectral Sd(m)');ylabel('Aceleración Espectral Sa(m/s2)'); grid on;

% Incertidumbre del Modelo %
factor = 0.25; % factor beta*(sa), modificador de amplitud Sa

for i=1:aux3(1,1)
    Sas(i,:) = Espectro(i,2)*2.71828^(factor);
    Sai(i,:) = Espectro(i,2)*2.71828^(-1*factor);
end
Sal = Sas;
Sa2 = Sai;
Espectros1 = [Sd Sal];
Espectros2 = [Sd Sa2];
figure(3)
plot(Espectro(:,1),Espectro(:,2),'m',Espectros1(:,1),Espectros1(:,2),'b',Espectros2(:,1),Espectros2(:,2),'k');title('Espectro de Capacidad de la estructura considerando Incertidumbre');xlabel('Desplazamiento Espectral Sd(m)');ylabel('Aceleracion Espectral Sa(m/s2)');legend('valor medio+1 desviación','valor medio', 'valor medio - 1 desviacion')

%-----%

%% REDUCCIÓN DEL ESPECTRO DE ACELERACIÓN INELÁSTICO %
% Ca = C*Z*I*g/(R*P*?E)
% Cv = Ca/g
load Espectro_inelastico_s2 % Espectro de aceleración Inelástico, para
% un suelo tipo S2, en (m/s2)
% beta0 = criterio para clasificar el comportamiento de la estructura
aux6 = size(Espectro_inelastico_s2);
for i = 1:aux6(1,1);
    Sdd(i,1) = (Espectro_inelastico_s2(i,1))^2/(4*(pi())^2)*Espectro_inelastico_s2(i,2)*9.81;
end
Sdd;
Espectro_inelastico_s2_sd = [Sdd,Espectro_inelastico_s2(:,2)];% Espectro inelástico
% en función
% de
% desplazamiento espectral

% n
par1=input('\coord x:');
par2=input('\coord y:');
aux4 = size(Espectro);
Dy = dy/gamal; % desplazamiento de fluencia en función de Sd
Ay = V_f/(MT*alfal); % cortante de fluencia en función de Sa
Ayi = par2; % punto de desempeño arbitrario (Sa)
Dyi = par1; % punto de desempeño arbitrario (Sd)
beta0 = 63.7*(Ay*Dyi-Dy*Ayi)/(Ayi*Dyi);

%tipo de Estructura
tipo = 1; % A = (1) Buen desempeño Estructural
% B = (2) Mediano desempeño Estructural
% C = (3) Regular desempeño Estructural

if tipo == 1;
    if beta0>16.25;
        k = 1.13*0.51*(Ay*Dyi-Dy*Ayi)/(Ayi*Dyi);
    else
        k=1;
    end
else
    if tipo == 2;
        if beta0 > 25;
            k = 0.845*0.446*(Ay*Dyi-Dy*Ayi)/(Ayi*Dyi);
        else
            k= 0.67;
        end
    else

```

```

        k=0.33;
    end
end
k; % factor para determinar SRa y SRv

SRa = (3.21-0.68*log(k*beta0+5))/2.12;
SRv = (2.31-0.41*log(k*beta0+5))/1.65;

aux5 = Espectro_inelastico_s2_sd(1,2);

for i = 1:aux6(1,1)
if Espectro_inelastico_s2(i,2)==aux5;
    Esp_r(i,:) = Espectro_inelastico_s2_sd(i,:)*SRa;
else
    Esp_r(i,:) = Espectro_inelastico_s2_sd(i,:)*SRv;
end
end
Reduccion = [Espectro_inelastico_s2_sd(:,1),Esp_r(:,2)];

%-----%
%% Espectros amortiguados al 10% 15% y 20 %
%-----%
Ea10 = Espectro_inelastico_s2_sd-(Espectro_inelastico_s2_sd*0.05);
Esp10 = [Espectro_inelastico_s2_sd(:,1),Ea10(:,2)]; %Espectro amrotiguado 10%

Ea15 = Espectro_inelastico_s2_sd-(Espectro_inelastico_s2_sd*0.1);
Esp15= [Espectro_inelastico_s2_sd(:,1),Ea15(:,2)]; %Espectro amrotiguado 15%

Ea20 = Espectro_inelastico_s2_sd-(Espectro_inelastico_s2_sd*0.15);
Esp20= [Espectro_inelastico_s2_sd(:,1),Ea20(:,2)]; %Espectro amrotiguado 20%

figure (4)
plot(Espectro(:,1),Espectro(:,2),Espectro_inelastico_s2_sd(:,1),Espectro_inelastico_s2_sd(:,2),Re
duccion(:,1),Reduccion(:,2),Esp10(:,1),Esp10(:,2),Esp15(:,1),Esp15(:,2),Esp20(:,1),Esp20(:,2),par
1,par2,'o','markersize',12);title('PUNTO DE DESEMPEÑO');xlabel('Desplazamiento Espectral
Sd(m)');ylabel('Aceleracion Espectral Sa(m/s^2)');grid on;legend('Espectro de Capacidad','Espectro
Inelástico 5%','Espectro Reducido','Espectro Inelástico 10%','Espectro Inelástico 15%','Espectro
Inelástico 20%')

gh = input('\deacuerdo, "si=1, no =0":');

%-----%

% INTERACTIVO %
while gh==0,
par1=input('\coord x:');
par2=input('\coord y:');
aux4 = size(Espectro);
aux4 = size(Espectro);
Dy = dy/gamal; % desplazamiento de fluencia en función de Sd
Ay = V_f/(MT*alfal); % cortante de fluencia en funsion de Sa
Ayi = par2; %punto de desempeño arbitrario (Sa)
Dyi = par1; %punto de desempeño arbitrario (Sd)
beta0 = 63.7*(Ay*Dyi-Dy*Ayi)/(Ayi*Dyi);

%tipo de Estructura
tipo = 1; % A = (1) Buen desempeño Estructural
% B = (2) Mediano desempeño Estructural
% C = (3) Regular desempeño Estructural

if tipo == 1;
if beta0>16.25;
k = 1.13*0.51*(Ay*Dyi-Dy*Ayi)/(Ayi*Dyi);
else
k=1;
end
else
if tipo == 2;
if beta0 > 25;
k = 0.845*0.446*(Ay*Dyi-Dy*Ayi)/(Ayi*Dyi);
else
k= 0.67;
end
else
k=0.33;
end
end
k; % factor para determinar SRa y SRv

```

```

SRa = (3.21-0.68*log(k*beta0+5))/2.12;
SRv = (2.31-0.41*log(k*beta0+5))/1.65;

aux5 = Espectro_inelastico_s2_sd(1,2);

for i = 1:aux6(1,1)
if Espectro_inelastico_s2(i,2)==aux5;
Esp_r(i,:) = Espectro_inelastico_s2_sd(i,:)*SRa;
else
Esp_r(i,:) = Espectro_inelastico_s2_sd(i,:)*SRv;
end
end
Reduccion = [Espectro_inelastico_s2_sd(:,1),Esp_r(:,2)];
figure (4)
plot(Espectro(:,1),Espectro(:,2),Espectro_inelastico_s2_sd(:,1),Espectro_inelastico_s2_sd(:,2),Reduccion(:,1),Reduccion(:,2),Esp10(:,1),Esp10(:,2),Esp15(:,1),Esp15(:,2),Esp20(:,1),Esp20(:,2),par1,par2,'o','markersize',12);title('Punto de Desempeño');xlabel('Desplazamiento Espectral Sd(m)');ylabel('Aceleracion Espectral Sa(m/s2)');grid on;legend('Espctro de Capaciad','Espectro Inelástico 5%','Espectro Reducido','Espectro Inelástico 10%','Espectro Inelástico 15%','Espectro Inelástico 20%')
gh = input('\deacuerdo, "si=1, no =0":');

end

display ('El Punto de desempeño de la presente estructura es')

