

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

SECCION DE POSGRADO



T E S I S

ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO DE ESTRUCTURAS Y LA NORMA E-030

Presentado por: JULIO EDWIN DELGADILLO ALANYA

Para Optar el Grado de Maestro con Mención en Ingeniería Estructural

Enero - 2005

RESUMEN

El motivo principal de la tesis es observar la utilidad del Análisis No Lineal Estático Pushover que nos presenta el ATC-40 y FEMA-356, utilizado conjuntamente con la demanda sísmica proveída por la Norma Peruana de Diseño Sísmico E-030, poder obtener y evaluar el nivel de daño producido en los elementos mediante el monitoreo de las deformaciones (giros o desplazamientos) en el nivel de desempeño de la estructura y luego proceder a la verificación de los límites locales de aceptación dados por FEMA 356 y ATC-40. Otro objetivo fundamental de esta tesis es mostrar que un Análisis No Lineal Estático Pushover es un método para poder hallar las zonas “débiles” de una estructura y poder luego tomar medidas.

Para lograr este propósito se toma como ejemplo un edificio de cinco pisos con irregularidad en planta, destinada a departamentos. El diseño de la estructura y las posibles deficiencias que pudieran ser halladas son de exclusiva responsabilidad del autor de esta tesis. El presente trabajo no pretende ni podría cuestionar la actual Norma de diseño Sísmico E-030, al contrario, se toma ésta como referencia para poder hallar la Demanda Sísmica que se usó en el estudio del pushover.

Se adjunta dos programas en lenguaje FORTRAN hechos por el autor de esta tesis, una sirve para hallar la curva de capacidad de una estructura regular en planta y elevación, idealizando la estructura como un conjunto de pórticos planos paralelos. Y otra que sirve para hallar el gráfico momento-giro de una sección de concreto armado, una herramienta muy útil en la modelación del comportamiento de todos los elementos del ejemplo presentado.

SUMMARY

The prime objective of the thesis is to observe the effectiveness of the Pushover Static Non Linear Analysis which introduces the ATC-40 and FEMA-356, used jointly with the seismic demand which is provided by the

Peruvian Seismic Design Standard E-030, to obtain and evaluate the level of damage produced in the elements by means of supervising the deformations (rotations and displacement) in the performance level of the structure and then proceed with the verification of local acceptance limits given by the ATC-40 and FEMA-356. Another fundamental goal of this thesis is to show how the Pushover Static Non Linear Analysis is a method that finds the “weak” zones of a structure and from then on, take the necessary steps.

To fulfill this objective, we take for example a five story building with floor irregularities, destined to be apartments. The design of the structure and other possible deficiencies that could be found are responsibility of the author of this thesis. The present job doesn't pretend nor question the actual Seismic Design Standard E-030, on the contrary, we took this present job as a reference to find the Seismic Demand that was used in the pushover study.

The author of this thesis adjoined a FORTRAN language program, and it serves to find the capacity curve of regular structures in floors and elevation, idealizing the structure as a group of bent parallel plans. Likewise, a small program to find the rotation- moment graphic of a section of reinforced concrete is also introduced, which serves as a very useful tool for modeling the behavior of all the elements of the example presented herein.

AGRADECIMIENTOS

Durante mis estudios recibí valiosa ayuda moral y material de familiares, compañeros de clase profesores y personal administrativo, de quienes llevo gratos recuerdos y agradecimientos.

Tuve el privilegio y la buena fortuna de elaborar la presente tesis bajo la supervisión y asesoramiento del Doctor Carlos A. Zavala Toledo, mis más sinceros agradecimientos a su persona.

Agradezco al Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería Civil Sección de Pos-Grado, por el apoyo económico, sin el cual hubiera sido imposible la realización y culminación de este trabajo.

Mis agradecimientos a la Facultad de Ingeniería Civil Sección de Post-Grado, por recibirme en sus aulas y brindarme los conocimientos en todo este tiempo.

Mis agradecimientos a los profesores de la Facultad de Ingeniería Civil Sección de Post-Grado, quienes con esmero y mucha dedicación nos dieron lo mejor de sí, en especial a los profesores Dr. Hugo Scaletti Farina, Dr. Javier Piqué del Pozo, Msc Julio Rivera Feijoó, Msc Adolfo Galvez Villacorta, entre otros.

Dedico esta tesis:

A mis padres:

Julio Delgadillo Nina y Julia Alanya Tamba, como reconocimiento a sus grandes esfuerzos y a sus valiosos consejos. Gracias padres por todo lo que hicieron y aún siguen haciendo por mí.