Dt = par1*gamal;
V = par2*(MT*alfal);
Ss = [par2,par1] % punto de desempeño en coordenadas Sd y Sa
Dv = [V,Dt] % punto de desempeño en coordenadas V y Dt

```

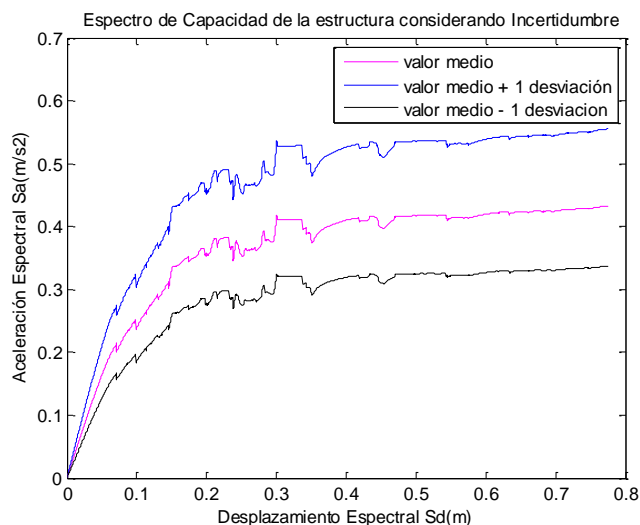
Elaboración: Carlos Celi

En la FIGURA 4.17, se observa el espectro de capacidad del modelo 70 proveniente de la programación realizada en OpenSEES del capítulo 3; el proceso de estimación interactiva del punto de desempeño empleando la rutina de la FIGURA 4.16, se muestra en la FIGURA 4.18; en la FIGURA 4.19 se muestra cuando se ha llegado a determinar las coordenadas s_d y d_p de manera que posean una tolerancia aceptable de intercepción de las curvas espectro de demanda y espectro de capacidad.

Esta forma de obtener el punto de desempeño, se usó en todos los modelos realizados en base a las subrutinas descritas en el capítulo 3 (modelos en OpenSEES). Como se mencionó en dicho capítulo uno de los limitantes de la programación en OpenSEES [18], es que no realiza el cálculo del punto de desempeño, o al menos para esta investigación no se encontró una subrutina realizada en este lenguaje; razón por la cual se desarrolló la programación presente en la FIGURA 4.16.

El programa SAP2000 [11], realiza el proceso descrito en ATC40 [4].

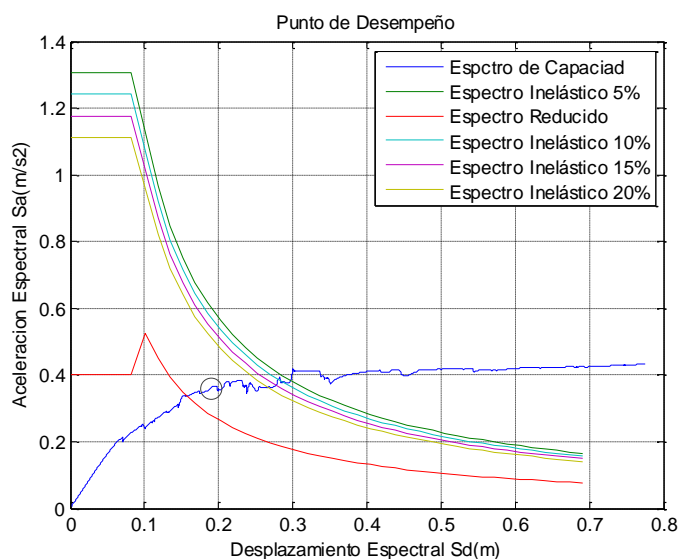
FIGURA 4.17: Espectro de capacidad, Modelo 14 (OpenSEES), rutina (punto_desempeno).



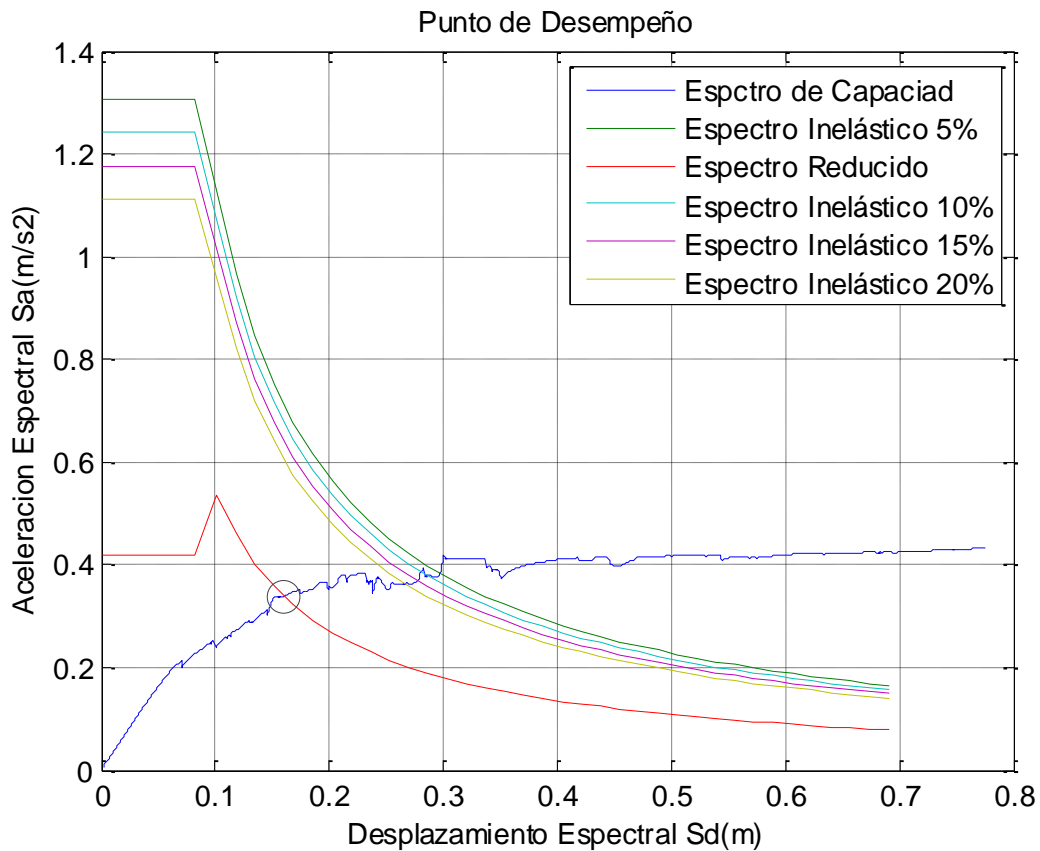
Elaboración: Carlos Celi

En la referencia [3], se explican detalladamente las consideraciones de incertidumbre para la obtención del espectro de capacidad. En la FIGURA 4.17, se observa el empleo de estos criterios, el cual se realizó de manera ilustrativa, ya que este proceso es necesario si se trabaja con un espectro de capacidad bilinealizado; es decir para los cálculos de esta investigación, se empleó el espectro de capacidad normal.

FIGURA 4.18: Punto de desempeño (primera aproximación).



Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 4.19: Punto de desempeño (intercepción).

Elaboración: Carlos Celi

Esta forma de obtener el punto de desempeño, claramente se basa en una reducción de espectro de demanda, usando los procesos descritos en ATC40 [4], pero autores como Chopra y Goel no aceptan del todo este proceso de reducción del espectro ADRS, sino que plantean una reducción mediante un factor R cuyo cálculo se describe en la referencia [3], aunque para esta investigación se confía en lo propuesto por ATC40 [4].

4.6 ANÁLISIS NSP EMPLEANDO SAP2000

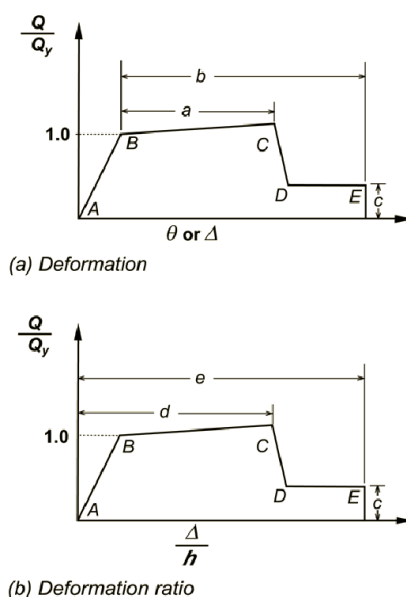
Se describirán brevemente los pasos que se realizaron para obtener un modelo 2D de la estructura a analizar de los ANEXOS 1, 2 y de la FIGURA 2.5 del capítulo 2, pero antes se presentan de forma sintetizada los criterios y normas en las cuales se basa el programa SAP2000 [11], para realizar los cálculos internamente.

El programa SAP2000 [11], realiza un Análisis Estático No Lineal (NSP), un paso intermedio entre el análisis lineal elástico y el análisis no lineal dinámico, para ello emplea el cuerpo normativo FEMA356 [6]. Dentro del Análisis No lineal Estático, la técnica de pushover es realizada internamente, para determinar la curva de capacidad resistente de la estructura ante acción sísmica; curva que relaciona el cortante V con el desplazamiento lateral máximo en el tope de la estructura (D_t).

La relación carga-deformación obtenida mediante el programa SAP2000 [11], sigue lo dispuesto en 6.4.1.2 del documento FEMA-356 [6]; dicho numeral, presenta el **Procedimiento No Lineal**, que en su parte pertinente dice: “cuando se emplee un procedimiento no lineal para determinar las acciones en una estructura, la componente de respuesta de carga-deformación deberá ser representada por una relación no lineal de carga-deformación, pero se permitirá una relación lineal cuando la componente no ocurra donde se dé una respuesta no lineal” [6].

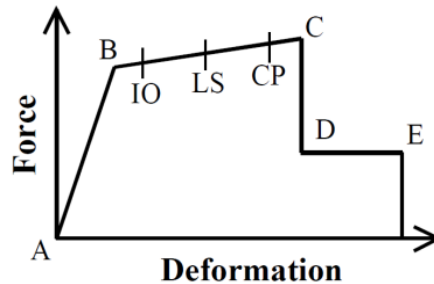
EL procedimiento Estático No Lineal (NSP), usa generalmente la relación carga-deformación como se muestra en la FIGURA 4.20; también se permiten otras curvas que definan el comportamiento de la estructura bajo cargas monotónicas.

FIGURA 4.20: Relación carga-deformación, empleada por SAP2000.



Fuente: A. Habibullah

FIGURA 4.21: Generalización de la relación fuerza-deformación para elementos de hormigón.



Fuente: FEMA 273, FEMA 356

La FIGURA 4.21, describe una relación lineal desde A (componente sin carga) a un rendimiento efectivo B, luego una reducción de rigidez lineal entre el punto B y C, seguida de una repentina reducción de resistencia a la carga lateral en el punto D, continuando hasta una reducida resistencia lateral en el punto E y una pérdida total de resistencia a partir de entonces.

Los puntos IO,LS,CP son usados como criterios aceptables de formación de rótulas plásticas, donde :

LS: Life Safety (seguridad para la vida)

CP: Collapse Prevention (prevención de colapso)

IO: Stand for Immediate Occupancy (de inmediata ocupación)

La deformación usando la relación carga-deformación, mostrada en la FIGURA 4.16 puede ser definida de dos maneras.

- a) Deformación, o Tipo 1: La deformación puede ser expresada en términos de distorsión, curvatura, rotación o elongamiento. Los parámetros a y b representan la zona de deformación, para un comportamiento plástico de la estructura, el parámetro c representa la última capacidad teórica de la estructura.

- b) Relación de deformación, o Tipo 2: La deformación puede ser expresada en términos de ángulo de cortante y relación de deriva tangencial; los parámetros d y e son la deformación total medida desde el origen.

Los criterios LS,CP,IO se obtienen a través de una clasificación de los giros en los puntos de control asignados (localización de rótulas plásticas); estos giros y acciones se clasifican de acuerdo al tipo de elemento estructural (viga – columna - muro); el cuerpo normativo FEMA 356 [6], presenta las siguientes tablas para los criterios de clasificación de desempeño de los diferentes miembros estructurales.

TABLA 4.4: Parámetros de Modelamiento y Criterios Numéricos Aceptados para el Procedimiento No-Lineal en Vigas de Hormigón Reforzado (FEMA-356).

Conditions	Modeling Parameters ³					Acceptance Criteria ³						
	Plastic Rotation Angle, radians		Residual Strength Ratio			Plastic Rotation Angle, radians						
						Performance Level						
	a		b			c			IO		Component Type	
									LS	CP	LS	CP
Primary		Secondary										
i. Beams controlled by flexure¹												
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Trans. Reinf. ²	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$										
≤ 0.0	C	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.010	0.02	0.025	0.02	0.05		
≤ 0.0	C	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04		
≥ 0.5	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03		
≥ 0.5	C	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02		
≤ 0.0	NC	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03		
≤ 0.0	NC	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.005	0.01	0.01	0.015		
≥ 0.5	NC	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015		
≥ 0.5	NC	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.01		
ii. Beams controlled by shear¹												
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.0020	0.0030	0.01	0.02		
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.0020	0.0030	0.005	0.01		
iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span¹												
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.0020	0.0030	0.01	0.02		
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.0020	0.0030	0.005	0.01		
iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint¹												
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03		

Fuente: FEMA 356

1. Cuando más de una de las condiciones i.ii.iii y iv ocurren para un mismo componente se usará el mínimo valor.
2. “C” y “NC” son las abreviaturas para refuerzo transversal confinante y no confinante; el componente es confinante si en la región de rotula plástica a flexión los estribos están espaciados a $\leq d/3$ y si la componente requiere de una moderada a alta demanda de ductilidad, la fuerza proveniente de los estribos (V_s) es por lo menos tres cuartas partes del diseño por cortante; de otra manera la componente se considera no confinante.
3. Se permite una interpolación lineal entre los valores presentados en la TABLA 4.4.

TABLA 4.5: Parámetros de Modelamiento y Criterios Numéricos Aceptados para el Procedimiento No-Lineal en Columnas de Hormigón Reforzado (FEMA-356).

Conditions	Modeling Parameters ⁴					Acceptance Criteria ⁴					
	Plastic Rotation Angle, radians			Residual Strength Ratio		Plastic Rotation Angle, radians					
						Performance Level					
	a			b		c		Component Type			
								Primary		Secondary	
a			b		c		IO	LS	CP	LS	CP
i. Columns controlled by flexure¹											
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Trans. Reinf. ²	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$									
≤ 0.1	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03	
≤ 0.1	C	≥ 6	0.016	0.024	0.2	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024	
≥ 0.4	C	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025	
≥ 0.4	C	≥ 6	0.012	0.02	0.2	0.003	0.01	0.012	0.013	0.02	
≤ 0.1	NC	≤ 3	0.006	0.015	0.2	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015	
≤ 0.1	NC	≥ 6	0.005	0.012	0.2	0.005	0.004	0.005	0.008	0.012	
≥ 0.4	NC	≤ 3	0.003	0.01	0.2	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01	
≥ 0.4	NC	≥ 6	0.002	0.008	0.2	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008	
ii. Columns controlled by shear^{1,3}											
All cases ⁵			—	—	—	—	—	—	.0030	.0040	
iii. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height^{1,3}											
Hoop spacing $\leq d/2$			0.01	0.02	0.4	0.005	0.005	0.01	0.01	0.02	
Hoop spacing $> d/2$			0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01	
iv. Columns with axial loads exceeding $0.70P_o$^{1,3}											
Conforming hoops over the entire length			0.015	0.025	0.02	0.0	0.005	0.01	0.01	0.02	
All other cases			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Fuente: FEMA 356

1. Cuando más de una de las condiciones i.ii.iii y iv ocurren para un mismo componente se usará el mínimo valor.
2. “C” y “NC” son las abreviaturas para refuerzo transversal confinante y no confinante; el componente es confinante si en la región de rotula plástica a flexión, los estribos están espaciados a $\leq d/3$ y si la componente requiere de una moderada a alta demanda de ductilidad, la fuerza proveniente de los estribos (V_s) es por lo menos tres cuartas partes del diseño por cortante; de otra manera la componente se considera no confinante.
3. Para calificar, las columnas deberán tener en refuerzo transversal por estribos, de lo contrario, las acciones serán consideradas por control de fuerza.
4. Se permite una interpolación lineal entre los valores presentados en la TABLA 4.5.
5. Para columnas controladas por cortante, se referirán a los criterios presentados en la sección 6.5.2.4.2 de FEMA-356 [6].

TABLA 4.6: Parámetros de Modelamiento y Criterios Numéricos Aceptados para el Procedimiento No-Lineal en la Conexión Viga-Columna de Hormigón Reforzado (FEMA-356).

Conditions		Modeling Parameters ⁴			Acceptance Criteria ⁴					
		Plastic Shear Angle, radians		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle, radians					
					Performance Level					
		a	b	c	IO	Component Type				
Primary						Secondary				
						LS	CP	LS	CP	
i. Interior joints^{2,3}										
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Trans. Reinf.	$\frac{V}{V_n}$								
≤ 0.1	C	≤ 1.2	0.015	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	0.02	0.03
≤ 0.1	C	≥ 1.5	0.015	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≥ 0.4	C	≤ 1.2	0.015	0.025	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.025
≥ 0.4	C	≥ 1.5	0.015	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≤ 0.1	NC	≤ 1.2	0.005	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≤ 0.1	NC	≥ 1.5	0.005	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
≥ 0.4	NC	≤ 1.2	0.005	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
≥ 0.4	NC	≥ 1.5	0.005	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
ii. Other joints^{2,3}										
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Trans. Reinf. ¹	$\frac{V}{V_n}$								
≤ 0.1	C	≤ 1.2	0.01	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≤ 0.1	C	≥ 1.5	0.01	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
≥ 0.4	C	≤ 1.2	0.01	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≥ 0.4	C	≥ 1.5	0.01	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
≤ 0.1	NC	≤ 1.2	0.005	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0075	0.01
≤ 0.1	NC	≥ 1.5	0.005	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0075	0.01
≥ 0.4	NC	≤ 1.2	0.0	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.005	0.0075
≥ 0.4	NC	≥ 1.5	0.0	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.005	0.0075

Fuente: FEMA 356

1. “C” y “NC” son las abreviaturas para refuerzo transversal confinante y no confinante; el componente es confinante si en la región de rótula plástica a flexión, los estribos están espaciados a $\leq d/3$ y si la componente requiere de una moderada a alta demanda de ductilidad, la fuerza proveniente de los estribos (V_s) es por lo menos tres cuartas partes del diseño por cortante; de otra manera la componente se considera no confinante.
2. P es la fuerza axial de diseño de la columna por encima de la conexión y A_g es la sección de área gruesa de la conexión.
3. V es la fuerza cortante de diseño y V_n es la resistencia al corte en la conexión, la fuerza cortante y la resistencia al corte deben ser calculadas de acuerdo a la sección 6.5.2.3. de FEMA-356 [6].
4. Se permite una interpolación lineal entre los valores presentados en la TABLA 4.6.

SAP2000 [11], basado en ATC 40 [4], obtiene la curva de capacidad, como se resume a continuación:

1. Aplicar una carga concentrada horizontal en el tope de la estructura
2. Aplicar fuerzas laterales en cada piso de acuerdo a CPE INEN 5:2001[5], sin considerar la fuerza concentrada F_1 del tope de la estructura

$$F_x = \left[\frac{W_i * h_i}{\sum W_i * h_i} \right] * V \quad (4.45)$$

W_i = peso del piso “i”

h_i = altura del piso “i”

V = cortante basal

3. Aplicar las fuerzas laterales en proporción al producto de las masas de los pisos y el primer modo de vibración del modelo de la estructura elástica.

$$F_x = \left[\frac{W_i * \phi_i}{\sum W_i * \phi_i} \right] * V \quad (4.46)$$

W_i = peso del piso “i”

ϕ_i = primer modo de vibración del piso “i”

V = cortante basal

4. Proceder igual que en el paso 3 hasta alcanzar la primera fluencia, luego para cada incremento que sobrepase dicha primera fluencia, se deberán ajustar las fuerzas de manera consistente con el cambio en la forma de la deflexión.
5. Similar a los pasos 3 y 4, incluir los efectos de los modos superiores de vibración en la determinación de la fluencia de los elementos individuales de la estructura, mientras se plotea la curva de capacidad del edificio en términos de las fuerzas laterales del primer modo de vibración y los desplazamientos que produzca.
6. Plotear el cortante en la base y el desplazamiento en el tope.
7. Realizar un modelo usando una cantidad muy pequeña de rigidez en los elementos que se espera que fluyan primero.
8. Aplicar un nuevo incremento de cargas laterales a la estructura modelada anteriormente.
9. Añadir el nuevo incremento de cargas laterales que produce el desplazamiento del tope, al sub total previo para obtener el cortante total en la base y el desplazamiento total del tope.
10. Repetir los pasos 7, 8 y 9 hasta que la estructura alcance su límite último, como es: inestabilidad por efectos $P-\Delta$ (considerables distorsiones más allá del desempeño esperado).

Cuando se alcanza el nivel de deformación lateral se produce una pérdida en la capacidad de soportar las cargas gravitacionales como se muestra en la FIGURA 4.23.

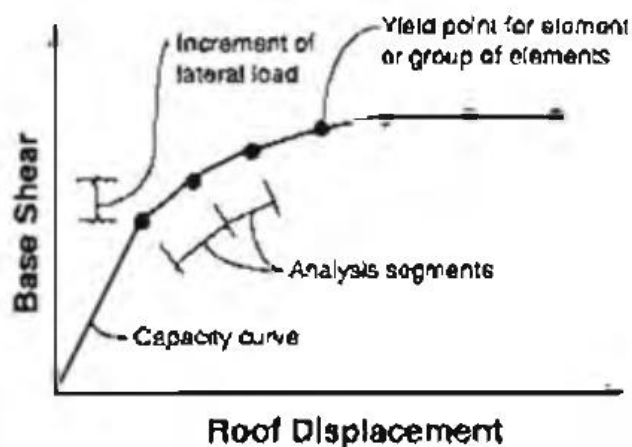
11. El modelo explícito de la degradación global de la resistencia, se da cuando la carga incremental se detiene en el paso 10 descrito anteriormente, como resultado de alcanzar un nivel de deformación lateral total o significativa, en el que los elementos (o grupo de elementos) no puedan resistir más carga. Esto se presenta, si la resistencia que pueden absorber los elementos estructurales se ha degradado significativamente, y la rigidez ha sido reducida o eliminada.

Deberá realizarse una nueva curva empezando desde el paso 3, y crear tantas curvas pushover como sean necesarias para adecuadamente describir la pérdida total de resistencia de la estructura.

Finalmente se trazará una curva que inicia por el trazado de la primera curva, luego se realiza una transición a la segunda curva, correspondiente al desplazamiento donde ocurrió la primera degradación significativa de la resistencia, y así para los demás puntos de degradación.

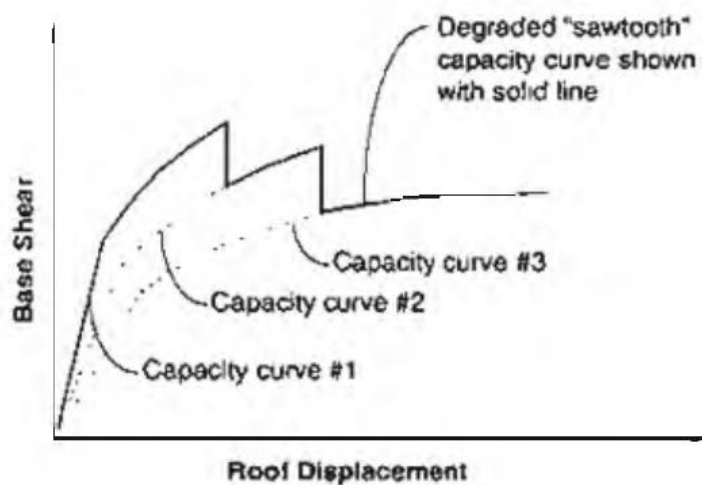
Esta curva toma una forma sawtooth (cierra dentada), como se aprecia en la FIGURA 4.23.

FIGURA 4.22: Curva de capacidad



Fuente: ATC40

FIGURA 4.23: Curva de capacidad, con el modelo de degradación global

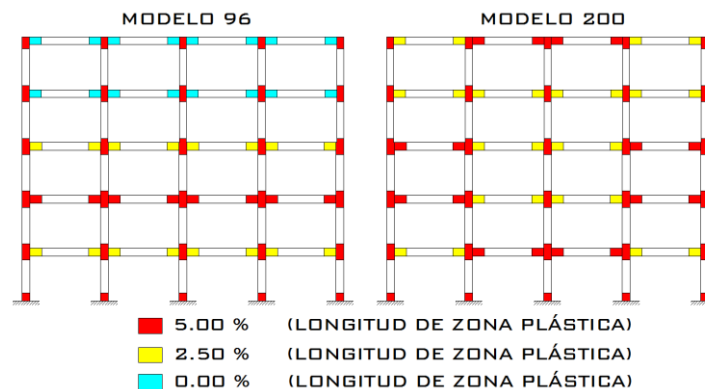


Fuente: ATC40

4.6.1 RESUMEN DE PASOS DE MODELAMIENTO NSP EN SAP2000

El pórtico a analizar posee 90 probables mecanismos de formación de rótulas plásticas, que corresponden a los 2 extremos de cada una de las vigas y en cabeza y pie de cada una de las columnas que conforman el pórtico; con este precedente se decidió emplear 3 tipos diferentes de longitudes de zonas plásticas asumidas, estos son, 0 %, 2.5 % y 5 %; se realizaron 200 modelos basados en las distintas combinaciones de los tres parámetros antes mencionados, dichas combinaciones se presentan en el Anexo 4; en la FIGURA 4.24, se muestran 2 de las 200 combinaciones empleadas.

FIGURA 4.24: Distribución de zonas plásticas, modelos 96 y 200



Elaboración: Carlos Celi

El proceso de modelamiento resumido es el siguiente:

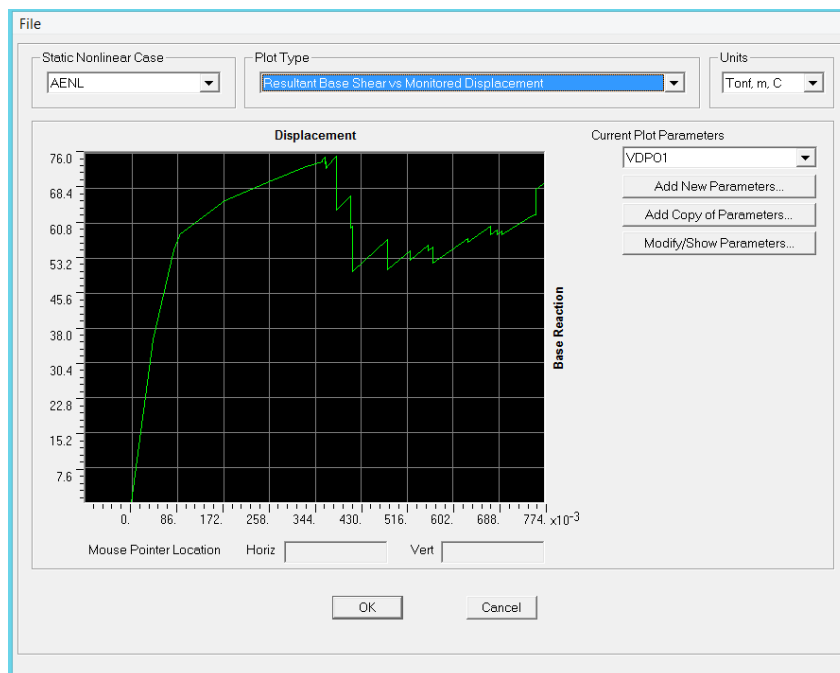
1. Se construye la geometría general 2D descrita en capítulos anteriores.
2. Se define los materiales y secciones, descritos en capítulos anteriores.
3. Se asigna la carga repartida sobre cada nivel de piso en las vigas correspondientes, descritas en capítulos anteriores.
4. Basado en el armado de cada sección (descrito en capítulos anteriores y anexos), se asigna dentro de la creación de la sección el armado correspondiente de manera que sea chequeado y no diseñado.
5. Se asigna la carga lateral por piso (descrita en el capítulo 2).
6. Seleccionamos el nudo de control y asignamos el desplazamiento tope.
7. Asignamos la ubicación de los mecanismos de disipación de energía, basados en el Anexo 4 y considerando el tipo de elemento estructural (viga

o columna) para asignar los criterios de desempeño dados en las TABLAS 4.4 y 4.5.

8. Se asigna el estado de carga gravitacional.
9. Se asigna el estado de carga AENL (Análisis Estático No Lineal), de forma que inicie una vez se ha dado la deformación total debida a la carga gravitacional.
10. Automáticamente el programa calcula la curva de capacidad incluyendo los modos altos de vibración, hasta alcanzar el desplazamiento de control; luego se recurre a establecer la forma de encontrar el punto de desempeño, en este caso el cuerpo normativo que se usara será ATC40 [4] procedimiento A.

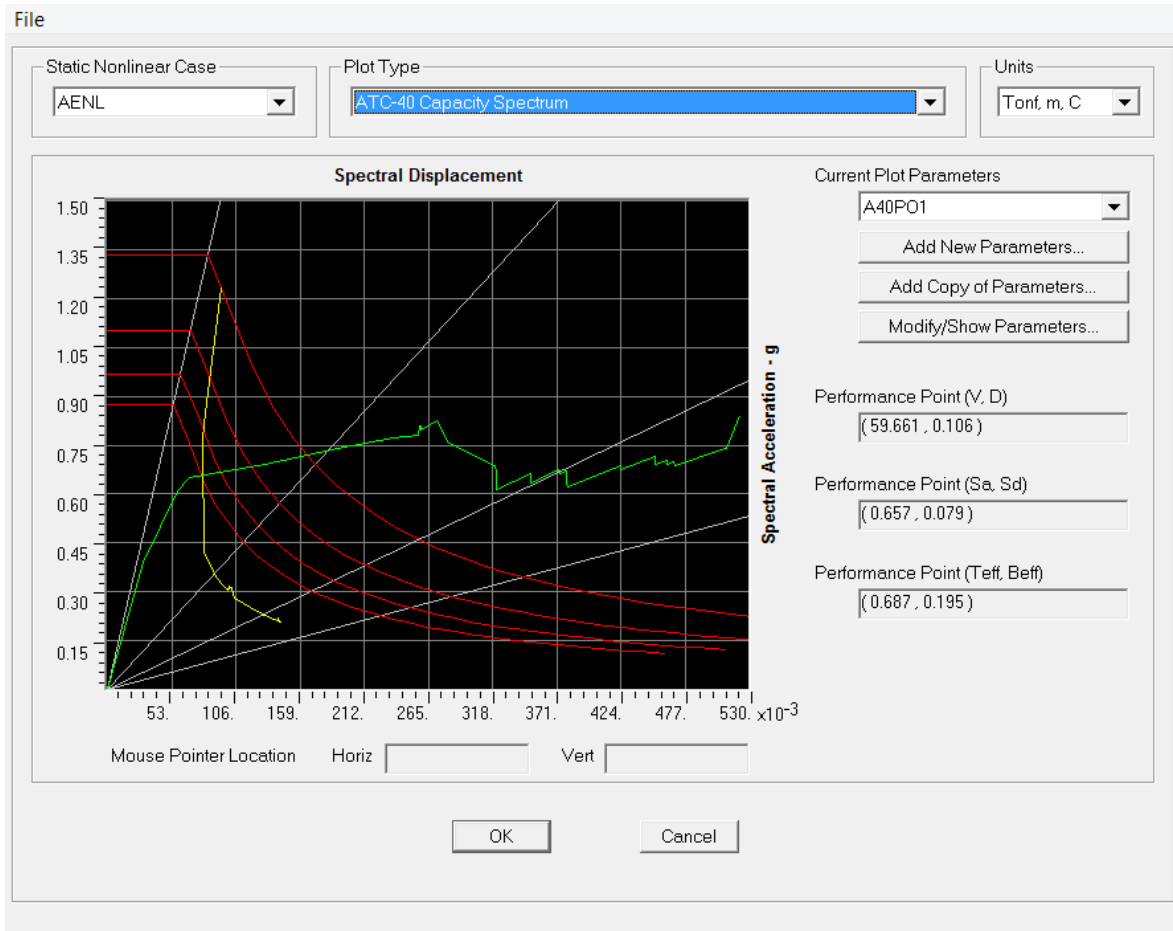
En la FIGURA 4.25 se observa la curva de capacidad del modelo 158 realizado en SAP2000 [11], de la misma manera en la FIGURA 4.26 se muestra el punto de desempeño del mismo modelo mediante SAP2000 [11]; cabe recalcar que el filtrado de datos se lo realizó mediante programación en Matlab [14] , que se presenta en el capítulo 6.

FIGURA 4.25: Curva de capacidad, modelo 158, SAP2000



Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 4.26: Punto de desempeño, modelo 158, SAP2000



Elaboración: Carlos Celi

CAPÍTULO 5

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS COMPARATIVOS ENTRE AMBOS TIPOS DE MODELACIÓN.

5.1 GENERALIDADES

Previo a escoger el o los parámetros comparativos entre ambos métodos de modelación (zonas plásticas y fibras), se citan brevemente los conceptos de las partes clave que definen un análisis NSP en forma general; dichos conceptos fueron desarrollados en capítulos previos en esta investigación, en este capítulo se los cita de forma resumida para poder evaluar en contexto los parámetros comparativos entre ambos métodos de modelación.

5.2 RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS

5.2.1 NSP (NONLINEAR-STATIC-PUSHOVER)

El análisis NSP en su forma general, se basa en la aplicación de una carga lateral monotónica incremental, sobre una estructura con el fin de causarle una deformación lateral, a lo largo de la cual la estructura deberá presentar la formación de mecanismos de disipación de energía, como son las rotulas plásticas en los elementos estructurales.

El análisis NSP para esta investigación se realizó empleando dos métodos, como son, el método de zonas plásticas y el método de fibras; cabe recalcar que ambos métodos siguen la filosofía del análisis NSP en su forma general pero con variaciones en la forma de simular los mecanismos de disipación de energía.

5.2.2 MECANISMO DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Físicamente es la zona del elemento estructural que ante una carga externa, experimenta un comportamiento no lineal, es decir la relación entre esfuerzo y

deformación en dicha zona del elemento estructural, disipa energía en forma de deformaciones no lineales (agrietamientos significativos).

Matemáticamente, para el análisis NSP de esta investigación, se simula los mecanismos de disipación de energía de dos formas:

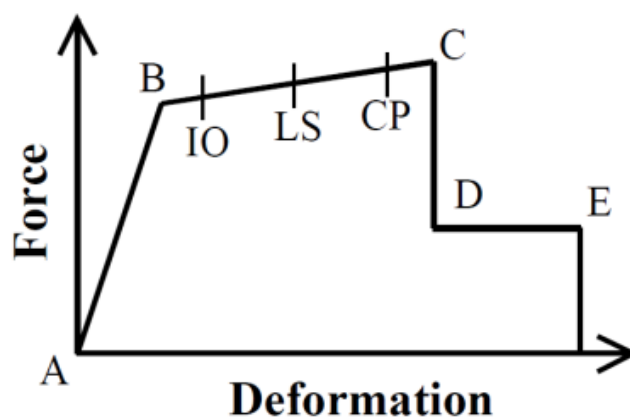