A mis hermanos:

*César, Katia, Yhobani y Nilton por su comprensión y toda la valiosa ayuda que me dieron en todo el tiempo que duró la elaboración de este trabajo.
Gracias.*

INDICE

Resumen

i

Summary

li

Agradecimientos

lii

Dedicatoria

iv

Indice

v

CAPITULO I

Introducción

1

CAPITULO II

Objetivos de Desempeño

3

2.1 Generalidades

3

2.2 Niveles de desempeño

3

2.2.1 Niveles de desempeño estructural

3

2.2.2 Niveles de desempeño no estructural	6
2.2.3 Niveles de desempeño del edificio	7
2.3. Intensidad de los movimientos sísmicos	8
2.4 Objetivo de desempeño	9
2.4.1 Objetivo básico de seguridad	9
2.5. Objetivos de desempeño dado por FEMA-356	12

CAPITULO III

Curva de Capacidad	13
3.1.- Generalidades	13
3.2.- Análisis plástico de primer orden	15
3.2.1.- Introducción	15
3.2.2.- Procedimiento numérico para un análisis plástico de primer orden	16
3.3.- Conversión de la curva de capacidad a un espectro de capacidad	26
3.4.- Representación bilineal del espectro de capacidad	28

CAPITULO IV

Espectro de Demanda	30
4.1.- Niveles sísmicos	30
4.1.1.- Sismo de servicio	30
4.1.2.- <i>Sismo de diseño</i>	30
4.1.3.- <i>Sismo Máximo</i>	30
4.2.- <i>Demanda sísmica en la Norma Peruana E-030</i>	31
4.3.- Sismo de diseño elástico E-030 en formato ADRS	36
4.4.- Cálculo del amortiguamiento y reducción del espectro de respuesta	37

4.5.- Cálculo de los factores de reducción espectral	42
CAPITULO V	
Punto de desempeño	44
5.1.- Según el ATC-40	44
5.1.1.- Intersección del espectro de capacidad y el espectro de demanda	44
5.1.2.- Cálculo del punto de desempeño	45
5.2.- Demanda de desplazamiento según FEMA-356	51
CAPITULO VI	
Ejemplo de aplicación	57
CAPÍTULO VII	
Observaciones y Conclusiones	102
Anexo	
Programa para hallar la curva de capacidad de una estructura	105
Programa para hallar el momento-giro de secciones de concreto armado	143
Bibliografía	154

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El problema del análisis estructural sísmico es un tema importante en nuestras existencia. El Dr. Raúl D. Bertero (Ref. 19) en su tesis “Diseño Sismo Resistente Basado en la Performance” menciona: *“los terremotos, son un tipo muy especial de evento natural, por ser eventos raros, de baja probabilidad de ocurrencia, cuyas consecuencias, cuando ellos ocurren, son enormes en términos de destrucción y sufrimiento. Los terremotos constituyen desastres naturales cuya característica es, que las mayores pérdidas humanas y económicas, no son en sí debidas a los mecanismos sísmicos, si no a las fallas de las construcciones realizadas por el hombre: edificios, presas, puentes, sistemas de transporte, etc.”*

Por eso los investigadores están en la búsqueda constante de metodologías y herramientas que nos permitan modelar y hacer posible el análisis estructural cada vez más cercanas a como ocurren en la realidad. Dos de esas metodologías son por ejemplo las que nos presentan el ATC-40 y FEMA-356 que aunque ya tienen algunos años de haber sido publicadas, todavía no se les está dando la debida importancia. Y una de aquellas herramientas es el programa de cómputo Sap2000 que se usó en el desarrollo de la presente tesis. También cabe mencionar que en aras de hacer una herramienta propia de trabajo se hizo un programa de cómputo en lenguaje fortran, para hallar la curva de capacidad de una estructura regular

en elevación y en planta. Modelando la estructura como una serie de pórticos planos paralelos.

La presente tesis está dividida en VII capítulos, en el capítulo I se presenta la introducción, en el capítulo II se presenta la definición de los objetivos de desempeño, en el capítulo III se toca el tema de la curva de capacidad de una estructura, en el capítulo IV se presenta la curva de demanda sísmica de la Norma E-030 y su transformación a un espectro de capacidad, en el capítulo V se toca el tema del punto de desempeño según ATC-40 y el desplazamiento de desempeño según FEMA-356. en el capítulo VI se desarrolla el ejemplo de aplicación y en el capítulo VII se presentan las observaciones y conclusiones del trabajo.

CAPITULO II

OBJETIVOS DE DESEMPEÑO

2.1 Generalidades.-

Un objetivo de desempeño especifica, el deseado nivel comportamiento de un edificio para una o varias demandas sísmicas. El comportamiento sísmico es descrito por el máximo estado de daño permitido, (expresado en la deformación del la rótula), para un nivel de demanda sísmica. Un objetivo de desempeño puede incluir varios niveles de comportamiento del edificio para varios niveles demanda sísmica y entonces es denominado un objetivo de desempeño dual o múltiple.

Los siguientes Niveles de desempeño estructural y no estructural son dados por el ATC -40 (Ref. 2).

2.2.- Niveles de Desempeño.-

2.2.1.- Niveles de Desempeño Estructural.-

Los niveles de desempeño estructural –Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida y Estabilidad Estructural- son estados de daño y pueden ser usados directamente en procedimientos de evaluación y reforzamiento. Existen otras designaciones de desempeño estructural intermedios a los anteriormente mencionados –Control de daño, Seguridad Limitada y No considerado- son importantes designaciones para permitir directa referencia a la amplia variedad de niveles de desempeño del edificio que puede ser deseado para su evaluación o reforzamiento.