EL método de zonas plásticas, que en realidad no trata de una zona, sino de un punto teórico dentro del mecanismo de disipación de energía de cada elemento estructural; donde la rigidez de este punto teórico varía dependiendo del giro que se produzca, resultado del ciclo de carga en el que se encuentre el análisis.

El método de fibras, el cual se emplea un elemento no-lineal a lo largo de todo el mecanismo de disipación de energía. Es decir a diferencia del método de zonas plásticas, el elemento fibra no es un punto teórico, sino toda una longitud teórica de zona plástica; en la cual su rigidez varía de acuerdo a los modelos constitutivos de hormigón y acero que la definen.

5.2.3 CRITERIOS DE DESEMPEÑO ESTRUCTURAL

FEMA 273[7], FEMA 356 [6] y ATC40 [4], son los cuerpos normativos principales en los cuales se basó esta investigación.

FIGURA 5.1: Generalización de la relación fuerza-deformación para elementos de hormigón.



Fuente: FEMA 273, FEMA 356

LS: Life Safety (seguridad para la vida)

CP: Collapse Prevention (prevención de colapso)

IO: Stand for Immediate Occupancy (de inmediata ocupación)

5.2.4 PUNTO DE DESEMPEÑO

En análisis NSP el punto de desempeño se produce cuando un punto del desplazamiento lateral máximo de la estructura analizada, posee una demanda de ductilidad de la acción sísmica igual a la demanda de ductilidad de la estructura, (ver FIGURA 4.15 del capítulo 4).

5.2.5 CAPACIDAD

Es la representación de la habilidad de la estructura para soportar la demanda a la cual será sometida, donde la capacidad total de la estructura depende de la capacidad individual y de la relación esfuerzo - deformación de cada uno de sus sub componentes.

Dentro del procedimiento de NSP, una distribución de fuerzas laterales debe ser aplicada a la edificación hasta que los componentes de la estructura empiecen a fluir; la **curva de capacidad** muestra aproximadamente el comportamiento de la estructura una vez que superó su límite elástico.

5.2.6 DEMANDA

La demanda es representada por los movimientos del terreno durante un sismo, donde dichos movimientos del terreno, producen complejos desplazamientos horizontales durante el evento; para unos desplazamientos del terreno y estructura dada, la demanda de desplazamiento es estimada como la máxima respuesta esperada de la edificación bajo esos movimientos del terreno.

5.2.7 DESEMPEÑO

Una vez que la curva de demanda capacidad ha sido definida, el desempeño debe ser revisado con base en niveles de daño como los presentados por FEMA 273[7] y FEMA 356 [6].

5.3 PARÁMETRO DE COMPARACIÓN

Con base en todos los conceptos desarrollados a lo largo de esta investigación, y al breve resumen de las principales características de NSP descritas en este capítulo; se optó, que el parámetro que sirve como medio de comparación entre ambos métodos (zonas plásticas y fibras) es el **PUNTO DE DESEMPEÑO**.

Ambos métodos, poseen una muy marcada diferencia en la simulación matemática del mecanismo de disipación de energía; por tal razón, no es viable comparar ambos métodos a través de niveles de desempeño tales como LS,CP,IO, puesto que estos se basan en el grado de rotación de un punto teórico dentro del mecanismo de disipación de energía. Solo el método de zonas plásticas realiza el análisis de esta manera, no con esto menospreciando en lo absoluto el método de fibras, que no usa un modelo de rótula plástica concentrada, sino que asume toda la zona de mecanismo de disipación de energía como un elemento que posee un comportamiento no lineal; es decir en teoría esta forma de representación matemática, se acerca más a la realidad que el método de zonas plásticas.

Es por esta razón que el punto de desempeño, es el mejor medio de comparar ambos métodos, ya que ambos se basan en ATC40[4] para su obtención, además de que el punto de desempeño en teoría es comparable con un desplazamiento inelástico proveniente de un análisis lineal; es decir el punto de desempeño servirá para comparar dos tipos de análisis no lineales entre sí y a su vez con un análisis lineal extrapolado a un desplazamiento inelástico por medio de un factor de reducción de resistencia sísmica.

CAPÍTULO 6

CONFECCIÓN DE LA BASE ESTADÍSTICA.

6.1 GENERALIDADES

Una vez establecido el parámetro de comparación (punto de desempeño), entre ambos métodos para el análisis NSP, con base en en los 200 modelos del ANEXO 3 para el método de zonas plásticas, y los 90 modelos del ANEXO 4 para el método de fibras. Se realizaron los cálculos respectivos con base en las rutinas y procesos descritos en capítulos anteriores, obteniendo la siguiente base estadística por cada método.

6.2 BASE ESTADÍSTICA, MÉTODO DE ZONAS PLÁSTICAS

En la TABLA 6.1, se observa la base estadística del análisis NSP, con base en el método de zonas plásticas, para los 200 modelos del ANEXO 3.

TABLA 6.1: Datos estadísticos, punto de desempeño, método de zonas plásticas.

Modelo	# de ciclos para max Dt	Coordenadas del punto de desempeño			
		Sa (g)	Sd	V (ton)	D (m)
1	10	1.232	0.094	111.487	0.127
2	22	0.626	0.077	56.719	0.103
3	28	0.643	0.076	58.678	0.101
4	27	0.816	0.084	76.050	0.112
5	29	0.823	0.083	76.771	0.111
6	32	0.827	0.084	77.188	0.112
7	30	0.833	0.084	77.871	0.111
8	27	0.832	0.084	77.751	0.112
9	28	0.839	0.084	78.453	0.112
10	30	0.828	0.085	77.305	0.113
11	31	0.835	0.084	77.994	0.112
12	45	0.673	0.079	61.510	0.105
13	38	0.631	0.077	57.240	0.103
14	49	0.668	0.079	61.004	0.105
15	37	0.630	0.077	57.190	0.103
16	51	0.669	0.079	61.097	0.105
17	43	0.631	0.077	57.244	0.103
18	41	0.667	0.079	60.887	0.105

19	47	0.631	0.077	57.292	0.103
20	45	0.690	0.080	63.235	0.106
21	47	0.640	0.077	58.250	0.101
22	52	0.686	0.079	63.043	0.105
23	33	0.639	0.076	58.152	0.101
24	51	0.687	0.079	63.099	0.105
25	43	0.638	0.077	58.195	0.102
26	47	0.685	0.079	62.871	0.105
27	36	0.638	0.077	58.157	0.102
28	28	0.753	0.082	72.466	0.107
29	19	0.759	0.082	73.526	0.109
30	25	0.851	0.084	77.129	0.112
31	21	0.901	0.088	84.200	0.121
32	24	0.911	0.086	86.425	0.116
33	25	0.762	0.081	73.146	0.107
34	20	0.795	0.082	73.776	0.108
35	19	0.853	0.083	77.492	0.111
36	24	0.923	0.086	85.812	0.118
37	21	0.919	0.087	87.054	0.117
38	25	0.634	0.077	57.243	0.102
39	30	0.632	0.077	57.242	0.103
40	27	0.628	0.077	57.105	0.103
41	33	0.626	0.078	57.127	0.104
42	28	0.626	0.078	56.840	0.103
43	32	0.694	0.079	61.603	0.106
44	26	0.727	0.083	66.333	0.114
45	28	0.659	0.080	61.789	0.106
46	25	0.626	0.078	57.365	0.102
47	28	0.626	0.078	58.880	0.103
48	28	0.721	0.078	64.197	0.104
49	31	0.735	0.080	68.054	0.108
50	26	0.674	0.080	63.319	0.105
51	27	0.643	0.076	58.889	0.100
52	32	0.643	0.076	58.703	0.100
53	26	0.635	0.077	58.105	0.102
54	33	0.637	0.077	58.136	0.101
55	29	0.640	0.077	58.237	0.102
56	33	0.643	0.075	58.313	0.100
57	34	0.643	0.076	58.588	0.100
58	33	0.661	0.080	62.452	0.104
59	24	0.719	0.081	64.638	0.107
60	23	0.840	0.084	74.931	0.115
61	25	0.886	0.084	82.143	0.116
62	31	0.674	0.079	63.518	0.103
63	26	0.727	0.079	65.231	0.105
64	21	0.845	0.083	76.010	0.114

65	20	0.910	0.085	83.846	0.118
66	27	0.641	0.076	57.806	0.101
67	29	0.634	0.076	57.640	0.101
68	30	0.629	0.078	57.531	0.103
69	26	0.626	0.079	57.204	0.104
70	25	0.826	0.081	73.248	0.113
71	30	0.752	0.082	71.424	0.111
72	27	0.660	0.080	62.330	0.105
73	28	0.626	0.078	57.422	0.102
74	20	0.835	0.081	74.932	0.111
75	27	0.762	0.081	72.766	0.109
76	31	0.674	0.079	63.505	0.104
77	29	0.643	0.076	58.894	0.099
78	25	0.629	0.078	57.638	0.103
79	29	0.634	0.078	57.742	0.103
80	33	0.640	0.077	57.888	0.102
81	29	0.643	0.075	58.179	0.100
82	28	0.697	0.080	62.251	0.107
83	29	0.708	0.079	63.677	0.106
84	31	0.635	0.077	58.062	0.102
85	30	0.753	0.082	72.368	0.108
86	25	0.762	0.081	73.087	0.108
87	30	0.634	0.077	57.381	0.102
88	28	0.665	0.079	62.800	0.103
89	25	0.709	0.079	64.028	0.104
90	23	0.840	0.084	74.931	0.115
91	21	0.901	0.084	82.650	0.118
92	32	0.669	0.080	63.161	0.105
93	26	0.723	0.080	64.772	0.106
94	22	0.842	0.083	75.347	0.114
95	25	0.907	0.085	83.282	0.118
96	31	0.631	0.077	57.936	0.101
97	31	0.696	0.080	62.551	0.107
98	23	0.825	0.082	73.680	0.112
99	22	0.829	0.081	73.803	0.112
100	26	0.637	0.076	58.348	0.100
101	30	0.705	0.079	63.282	0.106
102	21	0.830	0.081	74.105	0.111
103	22	0.825	0.081	73.982	0.112
104	23	0.728	0.080	67.526	0.108
105	27	0.669	0.081	62.972	0.106
106	28	0.640	0.077	58.518	0.101
107	36	0.643	0.075	58.353	0.100
108	32	0.716	0.079	63.776	0.105
109	29	0.735	0.082	67.886	0.110
110	27	0.673	0.079	62.904	0.104

111	27	0.643	0.076	58.836	0.100
112	30	0.632	0.078	57.703	0.103
113	32	0.637	0.076	57.775	0.101
114	34	0.640	0.077	58.191	0.102
115	24	0.637	0.076	57.657	0.101
116	30	0.632	0.078	57.618	0.103
117	33	0.629	0.077	57.240	0.103
118	30	0.629	0.078	57.531	0.103
119	25	0.629	0.077	56.920	0.102
120	34	0.628	0.077	56.865	0.102
121	28	0.627	0.077	56.814	0.103
122	24	0.626	0.078	56.860	0.103
123	39	0.627	0.078	56.760	0.103
124	37	0.631	0.077	57.303	0.103
125	28	0.629	0.077	56.871	0.102
126	35	0.629	0.077	56.904	0.102
127	28	0.627	0.077	56.822	0.103
128	27	0.626	0.078	56.821	0.103
129	25	0.626	0.077	56.774	0.103
130	39	0.631	0.077	57.327	0.103
131	29	0.631	0.077	56.992	0.102
132	34	0.630	0.077	57.020	0.102
133	26	0.628	0.077	56.937	0.102
134	30	0.626	0.078	56.894	0.104
135	29	0.626	0.077	56.803	0.103
136	39	0.635	0.077	57.769	0.103
137	35	0.629	0.077	56.924	0.103
138	32	0.629	0.077	57.019	0.103
139	32	0.629	0.077	56.996	0.103
140	36	0.628	0.077	56.969	0.103
141	28	0.629	0.077	56.964	0.102
142	36	0.630	0.077	57.042	0.103
143	31	0.631	0.078	57.247	0.104
144	36	0.628	0.077	57.018	0.103
145	37	0.629	0.078	57.175	0.104
146	38	0.632	0.077	57.285	0.102
147	34	0.628	0.077	57.022	0.103
148	32	0.629	0.077	57.051	0.103
149	36	0.627	0.077	56.912	0.103
150	41	0.630	0.078	57.142	0.103
151	35	0.630	0.077	57.078	0.102
152	26	0.653	0.078	58.594	0.104
153	46	0.658	0.079	59.715	0.106
154	37	0.638	0.079	58.354	0.105
155	36	0.627	0.077	57.076	0.103
156	49	0.703	0.081	64.522	0.108

157	24	0.653	0.078	58.557	0.104
158	44	0.657	0.079	59.661	0.106
159	37	0.639	0.079	58.370	0.105
160	32	0.627	0.078	56.987	0.103
161	42	0.627	0.078	56.785	0.103
162	47	0.704	0.082	64.661	0.109
163	30	0.676	0.078	60.118	0.105
164	38	0.682	0.080	62.115	0.108
165	44	0.647	0.080	59.626	0.106
166	35	0.626	0.078	57.167	0.103
167	32	0.627	0.078	56.840	0.103
168	38	0.780	0.083	72.299	0.111
169	34	0.653	0.078	58.668	0.104
170	57	0.657	0.079	59.954	0.105
171	53	0.658	0.079	60.013	0.105
172	40	0.656	0.079	59.941	0.106
173	38	0.653	0.078	58.686	0.104
174	42	0.677	0.079	60.399	0.105
175	57	0.683	0.080	62.779	0.107
176	48	0.668	0.080	61.655	0.107
177	48	0.685	0.081	62.989	0.108
178	34	0.713	0.082	65.024	0.109
179	35	0.654	0.079	59.084	0.104
180	43	0.669	0.080	61.781	0.107
181	49	0.639	0.079	58.648	0.105
182	44	0.685	0.081	62.834	0.108
183	42	0.667	0.080	60.686	0.106
184	27	0.641	0.077	58.556	0.102
185	30	0.642	0.077	58.552	0.101
186	30	0.642	0.077	58.570	0.101
187	28	0.643	0.076	58.565	0.101
188	39	0.638	0.077	58.106	0.102
189	27	0.641	0.077	58.580	0.102
190	30	0.642	0.076	58.560	0.101
191	31	0.642	0.077	58.597	0.102
192	34	0.643	0.076	58.569	0.100
193	31	0.643	0.076	58.644	0.100
194	39	0.639	0.077	58.224	0.102
195	28	0.640	0.077	58.452	0.102
196	32	0.641	0.077	58.461	0.101
197	31	0.641	0.077	58.462	0.102
198	33	0.643	0.076	58.444	0.101
199	31	0.643	0.076	58.625	0.101
200	39	0.635	0.077	57.709	0.102

Elaboración: Carlos Celi

6.3 BASE ESTADÍSTICA, MÉTODO DE FIBRAS

En la TABLA 6.2, se observa la base estadística del análisis NSP, con base en el método de fibras, para los 90 modelos del ANEXO 4.

TABLA 6.2: Datos estadísticos, punto de desempeño, método de fibras.

Modelo	Coordenadas del punto de desempeño			
	Sa	Sd	V (ton)	Dt (m)
1	0.619	0.109	87.890	0.109
2	0.659	0.146	93.570	0.146
3	0.333	0.156	47.280	0.156
4	0.340	0.157	48.280	0.157
5	0.542	0.161	76.940	0.161
6	0.551	0.161	78.199	0.161
7	0.553	0.160	78.483	0.160
8	0.546	0.161	77.532	0.161
9	0.399	0.159	56.650	0.159
10	0.388	0.160	55.153	0.160
11	0.341	0.159	48.420	0.159
12	0.390	0.160	55.330	0.160
13	0.392	0.160	55.590	0.160
14	0.399	0.161	56.615	0.161
15	0.416	0.160	59.080	0.160
16	0.559	0.163	79.321	0.163
17	0.579	0.162	82.161	0.162
18	0.567	0.162	80.486	0.162
19	0.636	0.165	90.340	0.165
20	0.679	0.168	96.389	0.168
21	0.548	0.160	77.745	0.160
22	0.566	0.161	80.400	0.161
23	0.349	0.160	49.550	0.160
24	0.352	0.159	49.941	0.159
25	0.386	0.161	54.854	0.161
26	0.412	0.160	58.510	0.160
27	0.398	0.157	56.459	0.157
28	0.380	0.160	53.917	0.160
29	0.362	0.160	51.361	0.160
30	0.386	0.160	54.740	0.160
31	0.362	0.160	51.361	0.160
32	0.350	0.160	49.757	0.160
33	0.352	0.159	49.956	0.159
34	0.478	0.159	67.876	0.159
35	0.466	0.158	65.789	0.158
36	0.510	0.160	72.420	0.160

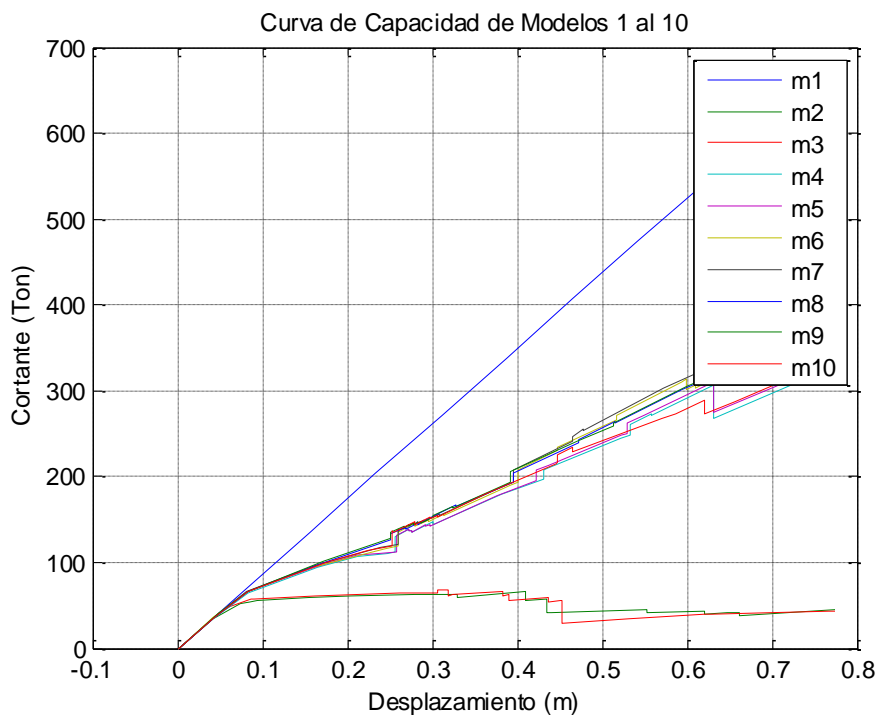
37	0.577	0.162	81.920	0.162
38	0.476	0.158	67.564	0.158
39	0.673	0.166	95.594	0.166
40	0.468	0.157	66.456	0.157
41	0.527	0.160	74.876	0.160
42	0.463	0.159	65.770	0.159
43	0.389	0.161	55.238	0.161
44	0.472	0.159	67.081	0.159
45	0.388	0.159	55.018	0.159
46	0.410	0.155	58.234	0.155
47	0.416	0.159	59.129	0.159
48	0.347	0.160	49.331	0.160
49	0.559	0.160	79.364	0.160
50	0.559	0.160	79.420	0.160
51	0.473	0.158	67.210	0.158
52	0.453	0.158	64.341	0.158
53	0.511	0.159	72.560	0.159
54	0.568	0.162	80.613	0.162
55	0.388	0.159	55.153	0.159
56	0.412	0.156	58.489	0.156
57	0.473	0.160	67.159	0.160
58	0.426	0.159	60.492	0.159
59	0.425	0.159	60.307	0.159
60	0.374	0.160	53.136	0.160
61	0.353	0.160	50.169	0.160
62	0.344	0.160	48.905	0.160
63	0.343	0.160	48.721	0.160
64	0.356	0.161	50.595	0.161
65	0.342	0.160	48.521	0.160
66	0.350	0.157	49.740	0.157
67	0.352	0.159	49.941	0.159
68	0.349	0.161	49.501	0.161
69	0.348	0.160	49.416	0.160
70	0.339	0.160	48.124	0.160
71	0.348	0.160	49.402	0.160
72	0.349	0.161	49.510	0.161
73	0.351	0.160	49.799	0.160
74	0.345	0.161	49.004	0.161
75	0.348	0.160	49.345	0.160
76	0.356	0.162	50.552	0.162
77	0.353	0.160	50.169	0.160
78	0.345	0.161	49.047	0.161
79	0.358	0.160	50.864	0.160
80	0.354	0.161	50.254	0.161
81	0.376	0.160	53.448	0.160
82	0.366	0.160	51.929	0.160

83	0.363	0.159	51.532	0.159
84	0.356	0.161	50.552	0.161
85	0.425	0.158	60.322	0.158
86	0.375	0.160	53.310	0.160
87	0.382	0.160	54.216	0.160
88	0.394	0.159	55.919	0.159
89	0.370	0.159	52.583	0.159
90	0.357	0.160	50.694	0.160

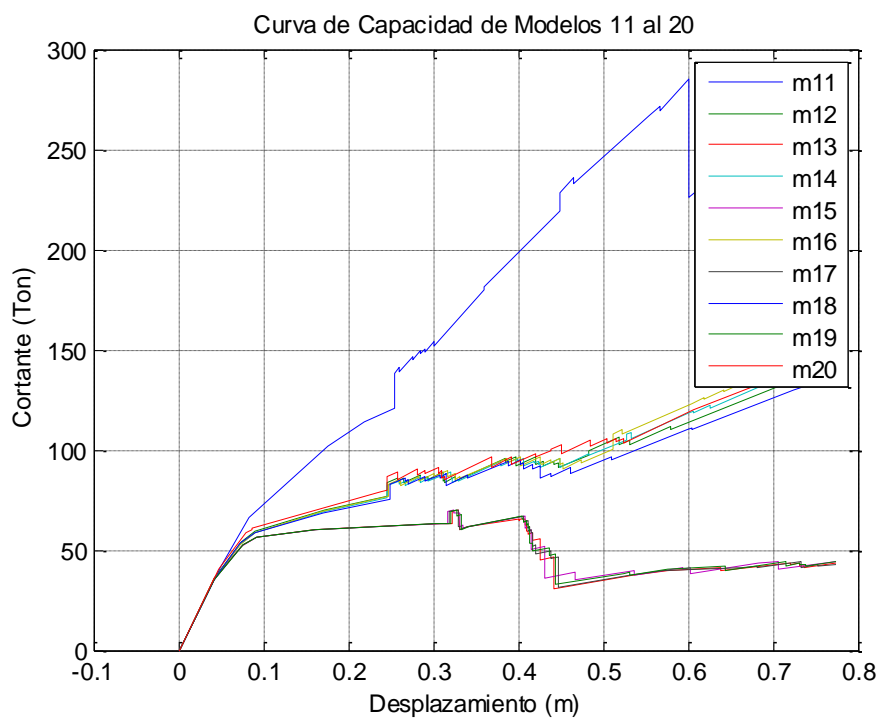
Elaboración: Carlos Celi

En las FIGURAS desde la 6.1 a la 6.21, se muestran las curvas de capacidad realizadas con base en el método de zonas plásticas, mediante el uso del programa SAP2000 [11], que sigue las recomendaciones de ATC40 [4] y FEMA356 [6], resumidas en capítulos anteriores.

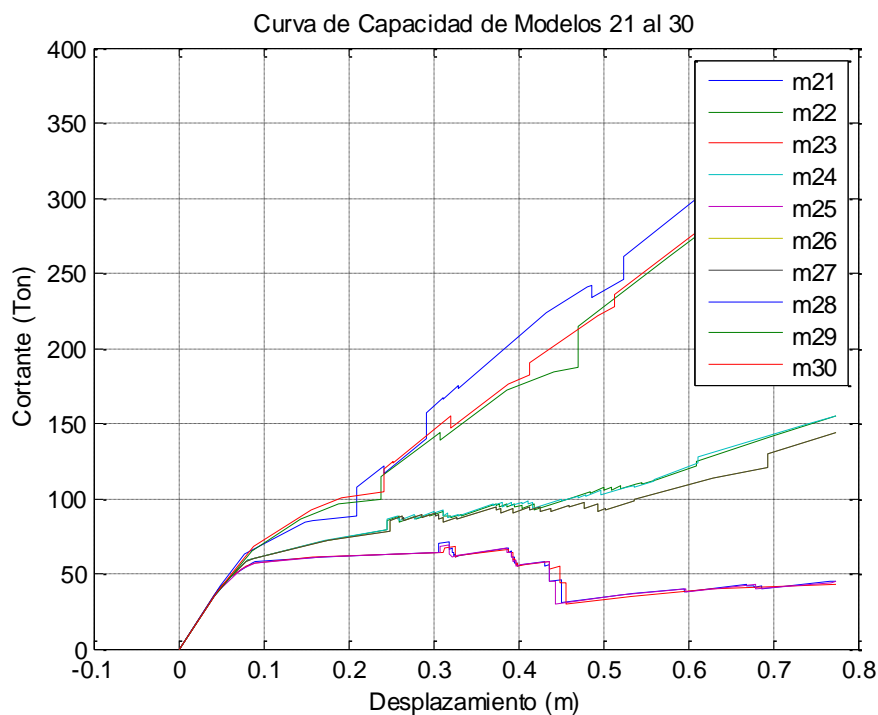
FIGURA 6.1: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 1 al 10



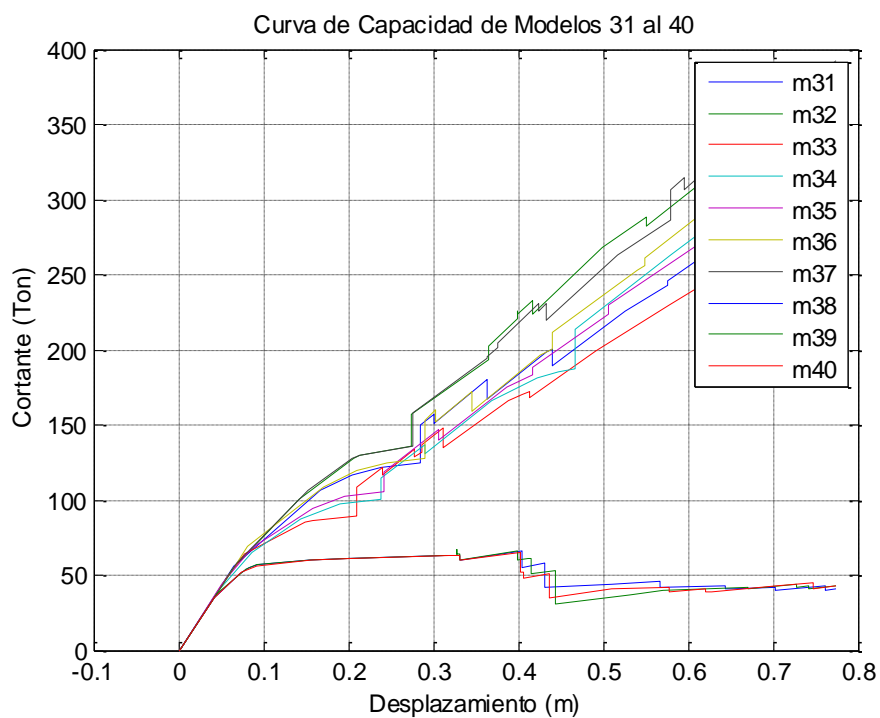
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.2: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 11 al 20

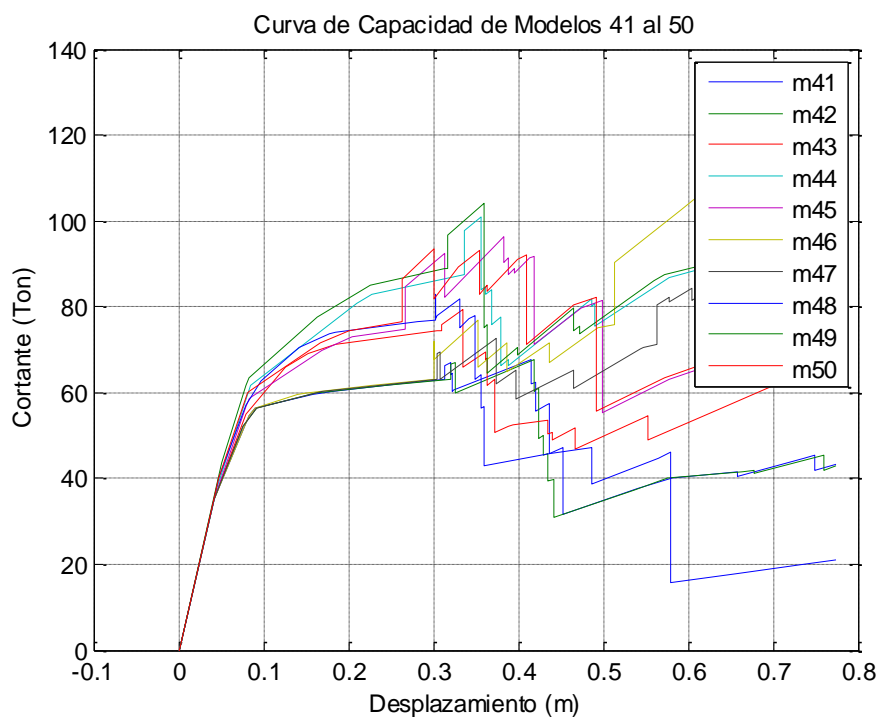
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.3: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 21 al 30

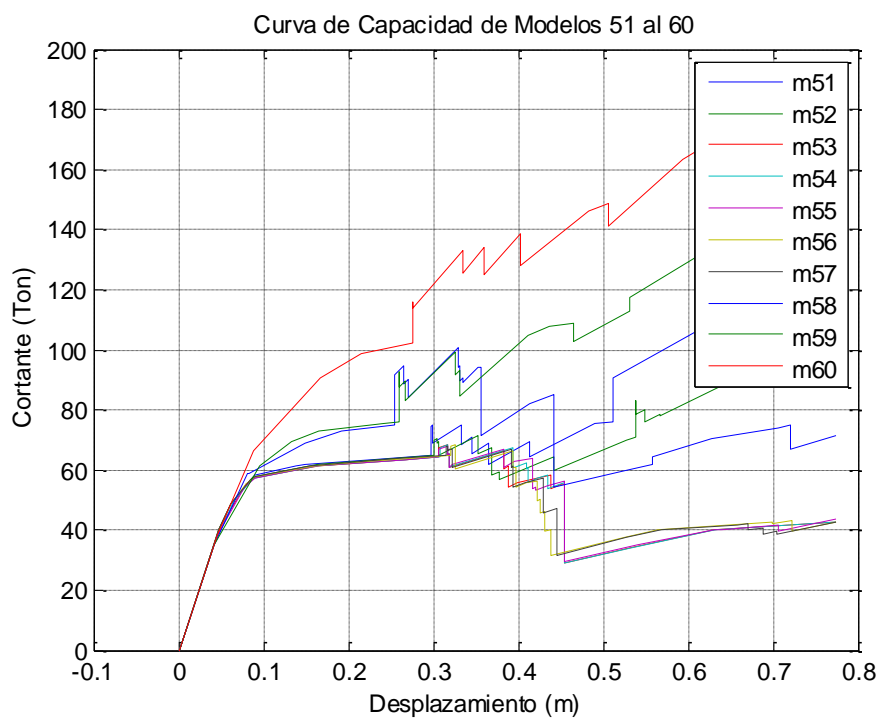
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.4: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 31 al 40

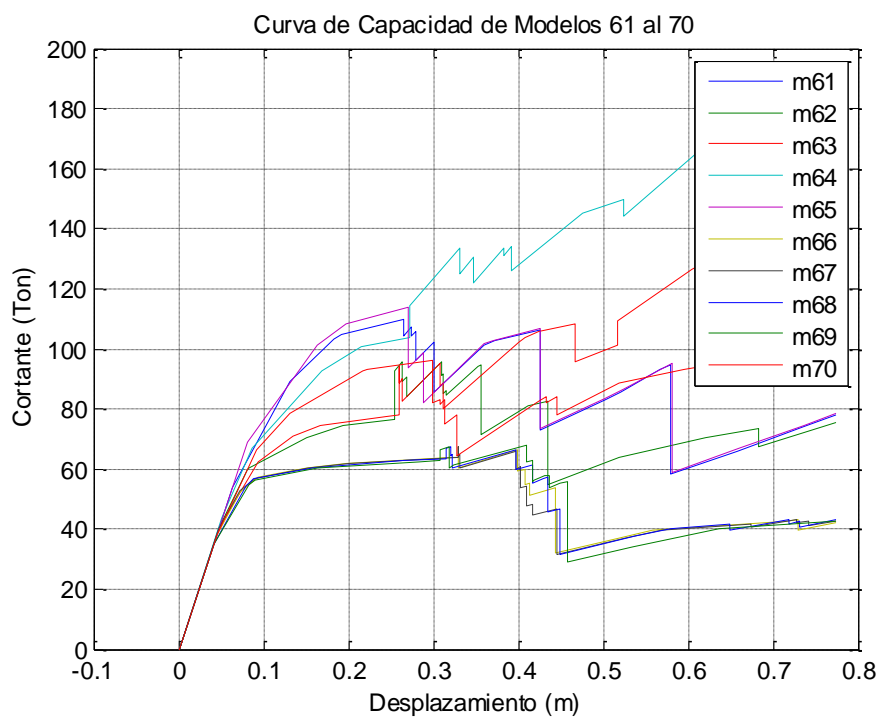
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.5: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 41 al 50

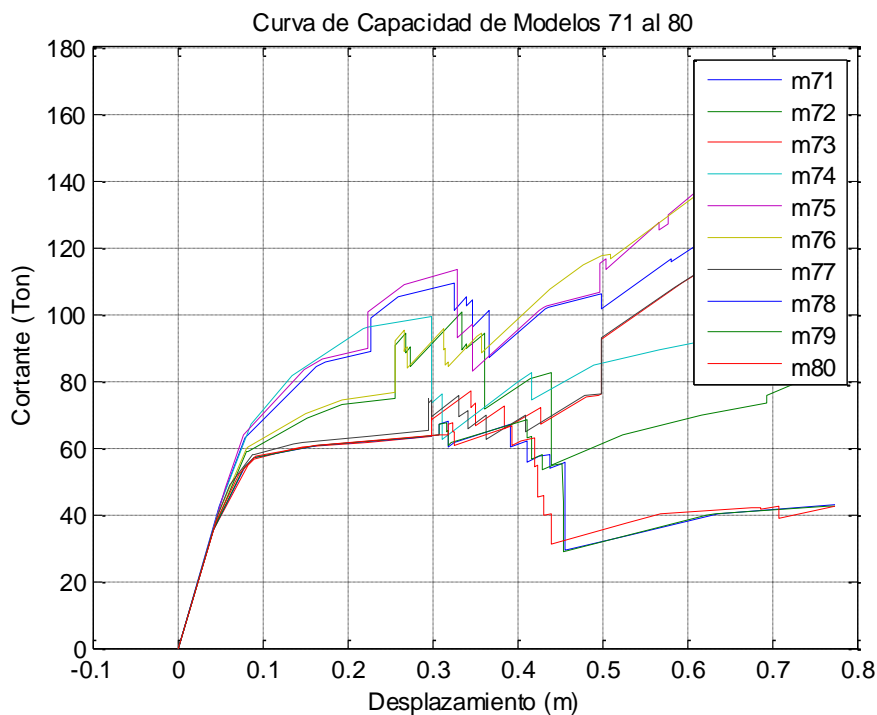
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.6: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 51 al 60

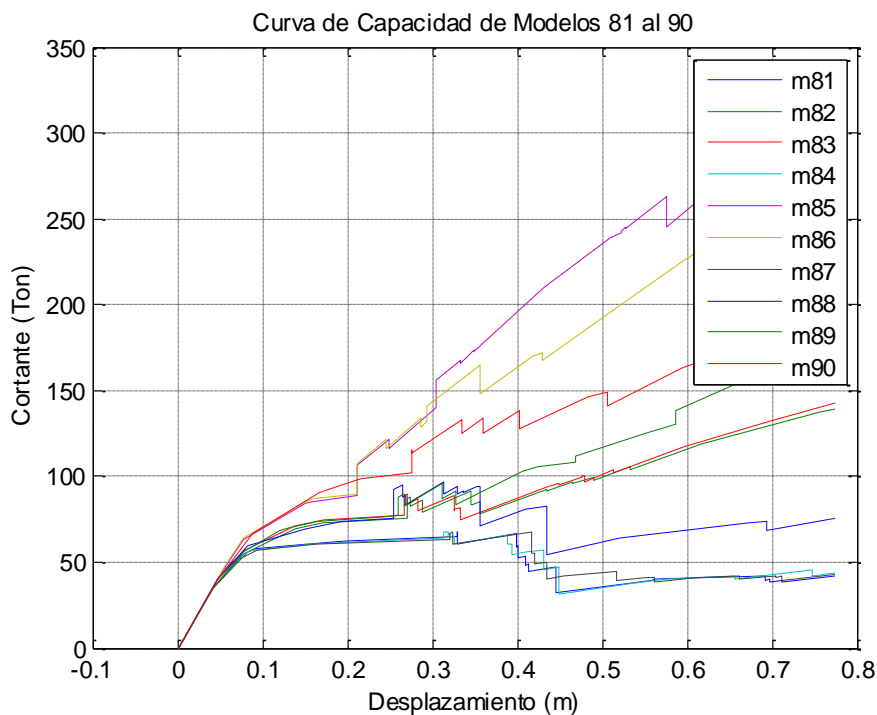
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.7: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 61 al 70

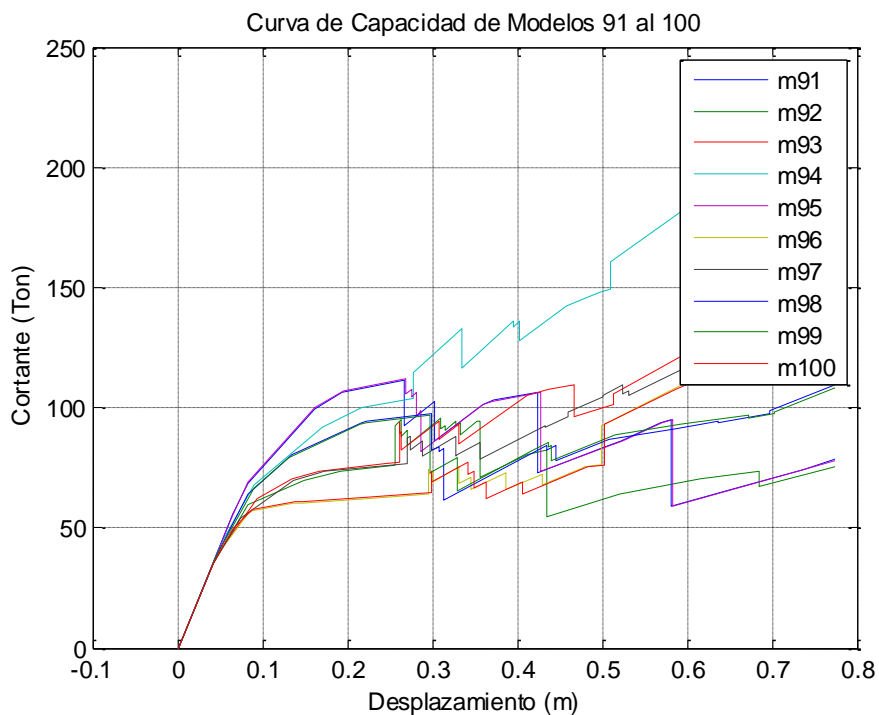
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.8: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 71 al 80

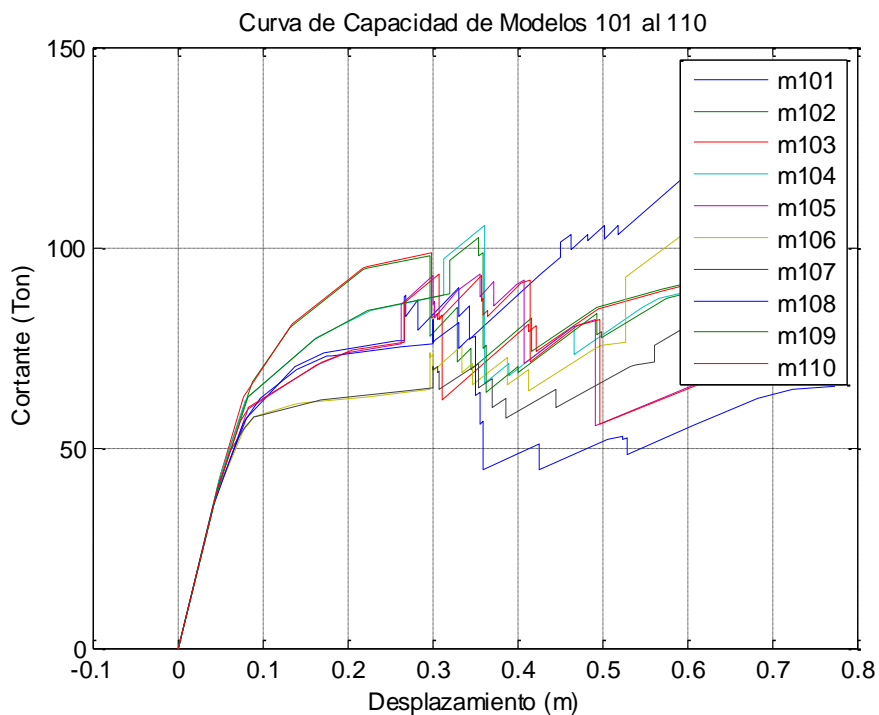
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.9: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 81 al 90

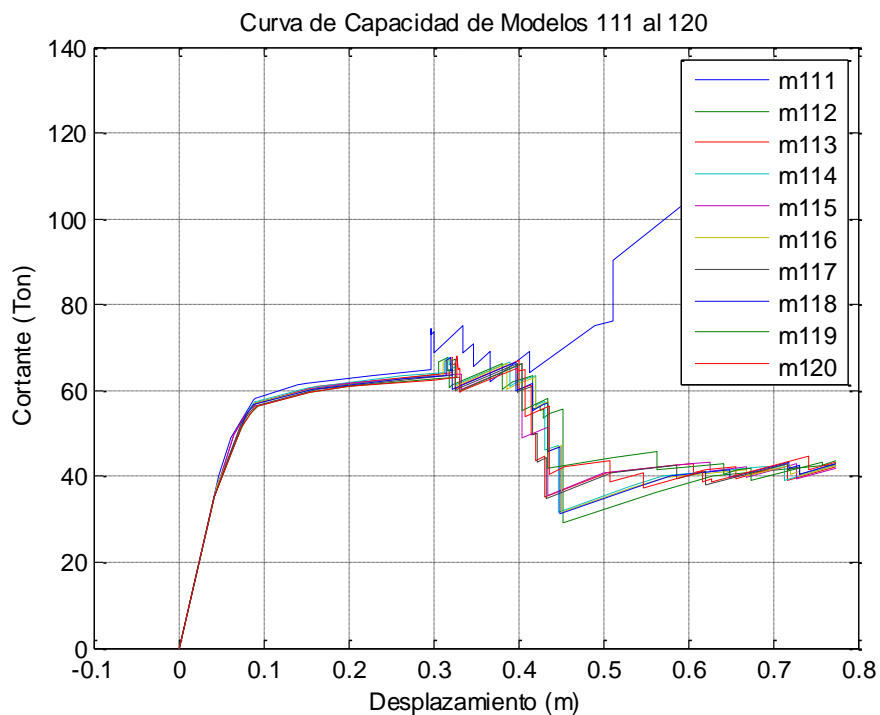
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.10: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 91 al 100

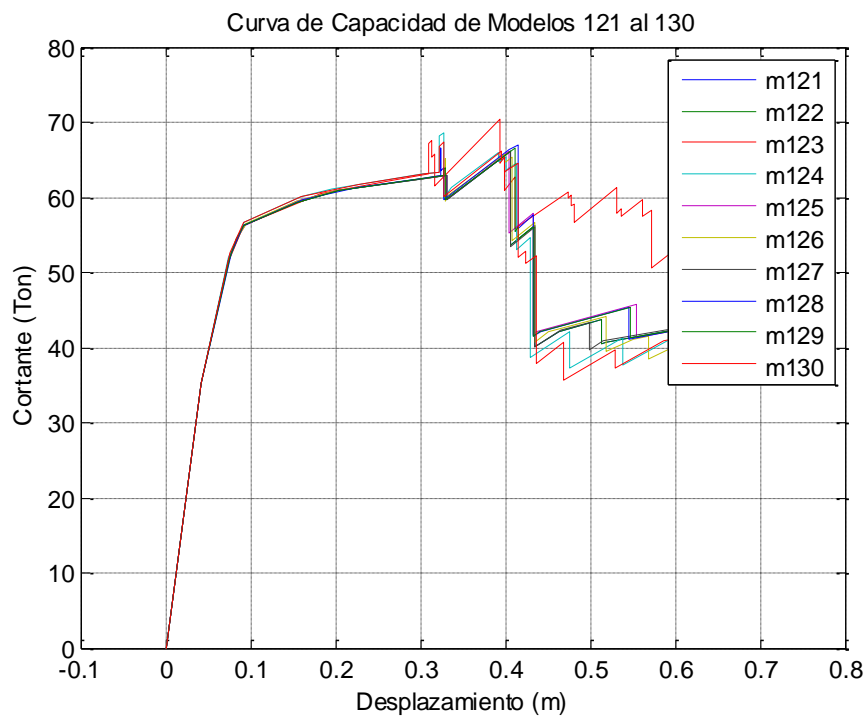
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.11: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 101 al 110

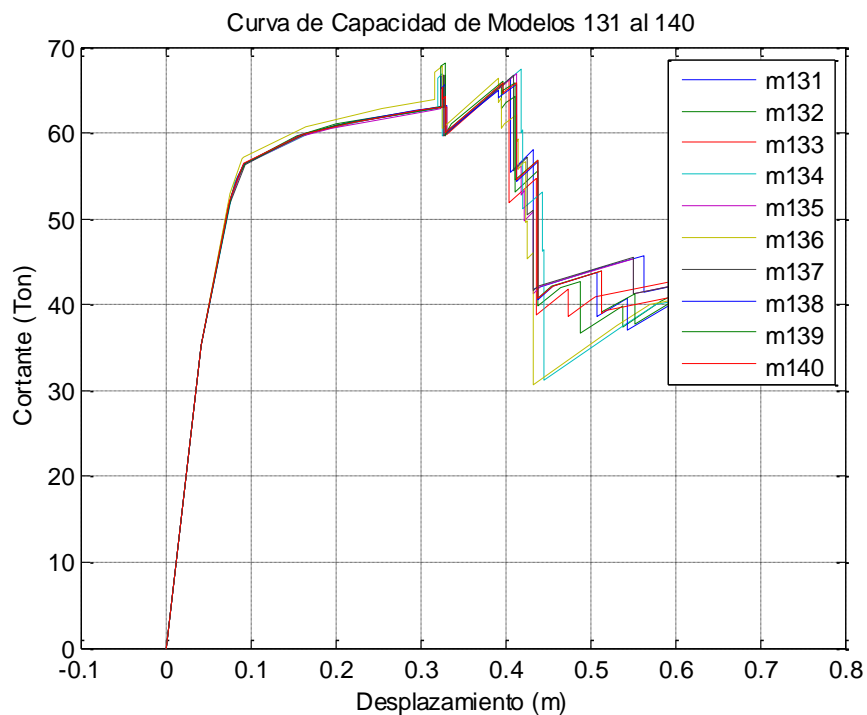
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.12: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 111 al 120

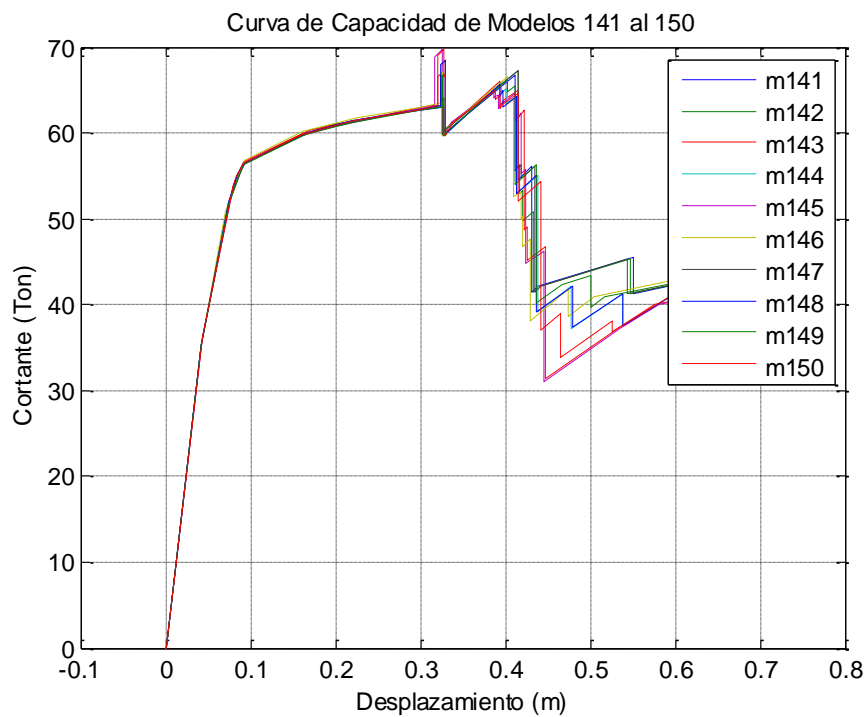
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.13: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 121 al 130

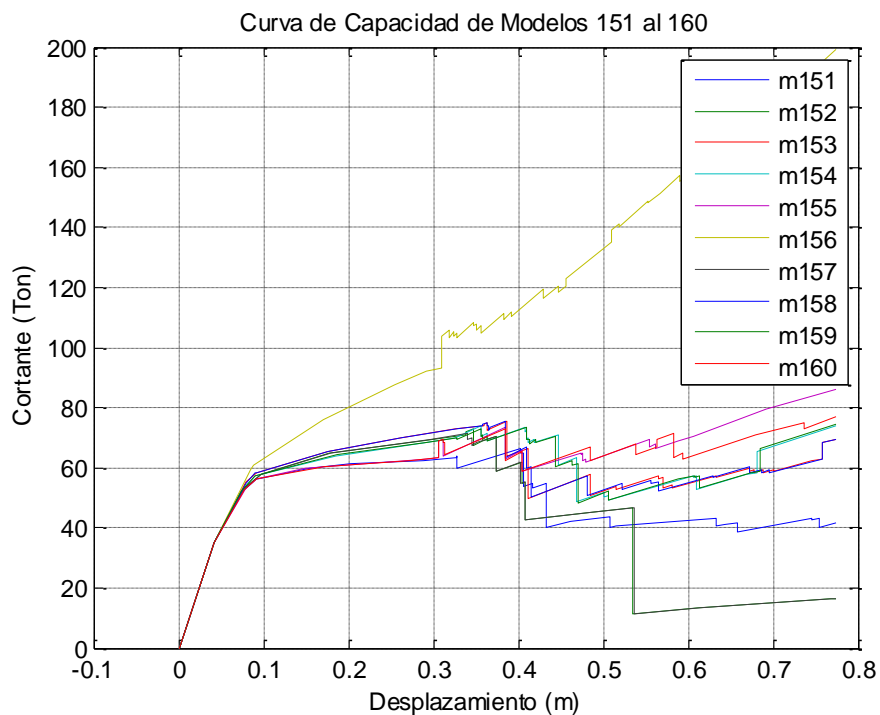
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.14: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 131 al 140

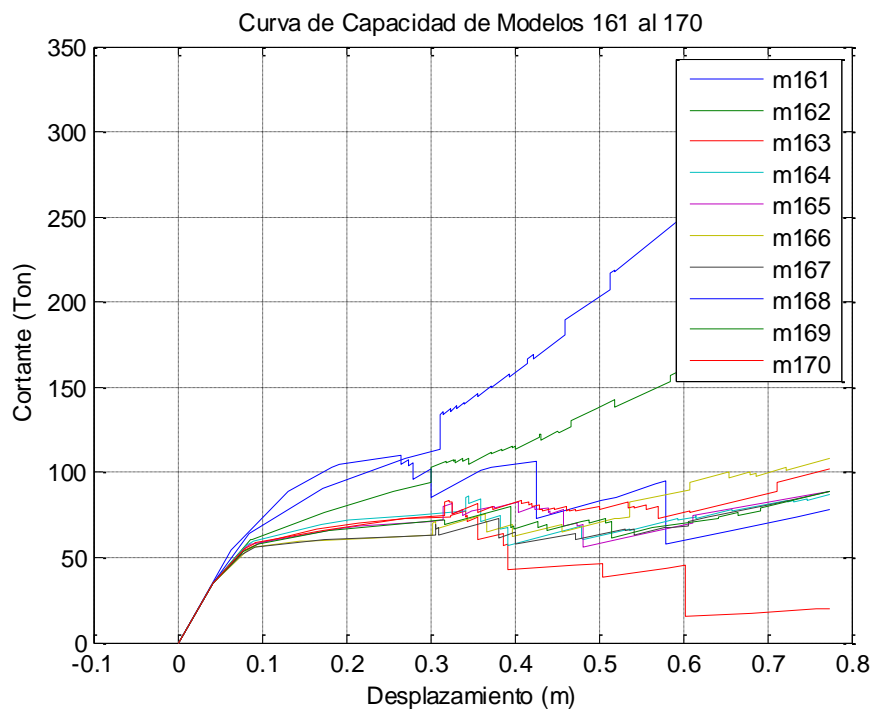
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.15: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 141 al 150

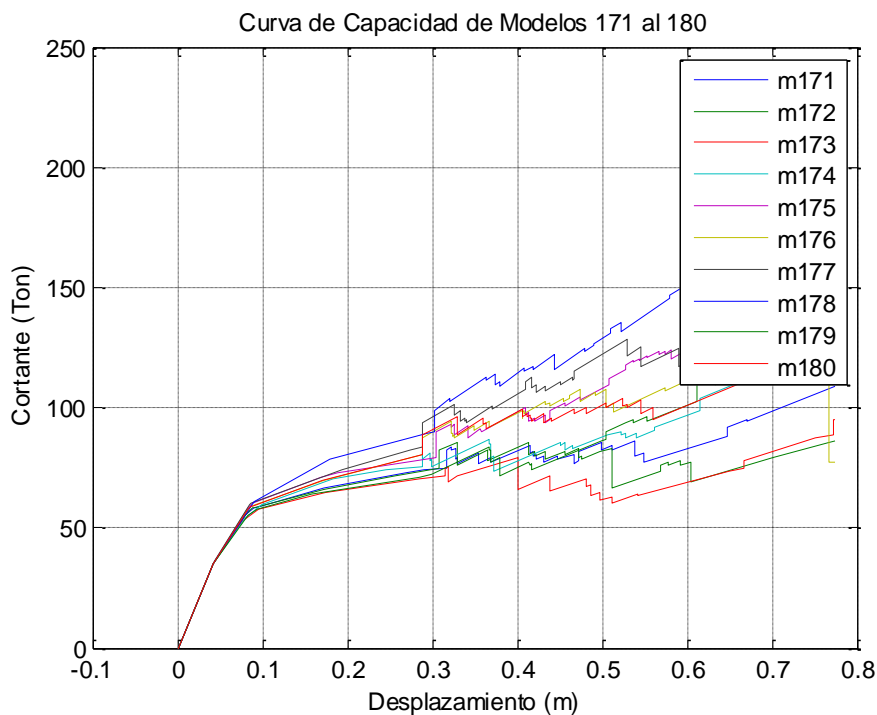
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.16: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 151 al 160

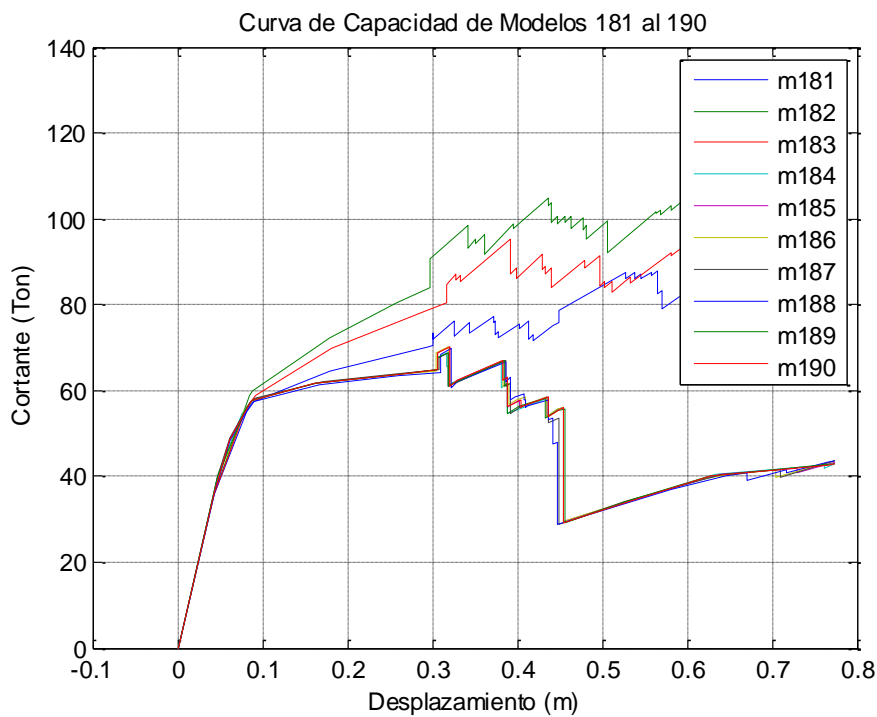
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.17: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 161 al 170

Elaboración: Carlos Celi

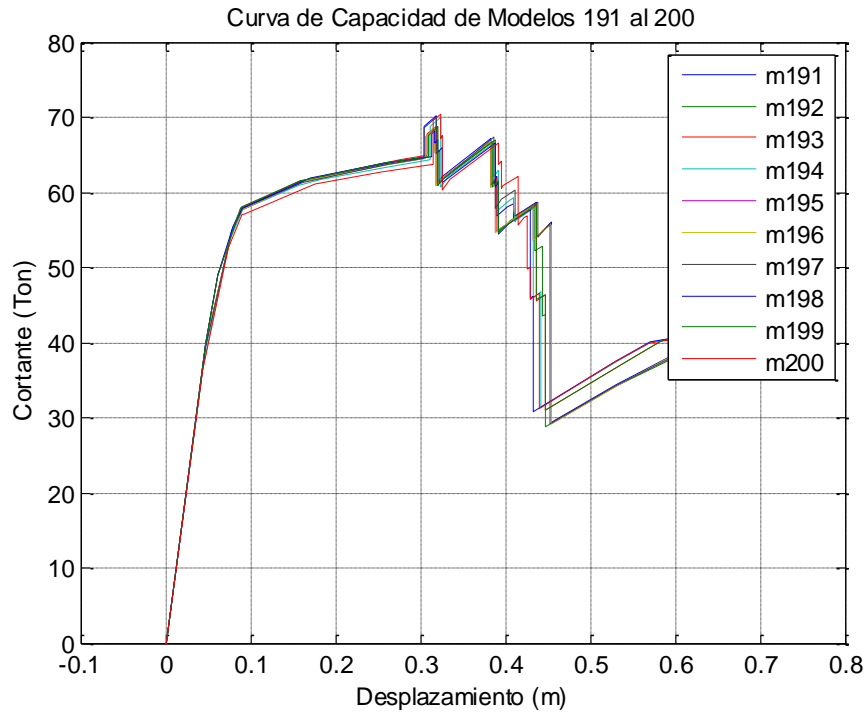
FIGURA 6.18: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 171 al 180

Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.19: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 181 al 190

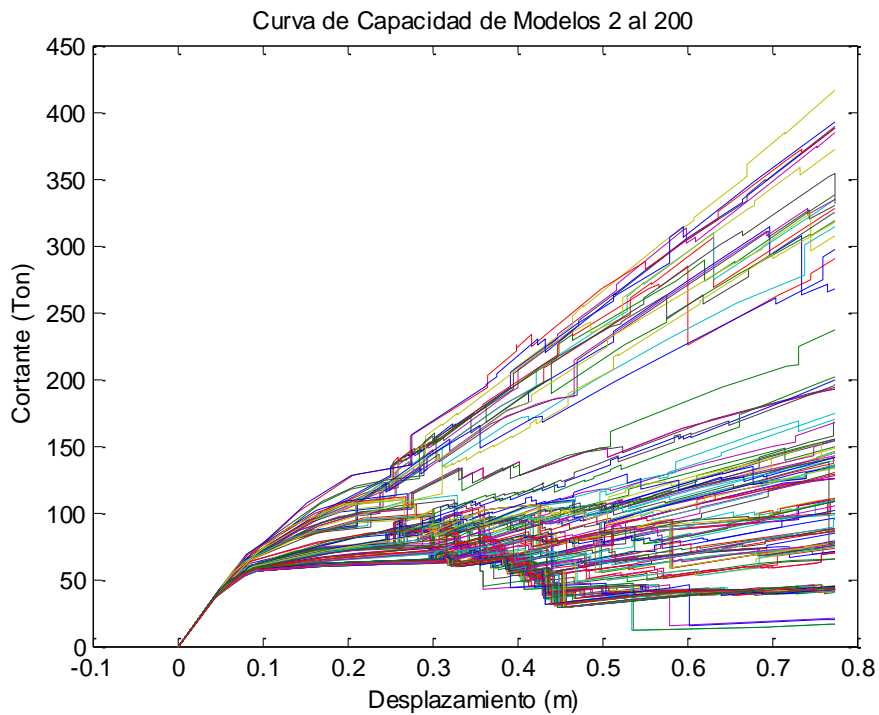
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.20: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 191 al 200



Elaboración: Carlos Celi

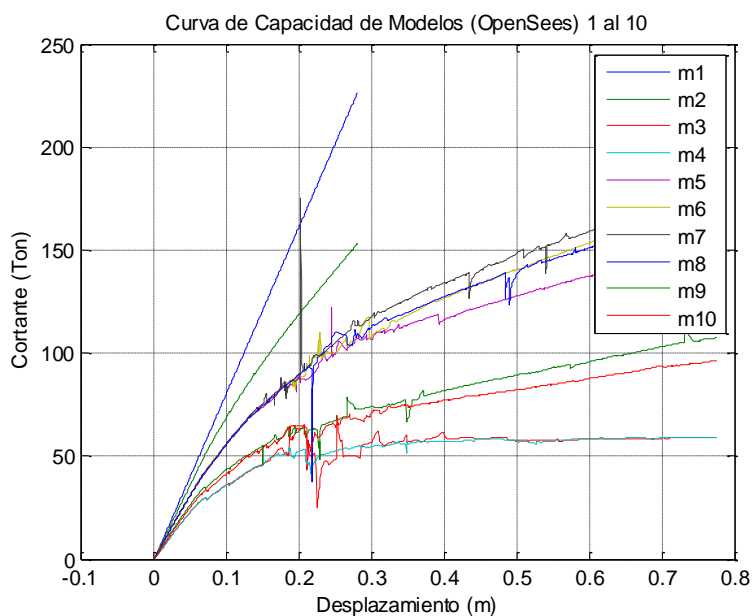
FIGURA 6.21: Curvas de capacidad (método zonas plásticas), modelos 2 al 200



Elaboración: Carlos Celi

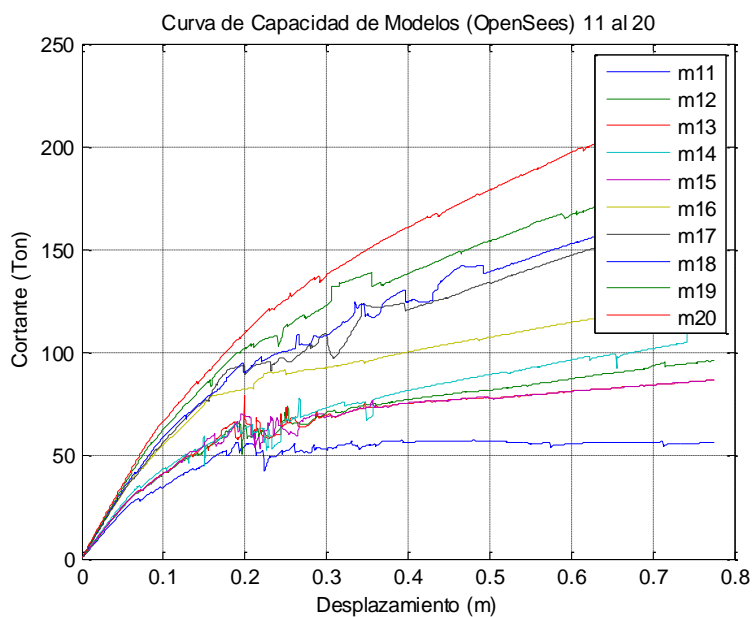
En las FIGURAS desde la 6.22 a la 6.32, se muestran las curvas de capacidad realizadas en base al método de fibras, mediante el uso de los procesos y subrutinas desarrolladas para esta investigación; que se detallan en capítulos anteriores.

FIGURA 6.22: Curvas de capacidad (método de fibras), modelos 1 al 10



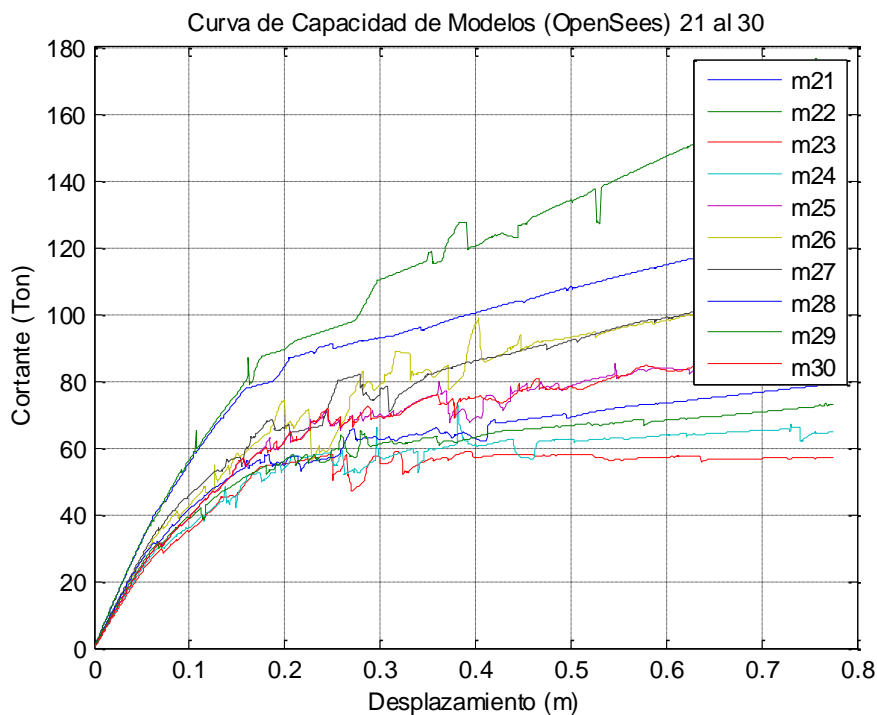
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.23: Curvas de capacidad (método de fibras), modelos 11 al 20



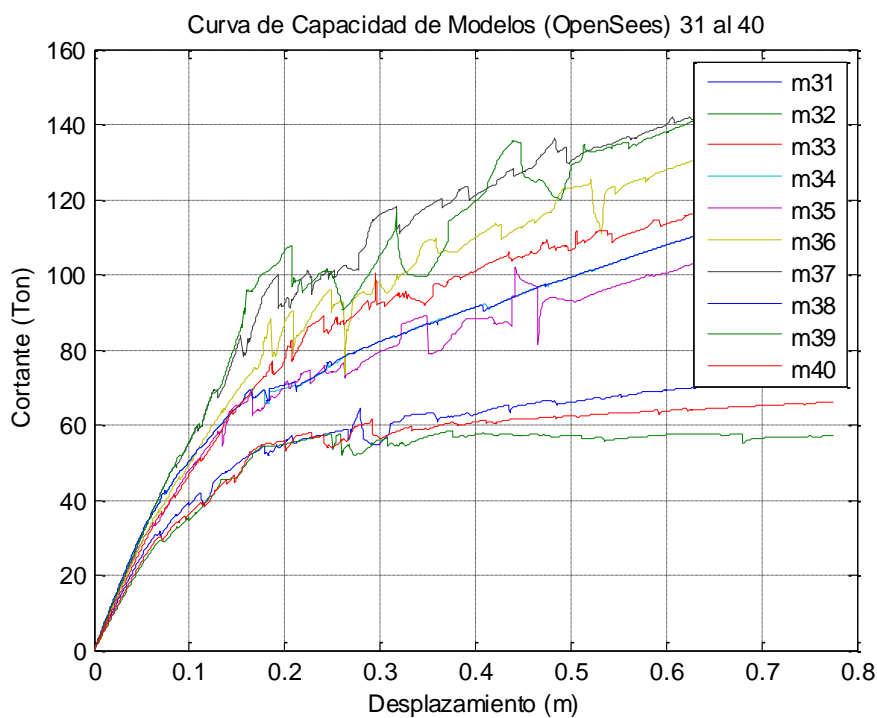
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.24: Curvas de capacidad (método de fibras), modelos 21 al 30

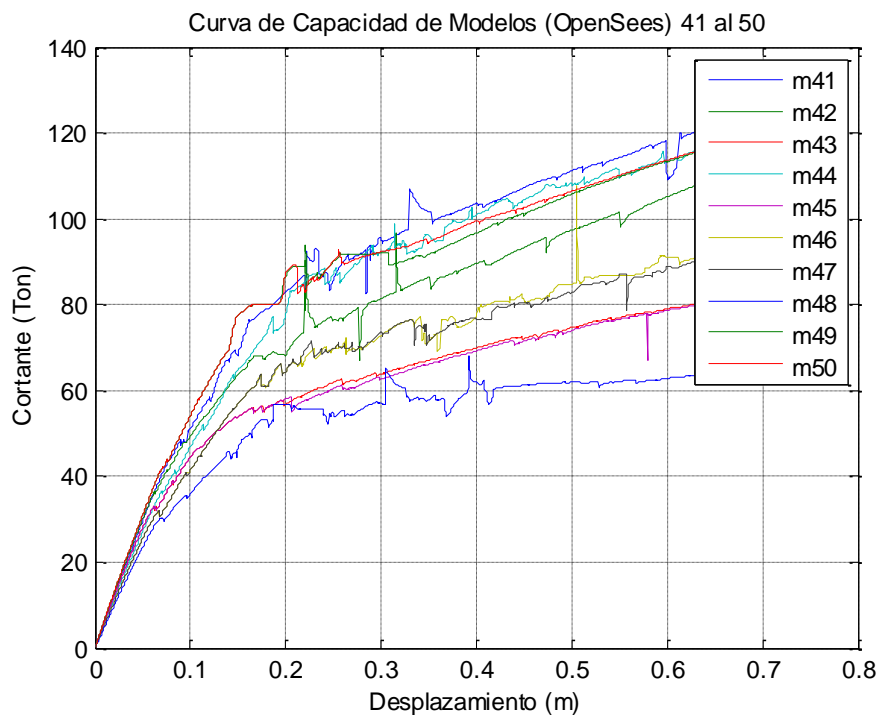


Elaboración: Carlos Celi

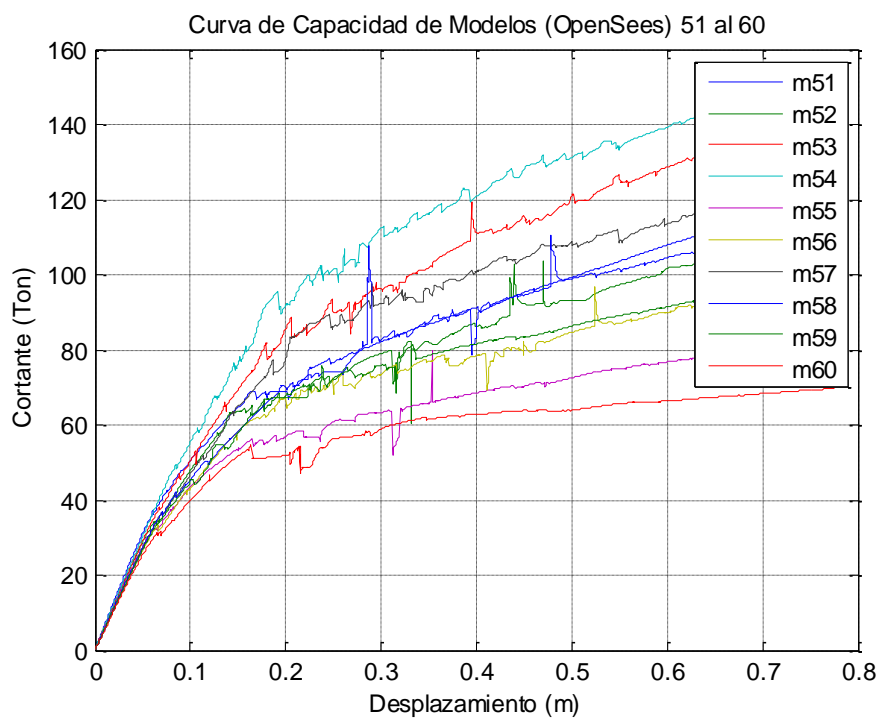
FIGURA 6.25: Curvas de capacidad (método de fibras), modelos 31 al 40



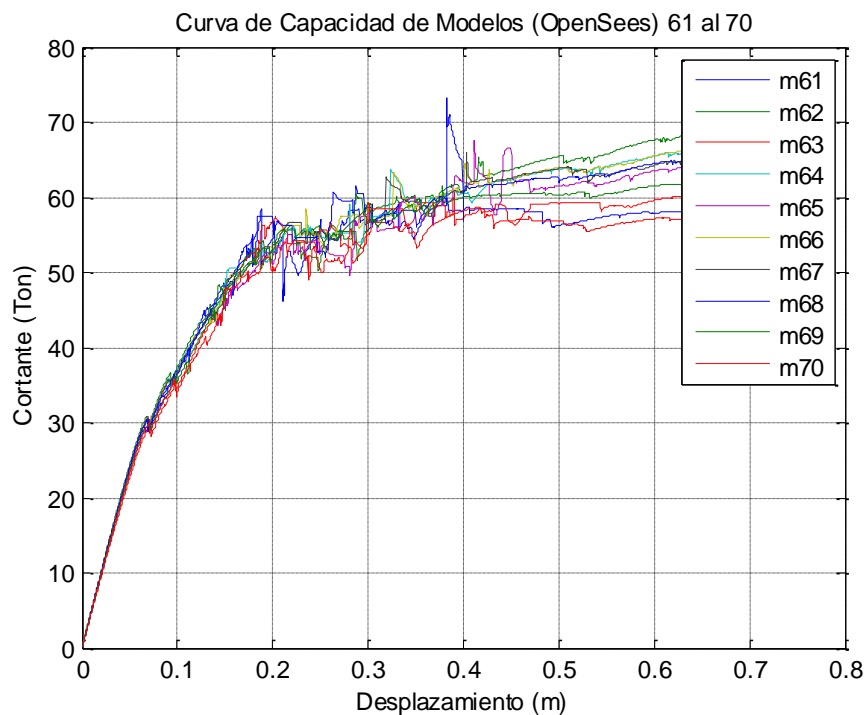
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.26: Curvas de capacidad (método de fibras), modelos 41 al 50

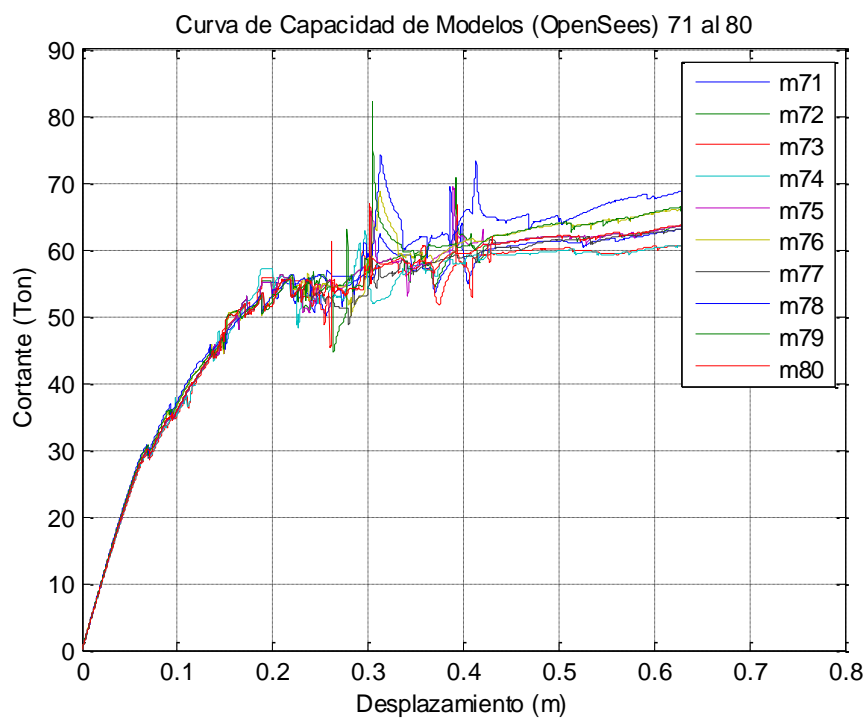
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.27: Curvas de capacidad (método de fibras), modelos 51 al 60

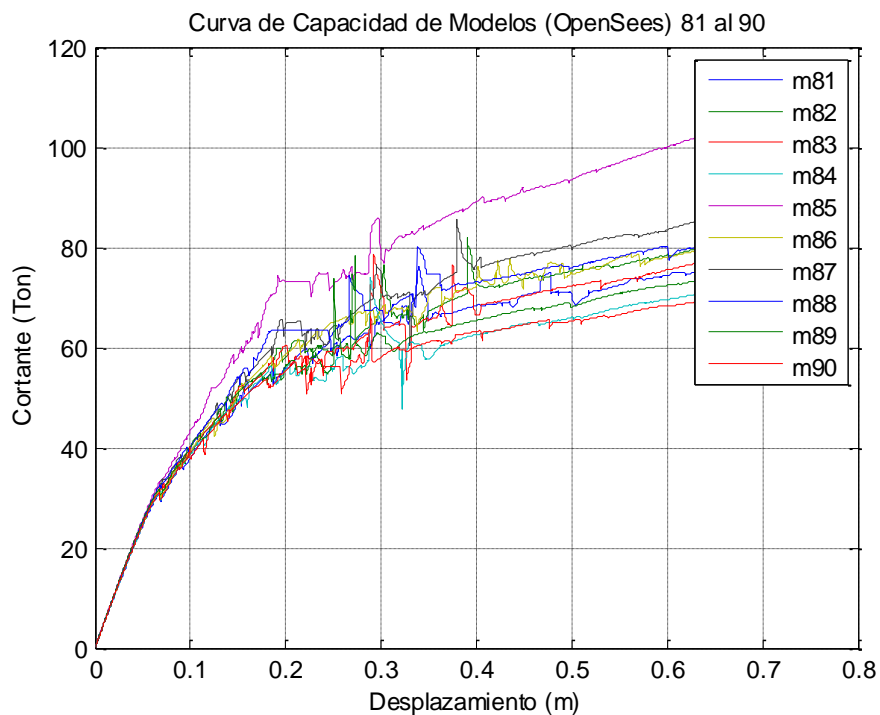
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.28: Curvas de capacidad (método de fibras), modelos 61 al 70

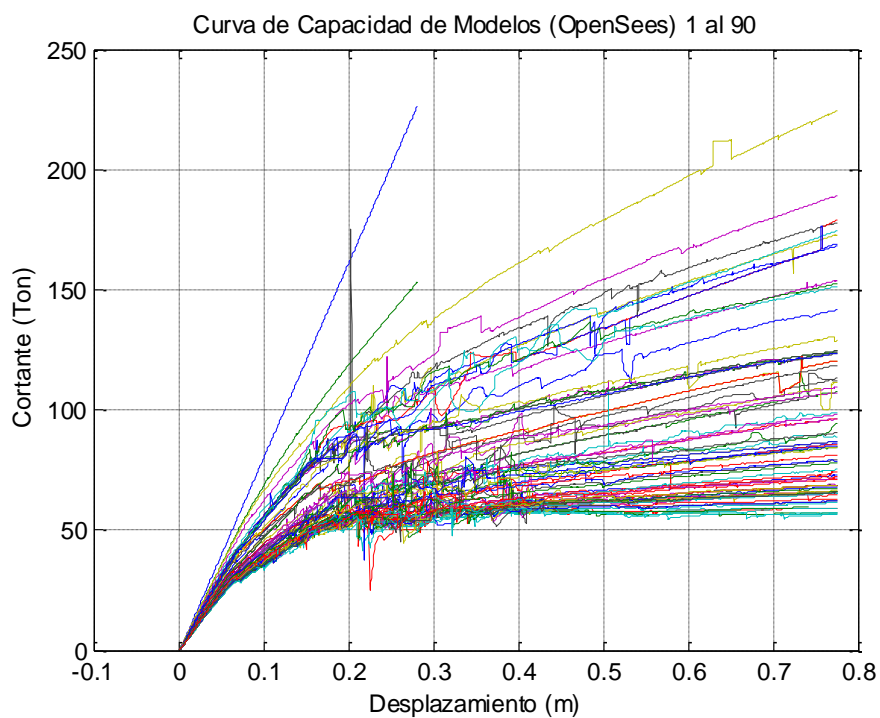
Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.29: Curvas de capacidad (método de fibras), modelos 71 al 80

Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.30: Curvas de capacidad (método de fibras), modelos 81 al 90

Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 6.31: Curvas de capacidad (método de fibras), modelos 1 al 90

Elaboración: Carlos Celi

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DE CURVAS DE PROBABILIDAD Y APRECIACIÓN DE TENDENCIA DE RESULTADOS.

7.1 GENERALIDADES

Se analizará la probabilidad de ocurrencia, de los desplazamientos en el nivel de desempeño de prevención de colapso, para el método de zonas plásticas; aclarando que este tipo de análisis no se puede realizar para el método de fibras, por las razones previamente descritas en los capítulos 5 y 6.

El análisis citado para el método de zonas plásticas se realizó a través del método de distribución de probabilidad de Poisson [20]; además se observa la tendencia de los resultados estadísticos para ambos métodos (zonas plásticas y fibras), que se obtuvieron con base en los procesos y rutinas descritas en esta investigación, para el parámetro de comparación descrito en el capítulo 6.

Cabe recalcar que para esta investigación, tiene más relevancia observar la tendencia de los resultados sobre la probabilidad de los mismos.

7.2 CURVAS DE PROBABILIDAD PARA EL PARÁMETRO DE COMPARACIÓN ENTRE AMBOS MÉTODOS PARA ANÁLISIS NSP

Para la obtención de las curvas de probabilidad se empleó la distribución de Poisson, la cual estima la ocurrencia de un evento a lo largo de un universo específico de datos, en comparación a una variable discreta.

Para esta investigación, la variable discreta será el máximo desplazamiento inelástico permitido en base al análisis lineal descrito en CPE INEN 5:2001 [5], para el pórtico de análisis del anexo 1 y 2.

Las razones de orden de criterio estructural, de porque se acepta el máximo desplazamiento inelástico, como la variable discreta se explican en el capítulo 9;

no obstante, las razones de orden de criterio de probabilidad son obvias, ya que dicho desplazamiento se encuentra dentro del universo de datos de desplazamientos, para el nivel de desempeño de prevención de colapso.

La ecuación que describe la probabilidad de ocurrencia del evento respecto a la variable discreta (máximo desplazamiento inelástico permitido con base en el análisis lineal), es la siguiente:

$$P(X, \lambda) = \frac{\lambda^x * e^{-\lambda}}{x!} \quad (7.1)$$

donde:

P(X) = Probabilidad de ocurrencia del evento respecto a la variable discreta

e = Base de logaritmo neperiano

X = Variable del universo de datos a analizar

λ = Variable discreta

En la TABLA 7.1 se encuentran los resultados de desplazamiento en el nivel de desempeño CP (prevención de colapso), para el método de zonas plásticas.

TABLA 7.1: Desplazamiento en rango CP, probabilidad de ocurrencia.

Modelo	Desempeño CP Dt (m)	Variable dependiente D (m)	Probabilidad de ocurrencia (%)
2	0.408183	0.31	45.47
3	0.317127		50.59
4	0.521649		39.82
5	0.256834		54.29
6	0.258335		54.20
7	0.259492		54.12
8	0.250483		54.70
9	0.248929		54.80
10	0.251256		54.65
11	0.252753		54.55
12	0.256949		54.29
13	0.400368		45.89
14	0.39857		45.99
15	0.407458		45.51
16	0.384986		46.73
17	0.405376		45.62
18	0.38732		46.60
19	0.403772		45.71
20	0.289447		52.26
21	0.317696		50.56
22	0.374088		47.33
23	0.435468		44.04
24	0.300192		51.61
25	0.307417		51.17

26	0.302311	51.48
27	0.302311	51.48
28	0.241621	55.27
29	0.238014	55.50
30	0.733858	31.05
31	0.283692	52.61
32	0.364837	47.84
33	0.209312	57.40
34	0.2372	55.56
35	0.241583	55.27
36	0.288402	52.32
37	0.363137	47.94
38	0.404009	45.70
39	0.397532	46.05
40	0.402051	45.80
41	0.414992	45.11
42	0.418137	44.95
43	0.360283	48.10
44	0.336285	49.47
45	0.26639	53.69
46	0.29953	51.65
47	0.303053	51.43
48	0.347832	48.80
49	0.358088	48.22
50	0.262742	53.92
51	0.295654	51.88
52	0.303172	51.43
53	0.316375	50.64
54	0.315604	50.68
55	0.304644	51.34
56	0.319599	50.45
57	0.318357	50.52
58	0.264905	53.78
59	0.2595	54.12
60	0.334413	49.58
61	0.273739	53.23
62	0.254123	54.47
63	0.259562	54.12
64	0.329827	49.84
65	0.268678	53.55
66	0.411934	45.27
67	0.395956	46.13
68	0.433891	44.13
69	0.409574	45.40
70	0.298055	51.73
71	0.339691	49.27
72	0.267935	53.59
73	0.298138	51.73
74	0.297568	51.76
75	0.329207	49.88
76	0.255082	54.40
77	0.295071	51.92
78	0.31829	50.52
79	0.307452	51.17
80	0.392081	46.34
81	0.399001	45.97
82	0.269622	53.49
83	0.266459	53.68
84	0.430866	44.28

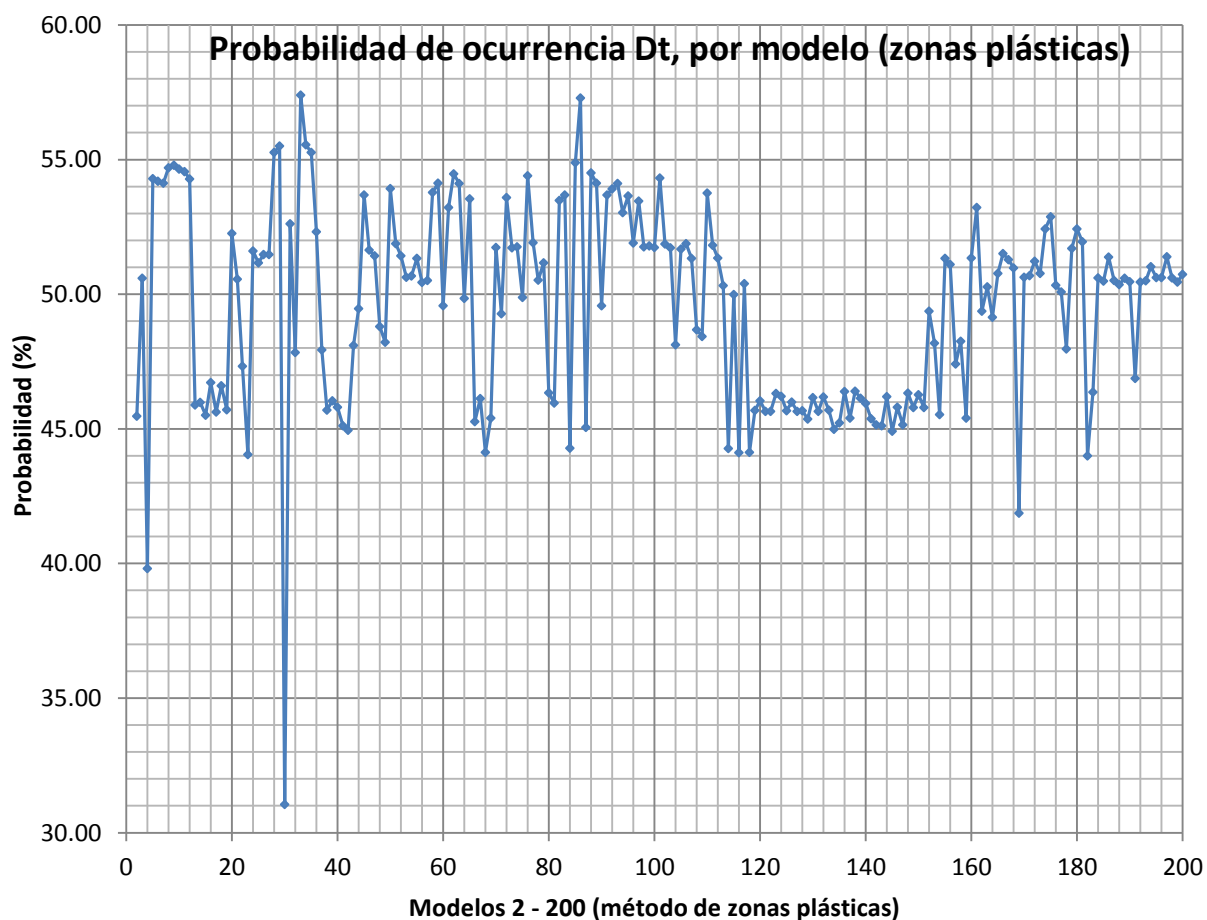
85	0.24758	54.89
86	0.210962	57.29
87	0.416144	45.05
88	0.253414	54.51
89	0.259516	54.12
90	0.334413	49.58
91	0.266342	53.69
92	0.262914	53.91
93	0.259712	54.11
94	0.276833	53.04
95	0.267052	53.65
96	0.295256	51.90
97	0.270053	53.46
98	0.297663	51.76
99	0.2971	51.79
100	0.297981	51.74
101	0.25641	54.32
102	0.295776	51.87
103	0.298227	51.72
104	0.359865	48.12
105	0.299021	51.68
106	0.295713	51.88
107	0.304731	51.33
108	0.349942	48.68
109	0.354426	48.43
110	0.265381	53.75
111	0.29655	51.83
112	0.304508	51.35
113	0.321667	50.32
114	0.430962	44.28
115	0.327428	49.99
116	0.434077	44.12
117	0.320539	50.39
118	0.433891	44.13
119	0.404158	45.69
120	0.397618	46.04
121	0.404843	45.65
122	0.404843	45.65
123	0.392492	46.32
124	0.394557	46.21
125	0.404346	45.68
126	0.398422	46.00
127	0.404779	45.66
128	0.404425	45.67
129	0.41028	45.36
130	0.395252	46.17
131	0.404868	45.65
132	0.394843	46.19
133	0.403946	45.70
134	0.417306	44.99
135	0.412829	45.23
136	0.391302	46.38
137	0.409562	45.40
138	0.390969	46.40
139	0.395752	46.14
140	0.399292	45.95
141	0.410015	45.38
142	0.414283	45.15
143	0.414994	45.11

144	0.394633	46.20
145	0.418701	44.92
146	0.402067	45.80
147	0.414154	45.16
148	0.392291	46.33
149	0.402285	45.79
150	0.393386	46.27
151	0.402266	45.79
152	0.337885	49.38
153	0.358865	48.18
154	0.407117	45.53
155	0.304693	51.33
156	0.308454	51.11
157	0.372538	47.41
158	0.357528	48.25
159	0.40956	45.40
160	0.304533	51.34
161	0.273739	53.23
162	0.338041	49.37
163	0.322552	50.27
164	0.341784	49.15
165	0.314053	50.77
166	0.301772	51.51
167	0.305487	51.29
168	0.310698	50.97
169	0.478754	41.87
170	0.316376	50.64
171	0.315474	50.69
172	0.306543	51.22
173	0.313974	50.78
174	0.286628	52.43
175	0.279349	52.88
176	0.32148	50.33
177	0.325737	50.08
178	0.362641	47.97
179	0.298688	51.70
180	0.286645	52.43
181	0.294495	51.95
182	0.43626	44.00
183	0.391718	46.36
184	0.316817	50.61
185	0.318928	50.49
186	0.303891	51.38
187	0.318445	50.51
188	0.321068	50.36
189	0.317112	50.59
190	0.319208	50.47
191	0.382263	46.88
192	0.319495	50.45
193	0.318634	50.50
194	0.309817	51.03
195	0.316724	50.62
196	0.316724	50.62
197	0.303682	51.39
198	0.31685	50.61
199	0.319408	50.46
200	0.314744	50.73

Elaboración: Carlos Celi

Aplicando la ecuación 7.1, para los datos de desplazamiento de la TABLA 7.1, se obtiene la siguiente curva de probabilidad de los resultados de desplazamiento en el desempeño de prevención de colapso para el método de zonas plásticas, en comparación con el máximo desplazamiento inelástico descrito en la referencia [5]; acotando que dicho desplazamiento inelástico máximo es del 2% de la altura total de la estructura.

FIGURA 7.1: Probabilidad de Dt vs D, rango CP, método zonas plásticas



Elaboración: Carlos Celi

De los datos resultantes presentados en la FIGURA 7.1, se concluirá en el capítulo 9.

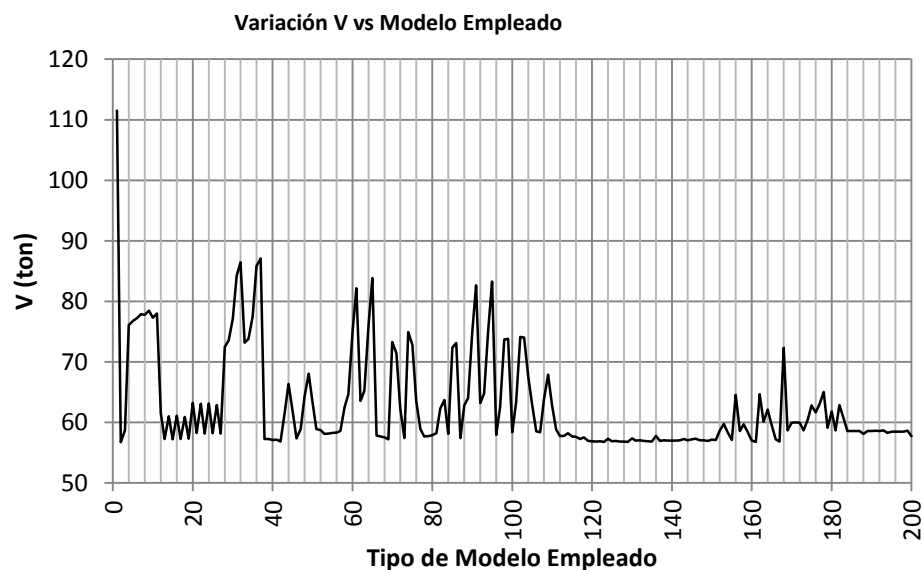
7.3 TENDENCIA DE RESULTADOS

En el capítulo 9 se explica porqué la tendencia de resultados, tiene más relevancia que la probabilidad de ocurrencia.

7.3.1 TENDENCIA DE RESULTADOS PARA EL MÉTODO DE ZONAS PLÁSTICAS

La FIGURA 7.2, muestra la variación del cortante del punto de desempeño, en cada uno de los 200 modelos realizados, y se observa aproximadamente que a partir del modelo 105 se presenta una marcada tendencia de los resultados.

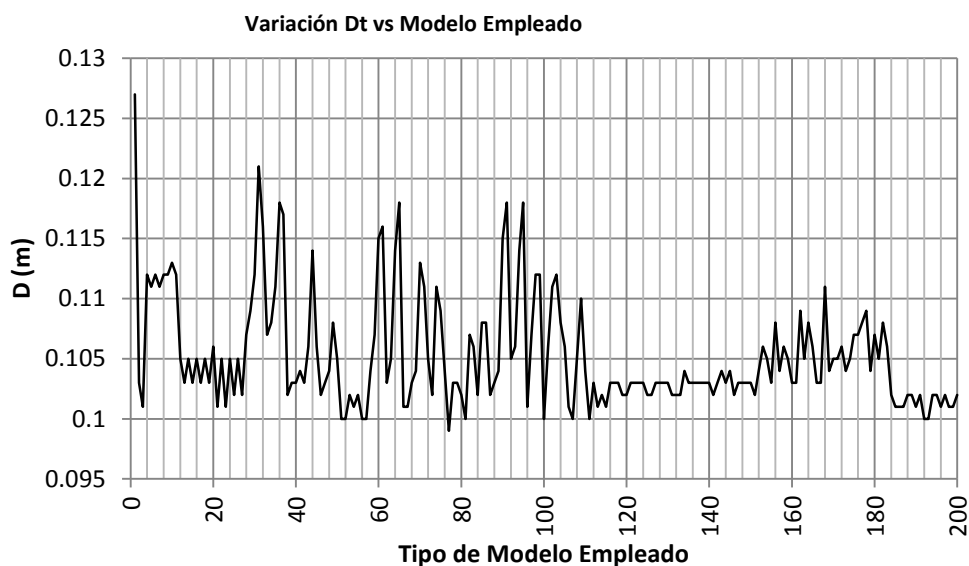
FIGURA 7.2: Tendencia de resultados, variación del cortante (V) en función del modelo empleado, método de zonas plásticas



Elaboración: Carlos Celi

La FIGURA 7.3, muestra la variación del desplazamiento en el tope de la estructura en el punto de desempeño, en cada uno de los 200 modelos realizados; se observa que aproximadamente que a partir del modelo 108 se presenta una marcada tendencia de los resultados.

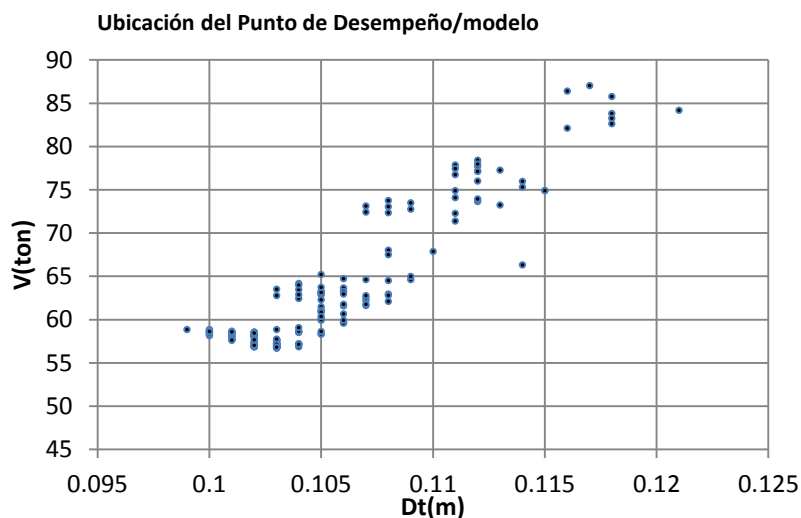
FIGURA 7.3: Tendencia de resultados, variación del desplazamiento (D) en función del modelo empleado, método de zonas plásticas



Elaboración: Carlos Celi

La FIGURA 7.4, muestra las coordenadas del punto de desempeño, en función del cortante en el tope de la estructura y su desplazamiento respectivo, en cada uno de los 200 modelos realizados.

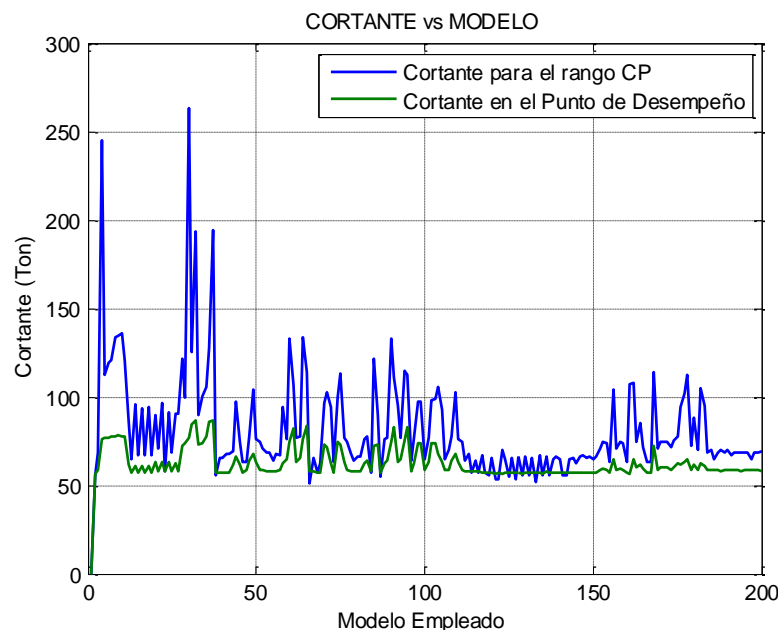
FIGURA 7.4: Coordenadas del punto de desempeño, en función del modelo empleado, método de zonas plásticas.



Elaboración: Carlos Celi

La FIGURA 7.5, muestra la variación entre el cortante (V) cuando se alcanzó el mayor número de rótulas plásticas para el nivel de desempeño CP (prevención de colapso) y el cortante (V) cuando se alcanzó el punto de desempeño, en cada uno de los 200 modelos realizados.

FIGURA 7.5: Variación del cortante (V) entre niveles de desempeño, método de zonas plásticas.

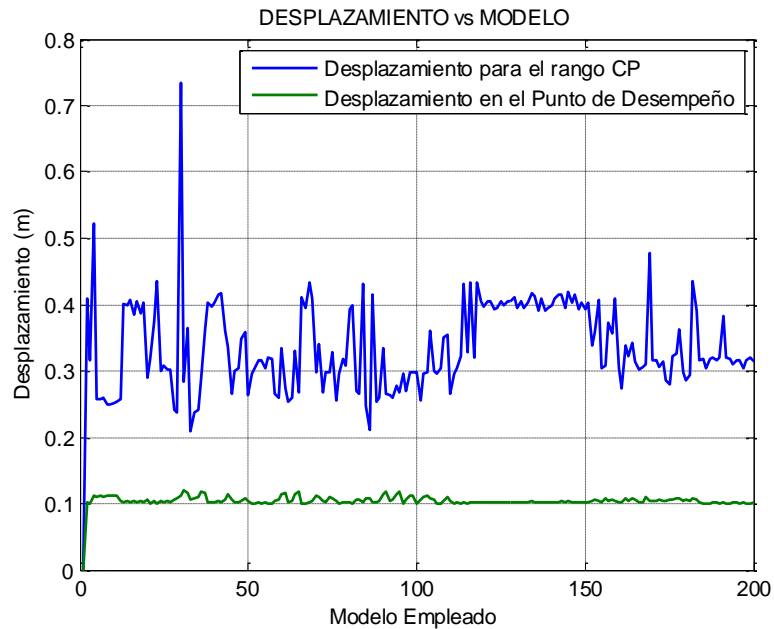


Elaboración: Carlos Celi

La FIGURA 7.6, muestra la variación entre el desplazamiento en el tope de la estructura (Dt), cuando se alcanzó el mayor número de rótulas plásticas para el nivel de desempeño CP (prevención de colapso) y el desplazamiento en el tope de la estructura (Dt), cuando se alcanzó el punto de desempeño, en cada uno de los 200 modelos realizados.

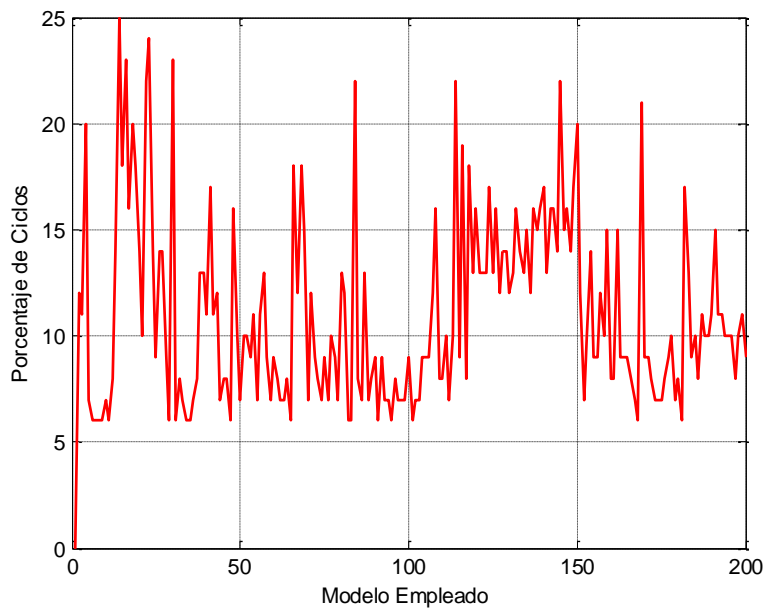
La FIGURA 7.7, muestra el **Porcentaje de Ciclos de Carga** necesarios para obtener el mayor número de formación de rotulas plásticas en el nivel de desempeño CP (prevención de colapso), en cada uno de los 200 modelos realizados.

FIGURA 7.6: Variación del desplazamiento en el tope (D) entre niveles de desempeño, método de zonas plásticas.



Elaboración: Carlos Celi

FIGURA 7.7: Porcentaje de ciclos, rotulas plásticas, desempeño CP, método de zonas plásticas.

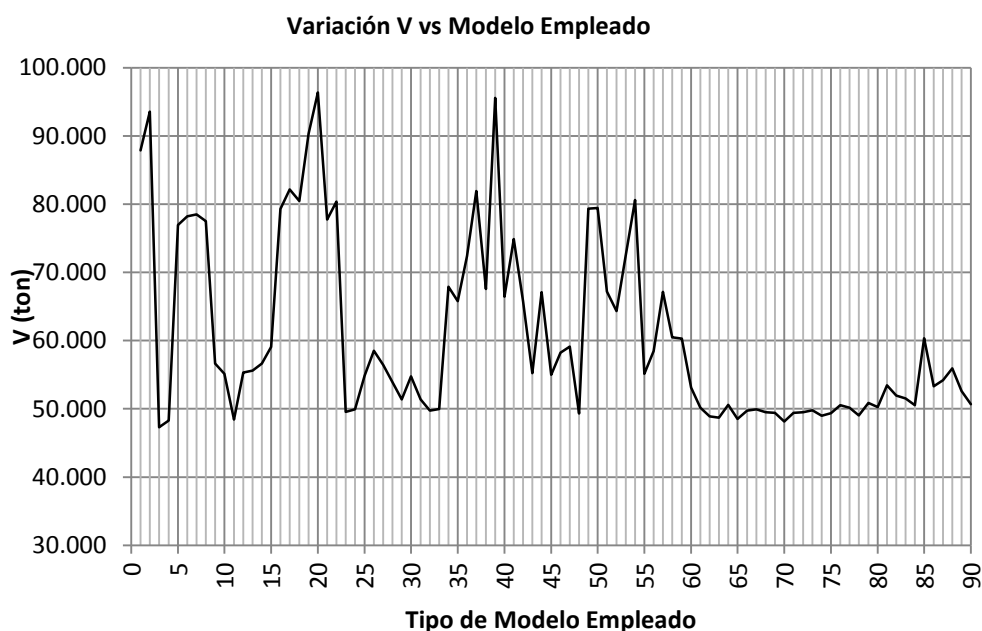


Elaboración: Carlos Celi

7.3.2 TENDENCIA DE RESULTADOS PARA EL MÉTODO DE FIBRAS

La FIGURA 7.8, muestra la variación del cortante en el punto de desempeño, para los 90 modelos realizados con base en el método de fibras; y que aproximadamente a partir del modelo 60 se presenta una marcada tendencia de los resultados.

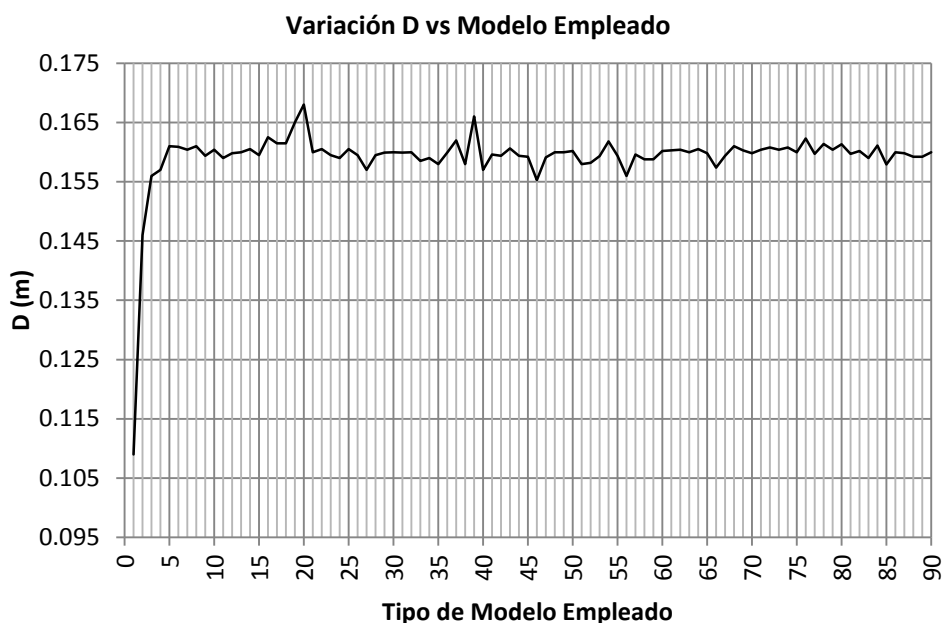
FIGURA 7.8: Tendencia de resultados, variación del cortante (V) en función del modelo empleado, método de fibras.



Elaboración: Carlos Celi

La FIGURA 7.9, muestra la variación del desplazamiento en el tope de la estructura, en el punto de desempeño, para cada uno de los 90 modelos realizados en base al método de fibras. Se observa que aproximadamente a partir del modelo 5 se presenta una marcada tendencia de los resultados.

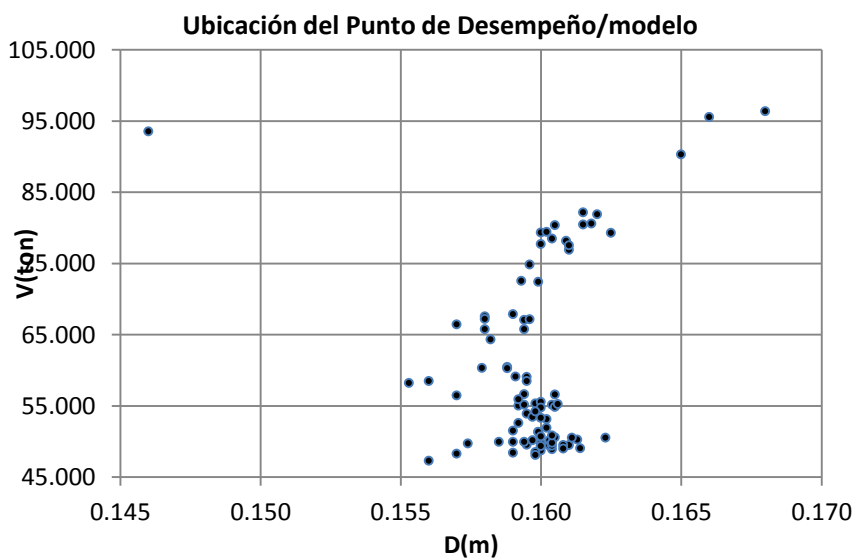
FIGURA 7.9: Tendencia de resultados, variación del desplazamiento (D) en función del modelo empleado, método de fibras



Elaboración: Carlos Celi

La FIGURA 7.10, muestra las coordenadas del punto de desempeño, en función del cortante en el tope de la estructura y su desplazamiento respectivo, en cada uno de los 90 modelos realizados.

FIGURA 7.10: Coordenadas del punto de desempeño, en función del modelo empleado, método de fibras.



Elaboración: Carlos Celi

CAPÍTULO 8

COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

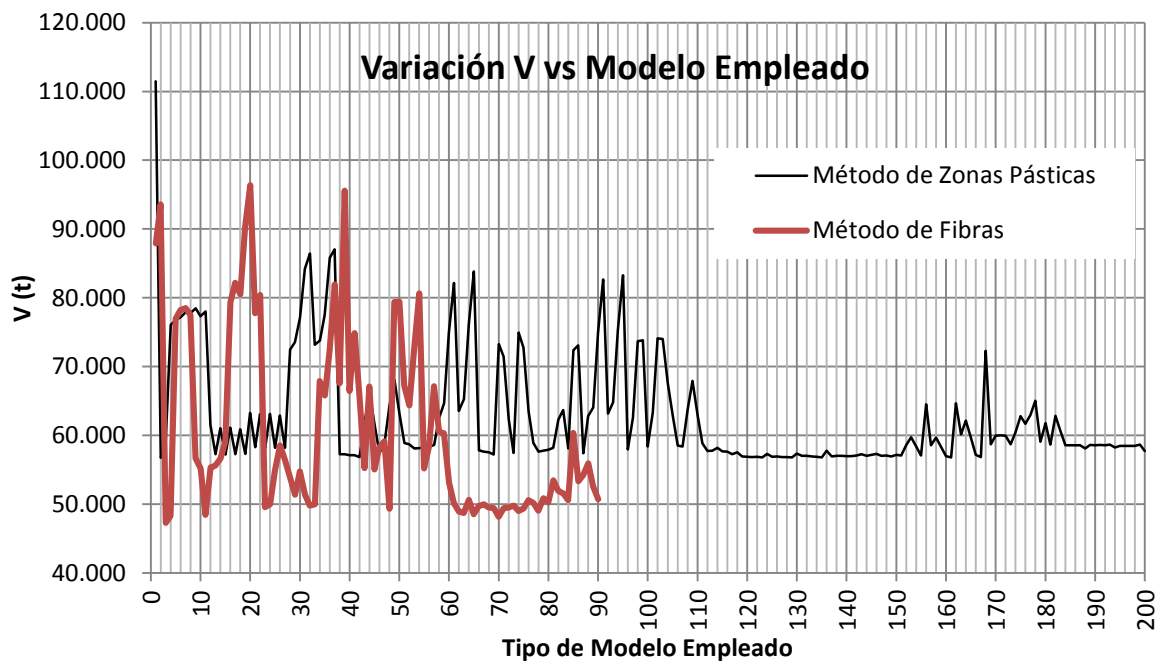
8.1 GENERALIDADES.

Una vez establecida la base estadística para ambos métodos (zonas plásticas y fibras) de análisis NSP y determinado el parámetro de comparación, se realizó el respectivo análisis comparativo entre ambos métodos, tomando como referencia el punto de desempeño de la estructura para cada modelo realizado; las conclusiones respectivas se presentan en el capítulo 9 (conclusiones).

8.2 COMPARACIÓN DEL CORTANTE.

Para el punto de desempeño, parámetro de comparación establecido en el capítulo 5, el cortante V , representa una de las dos coordenadas que lo definen; es decir V en el punto de desempeño, representa el cortante de demanda, una vez que iguala la capacidad dúctil cortante en la estructura.

FIGURA 8.1: Variación del cortante (V) vs modelo empleado.



Elaboración: Carlos Celi

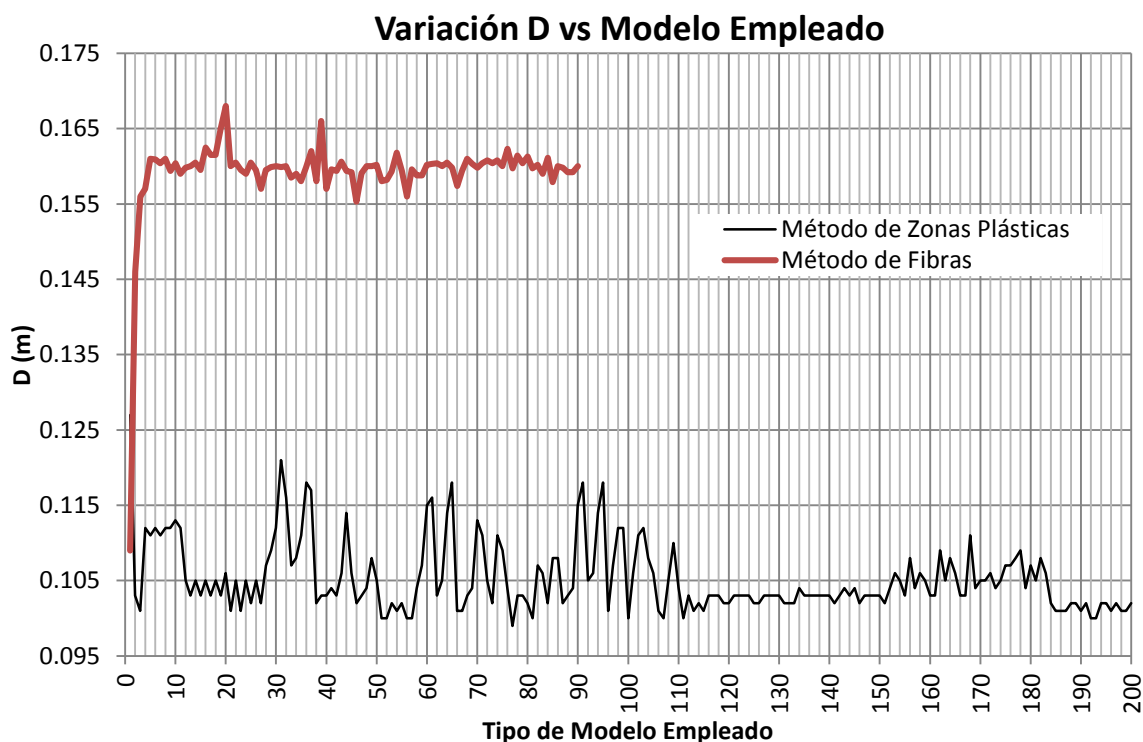
En la FIGURA 8.1, se observa el cortante (V) según el modelo empleado para ambos métodos de esta investigación.

8.3 COMPARACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO.

El desplazamiento representa la segunda coordenada que define al punto teórico de desempeño estructural; es decir el desplazamiento del punto de desempeño es el desplazamiento lateral máximo de la estructura analizada, que posea una demanda de ductilidad de la acción sísmica igual a la demanda de ductilidad de la estructura.

En la FIGURA 8.2, se observa el desplazamiento (D) según el modelo empleado para ambos métodos de esta investigación.

FIGURA 8.2: Variación del desplazamiento (D) vs modelo empleado.

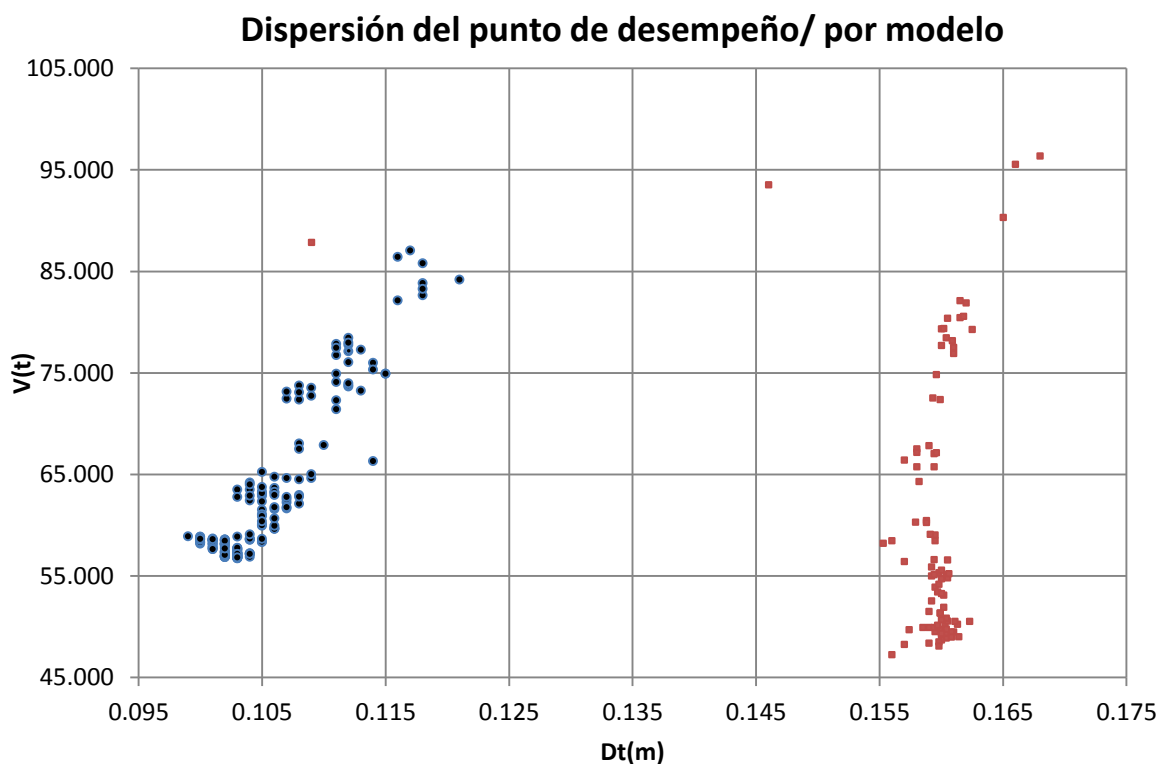


Elaboración: Carlos Celi

8.4 DISPERSIÓN DEL PUNTO DE DESEMPEÑO.

Para tener una idea más gráfica, se decidió presentar la dispersión de las coordenadas del punto de desempeño para cada modelo realizado, usando ambos métodos para el análisis NSP; en la FIGURA 8.3 se presentan dichas dispersiones.

FIGURA 8.3: Dispersión del punto de desempeño, ambos métodos.



Elaboración: Carlos Celi

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES.

- De esta investigación se concluye, que el método para análisis NSP, de mayor fiabilidad en la convergencia de resultados, es el método de fibras. Puesto que, dicho método emplea elementos no – lineales, para la simulación del mecanismo de disipación de energía; Además es menos susceptible al efecto linealizante en la curva de capacidad, producto del empleo de elementos en la estructura que posean un comportamiento elástico. Al emplear en las bases de las columnas del primer piso, el efecto de deformación por penetración, se obtiene un mejor modelamiento de la pérdida de empotramiento en la base de la estructura; efecto que no es fácil de reproducir mediante modelación en SAP2000 [11], que realiza el análisis NSP mediante zonas plásticas.
- Como variable discreta, se empleó el máximo desplazamiento inelástico, en base al análisis lineal de la estructura. Teóricamente dicho desplazamiento inelástico, en un análisis lineal, representa el máximo desplazamiento permitido para la estructura; consecuentemente dentro del análisis NSP por zonas plásticas, para esta investigación, el nivel de desempeño de CP (prevención de colapso), presenta un desplazamiento muy cercano al que se obtiene mediante el análisis lineal; razón por la cual el mejor candidato, a emplear como variable discreta, es el desplazamiento lineal inelástico.
- De las FIGURAS que se presentan en esta investigación, se observa una marcada tendencia de los resultados, independiente de las combinaciones empleadas para realizar el análisis NSP, tanto por fibras como por zonas plásticas; no con esto excluyendo que exista una variación de resultados entre las últimas combinaciones.

Para el método de zonas plásticas, la variación del cortante en el punto de desempeño, entre los modelos 2 al 120, es del orden de 34 ton, mientras que del modelo 120 al 200 es de 7 ton; mostrando una clara tendencia de los resultados para las próximas combinaciones. Considerando que el valor del cortante promedio es de alrededor de 58 ton.

El desplazamiento en punto de desempeño entre los distintas combinaciones, presenta una variación de baja magnitud; es decir, la variación entre los modelos 2 al 200 es de alrededor de 0.021 m.

Para el método fibras, la variación del cortante en el punto de desempeño, entre los modelos 2 al 55, es del orden de 29 ton, mientras que del modelo 60 al 90 es de 6 ton; mostrando una clara tendencia de los resultados para las próximas combinaciones. Considerando que el valor del cortante promedio es de alrededor de 51 ton. La variación del desplazamiento es de baja magnitud del orden de 0.06 m entre los modelos 2 al 90.

- En primera instancia se planificó realizar 1000 modelos distribuidos equitativamente entre ambos métodos de análisis NSP; observando las claras tendencias en los resultados de las primeros 290 modelaciones, se concluyó que las siguientes 710 permutaciones, obtendrán resultados similares a las tendencias previamente citadas.

Las 710 permutaciones restantes, son la combinación de zonas plásticas asumidas de 0.025 - 0.05, y fibras con aporte de cortante, flexión y deformación por penetración; las cuales representan un comportamiento altamente no lineal y por tanto sus resultados presentarán la mismas tendencias previamente observadas.

- De la FIGURA 7.5 (capítulo 7), se observa una variación del orden de 10 t, para el cortante (V) entre el punto de desempeño, y cuando se alcanza el mayor número de rótulas plásticas en rango CP (prevención de colapso), entre los modelos que poseen una marcada tendencia de los resultados.

Es decir que la estructura se encuentra en capacidad de absorber hasta un 18 % más de fuerza lateral, antes de incursionar en rangos de desempeño peligrosos.

Si se correlacionan los desplazamientos en función del rango de desempeño CP, FIGURA 7.6 (capítulo 7), versus el desplazamiento relativo inelástico con el que se controla la estructura calculada linealmente, se observa que.

Desplazamiento Promedio Rango CP	=	0.36 m
Desplazamiento Relativo Inelástico	=	0.31 m

Es decir, la revisión para la estructura calculada linealmente, es bastante cercano al cálculo mediante un análisis estático no - lineal (NSP), con la diferencia que la revisión inelástica no permite determinar si la estructura, una vez que alcanzó el desplazamiento de control, presenta daños de consideración en la estructura.

El proceso de cálculo lineal, controlado por desplazamientos inelásticos, ofrece un control para la seguridad de la estructura, que no permite visualizar el grado de daño que la misma afrontará una vez alcanzado el desplazamiento de control. Además tampoco puede asegurar si la estructura, está en capacidad de disipar energía de manera segura, una vez alcanzado dicho desplazamiento.

Al comparar, los resultados que se obtuvieron del desplazamiento relativo Lineal Inelástico y el desplazamiento promedio en el rango CP, no necesariamente se puede asumir como un parámetro de validación el análisis estático no - lineal basado zonas plásticas. Mas bien esta investigación pretende mostrar, que la ubicación de la zona plástica es altamente influyente en la curva de capacidad de la estructura; dependiendo principalmente de la posición teórica donde se asume la ubicación de la rótula plástica.

- Una vez realizadas las modelaciones en ambos métodos para análisis NSP, se concluye que la fiabilidad del modelamiento depende, en gran medida de la linealidad que se asume en los diferentes mecanismos de disipación de energía. Es decir, aunque se empleen zonas plásticas de una alta disipación de energía, como son valores de 0.025 y 0.05 o fibras con el aporte total de cortante, flexión y deformación por penetración, se presentarán resultados lineales, si se colocan elementos con un comportamiento elástico, en los mecanismos de disipación de energía en los primeros pisos de la edificación.

La fiabilidad del modelamiento no se ve significativamente afectada si se emplean elementos altamente no – lineales en los últimos pisos de la estructura; o si se combinan zonas plásticas de alta disipación de energía y elementos elásticos en la estructura, para los primeros pisos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A. Habibullah, "Practical Three Dimensional Nonlinear Static Pushover Analysis", Structural Magazine, Washington D.C., 1998.
2. ACI 318 – 99. Código de Diseño de Hormigón Estructural, American Concrete Institute, Washington, Washington D.C., 1999.
3. Aguiar R., Análisis Sísmico por Desempeño, Centro de Investigaciones Científicas Escuela Politécnica del Ejercito, Quito, 2003.
4. ATC 40. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, California Seismic Safety Commission, Volume 1, Report No SSC 96 -01, California, 1996.
5. CPE INEN 5:2001. Código Ecuatoriano de la Construcción, Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito – Ecuador, 2001.
6. FEMA 356. American Society of Civil Engenieeres. Prestandard and Comentary for the Seismic Rehabilitation of Buldings, Federal Emergency Management Agency, Washington.D.C, 2000.
7. FEMA 273. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buldings, Federal Emergency Management Agency, Washington.D.C, 1997.
8. Mander, J. B., Priestley, M. J. N. and R. Park, "Theoretical Stress – Strain Model for Confined Concrete, Journal of Structural Engineering", Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No 8, pp 22686, 1988.
9. Paulay, T., Pristley, M. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Structures, John Wiley and Sons, Londres, U.K., 1992.

10. Popovics, S., "A numerical approach to the complete stress strain curve for concrete". Cement and concrete research, 3(5), 583-599, 1973
11. Sap2000, Static and Dynamic Finite Elements Analysis of Structures Advance, Computer and Structures, Inc. 1995 University Ave. Berkeley, CA 94704, 1995.
12. Kunnath S. Reinhorn A. and Lobo R., "IDARC version 3.0: A program for the Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Structures" Technical Report NCEER 92-0022, National Center of Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, Buffalo, 1992.
13. Park R. and Paulay T., "Estructuras de Concreto Reforzado", Editorial Limusa, México, 1983, 796p.
14. Matlab, Language of Technical Computing, MathWorks, U.S., 2000.
15. Etabs, Extended Three Dimensional Analysis of Buildings Systems Nonlinear Version, Computer and Structures, Inc. 1995 University Ave. Berkeley, CA 94704, 1995.
16. Esteba L, "Diseño sísmico basado en desempeño: Tendencias y retos", XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 28p, Morelia, Mexico, 1999.
17. Freeman S.A., Nicoletti J.P., y Tyrell J. V., "Evaluation of existing buildings for seismic risk –A case study of Puget Sound Naval Shipyard", Bremerton, Washington, Proceedings of the 6 U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Seattle 1975.
18. Opensees, Open System for Earthquake Simulation, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, 1999.

19. Zhao, J., and S. Sritharan. "Modeling of strain penetration effects in fiber-based analysis of reinforced concrete structures". ACI Structural Journal, 104(2), pp. 133-141, 2007.
20. Hao Hu, Poisson distribution and application, Department of Physics and Astronomy, University of Tennessee, Tennessee, USA, 2008.
21. Mario P., Structural Dynamics, theory and computation, Editorial Reverté, Barcelona, 2002.
22. Carlos C., y Roberto A., "Fiabilidad del Modelamiento Sísmico, en el Rango No Lineal, en Función de la Longitud de las Zonas Plásticas Asumidas Para Vigas", EPNJOURNAL, Volumen 33, ISSN1390-0129, 2014.
23. Foltz R., "Structural Behavior and Modeling of High-Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites for Earthquake-Resistant Design," Ph.D. dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA, 2011.
24. Gomes, A., and Appleton, J. (1997). "Nonlinear Cyclic Stress-Strain Relationship of Reinforcing Bars Including Buckling." Eng. Struct., 19(10), 822–826.
25. Karsan, I.D. and Jirsa, J.O. (1969). "Behavior of concrete under compressive loading", Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 95, No. 12, pp. 2543-2563.
26. Priestley M.J.N., Calvi G.M. and Kowalsky M.J., "Displacement-Based Seismic Design of Structures", IUSS Press, Pavia, Italy, 2007, 720 pp.
27. Park R. Priestley M. and Gill W., "Ductility of Square Confined Concrete Columns", Journal of Structural Division, ASCE, 108 (4), 929-950, 1982.
28. Roufaiel M., and Meyer C., "Analytical modeling of hysteretic behavior of R/C frames", Journal of Structural Division, ASCE, 113 (3), 429-444.

29. Sosa, D., "Comportamiento de la Conexión Pilote-Losa en Hormigón Estructural", Tesis de Maestría en Estructuras, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2014. (En elaboración).

ANEXOS

ANEXO No. 1
PLANTA DE LA ESTRUCTURA TIPO

ANEXO No. 2
DETALLE DE ARMADO, PÓRTICO TIPO

ANEXO No. 3
COMBINACIONES (MÉTODO DE FIBRAS)

CASO 6

15.50 m	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
12.40 m	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
9.30 m	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
6.20 m	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
3.10 m	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 7

15.50 m	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
6.20 m	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
3.10 m	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 8

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 9

15.50 m	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00
12.40 m	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00
9.30 m	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00
6.20 m	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00
3.10 m	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00
		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	

CASO 10

15.50 m	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25
12.40 m	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25
9.30 m	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25
6.20 m	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25
3.10 m	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 11

15.50 m	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
12.40 m	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
9.30 m	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
6.20 m	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
3.10 m	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 12

15.50 m	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25

9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CASO 20

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CASO 21

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 22

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		3.00	3.00	3.00	3.00			

CASO 23

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 24

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
		3.00	3.00	3.00	3.00			

CASO 25

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 26

12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 47

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 48

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
		3.00	3.00	3.00	3.00			

CASO 49

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 50

15.50 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 51

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
			3.00	3.00				

CASO 52

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.00			3.00	3.00			3.00

9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
					3.00	3.00		

CASO 67

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
							3.00	3.00

CASO 68

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
			3.00	3.00	3.00	3.00		

CASO 69

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	3.00	3.00					3.00	3.00

CASO 70

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
	3.00	3.00					3.00	3.00

CASO 71

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
			3.00	3.00	3.00	3.00		

CASO 72

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
			3.00	3.00	3.00	3.00		

CASO 73

6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
	3.00	3.00					3.00	3.00

CASO 87

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
			3.00	3.00	3.00	3.00		

CASO 88

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
			3.00	3.00	3.00	3.00		

CASO 89

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	3.00	3.00					3.00	3.00

CASO 90

15.50 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	3.00	3.00					3.00	3.00

CASO 91

15.50 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
9.30 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
3.10 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

CASO 92

15.50 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
12.40 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	3.00	3.00						

ANEXO No. 4
COMBINACIONES (MÉTODO DE ZONAS PLÁSTICAS ASUMIDAS)

9.30 m	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00
6.20 m	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00
3.10 m	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00

CASO 13

15.50 m	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50
12.40 m	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50
9.30 m	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50
6.20 m	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50
3.10 m	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50

CASO 14

15.50 m	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25
12.40 m	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25
9.30 m	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25
6.20 m	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25
3.10 m	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25

CASO 15

15.50 m	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
12.40 m	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
9.30 m	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
6.20 m	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25
3.10 m	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25

CASO 16

15.50 m	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25

CASO 17

15.50 m	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25

CASO 18

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25

CASO 19

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25

CASO 20

15.50 m	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
12.40 m	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
9.30 m	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
6.20 m	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
3.10 m	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00

CASO 21

15.50 m	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25
12.40 m	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25
9.30 m	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25
6.20 m	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25
3.10 m	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25

CASO 22

15.50 m	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50
12.40 m	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50
9.30 m	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50
6.20 m	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50
3.10 m	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50

CASO 23

15.50 m	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50
12.40 m	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50
9.30 m	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50
6.20 m	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50
3.10 m	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50

CASO 24

15.50 m	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50
12.40 m	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50
3.10 m	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50

CASO 25

15.50 m	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50
12.40 m	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50

6.20 m	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50
3.10 m	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50

CASO 26

15.50 m	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50
12.40 m	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50

CASO 27

15.50 m	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50
12.40 m	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50

CASO 28

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 29

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CASO 30

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CASO 31

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CASO 32

6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 72

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 73

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 74

15.50 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
12.40 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CASO 75

15.50 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
12.40 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

CASO 76

15.50 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

CASO 77

15.50 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

CASO 78

6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 118

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 119

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 120

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 121

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 122

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 123

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 124

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 125

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50

CASO 126

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 127

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 128

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 129

15.50 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 130

15.50 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25

6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00

CASO 164

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 165

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 166

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 167

15.50 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 168

15.50 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
12.40 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
9.30 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
3.10 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00

CASO 169

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00

CASO 170

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 171

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 172

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 173

15.50 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 174

15.50 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
12.40 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3.10 m	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00

CASO 175

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
3.10 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

CASO 176

15.50 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25
9.30 m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25
6.20 m	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25

9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

CASO 197

15.50 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
12.40 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

CASO 198

15.50 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
12.40 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

CASO 199

15.50 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25
12.40 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9.30 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3.10 m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

CASO 200

15.50 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25
12.40 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25
9.30 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
6.20 m	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50
3.10 m	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25