Ocupación Inmediata, SP-1: Es el estado en que ocurre un limitado daño estructural. El sistema básico de resistencia a fuerzas laterales del edificio conserva casi toda sus características y capacidades iniciales. El riesgo de amenaza a la vida por falla estructural es insignificante y el edificio es seguro para su ocupación.

Control de Daño, SP-2: Este término no es en realidad un nivel específico pero es un rango de daño que varía desde SP-1 (Ocupación Inmediata) a SP-3 (Seguridad de Vida). Ejemplo de control de daño incluye protección de la arquitectura de edificios históricos de contenido valioso.

Niveles de Comportamiento No estructural	Niveles de comportamiento Estructural					
	SP-1 Ocupación Inmediata ↓	SP-2 Control de Daño ↓	SP-3 Seguridad de Vida ↓	SP-4 Seguridad Limitada ↓	SP-5 Estabilidad Estructural ↓	SP-6 No Considerado ↓
NP-A Operacional →	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Ocupación Inmediata →	1-B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Seguridad de Vida →	1-C	2-C	3-C Seguridad de Vida	4-C	5-C	6-C
NP-D Peligro Reducido →	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No considerado →	NR	NR	3-E	4-E	5-E Estabilidad Estructural	No Aplicable

Legenda

	Nivel de comportamiento del ediificio comúnmente mencionado (SP-NP)
	Otras posibles combinaciones de SP-NP
	Combinaciones no recomendados de SP-NP

Tabla 2-1. Combinación de Niveles de Comportamiento Estructural Y No Estructural para formar Niveles de Desempeño del edificio. (Adaptado de Ref.2)

Seguridad de Vida, SP-3: Es el estado en el que pudiera haber ocurrido daño significativo a la estructura pero donde permanece algún margen contra el colapso total o parcial. El nivel de daño es menor que aquel para el nivel de Estabilidad Estructural. Las componentes estructurales principales no fallan. Mientras que pudiera ocurrir daños durante el terremoto, el riesgo de amenaza a la vida por el daño estructural es muy bajo. Se espera probablemente que grandes reparaciones estructurales sean necesarias antes de la reocupación del edificio, aunque en algunas ocasiones pueda que el daño no sea económicamente reparable. Este nivel de comportamiento estructural está proyectado a ser el nivel de comportamiento esperado de todos los códigos para nuevos edificios.

Seguridad Limitada, SP-4: Este término no es realmente un nivel específico de desempeño, pero es un rango de estado de daño que es por lo menos como SP-3 (Seguridad de Vida) pero no más que SP-5 (Estabilidad Estructural). Provee una definición para las situaciones donde el reforzamiento puede no satisfacer todos los requerimientos estructurales del nivel de Seguridad de Vida.

Estabilidad Estructural, SP-5: Este nivel es el límite de estado de daño estructural en que el sistema estructural del edificio está al borde de experimentar colapso parcial o total. Un daño sustancial a la estructura ha ocurrido, a ocurrido también significativa degradación en la rigidez y resistencia del sistema resistente a fuerza lateral. Sin embargo, todos los componentes de su sistema resistente a cargas de gravedad continúan para soportar sus demandas de gravedad. Aunque el edificio permanece

totalmente estable, existe riesgo significativo debido a falla que puede existir dentro y fuera del edificio. Se espera que una reparación significativa de la estructura principal sea necesario antes de la reocupación. En antiguos edificios de concreto es muy probable que el daño no sea técnicamente o económicamente reparable.

No Considerado, SP-6: Este no es un nivel de desempeño, pero provee una descripción para situaciones donde se ejecuta una evaluación sísmica o reforzamiento. La explícita inclusión de un Nivel de comportamiento Estructural No Considerado es una herramienta útil de comunicación entre el diseñador y el propietario.

2.2.2.- Niveles de Desempeño No Estructural.-

Los niveles de desempeño no estructurales -Operacional, Ocupación Inmediata, Seguridad de vida y Peligro Reducido- son estados de daño que pueden ser usados directamente en procedimientos de evaluación y reforzamiento para definir un criterio técnico.

Operacional, NP-A: Es el estado de daño donde los elementos no estructurales y sistemas están generalmente en el mismo lugar y operativos. Aunque se espera daño mínimo, toda maquinaria y equipamiento está en funcionamiento. Sin embargo, algunos servicios externos, pueden no estar disponibles debido a un significativo daño.

Ocupación Inmediata, NP-B: Es el estado de daño en el que elementos no estructurales y sistemas están generalmente en su sitio, se espera daño menor, particularmente debido a daño en sus contenidos. Aunque los

equipamientos y maquinarias estén anclados o arriostrados, su capacidad para funcionamiento después del sismo puede sufrir algunas limitaciones.

Seguridad de Vida, NP-C: Este estado incluye daño considerable a componentes no estructurales y sistemas pero no incluye colapso o falla suficiente como para causar daño severo dentro o fuera del edificio. Los sistemas no estructurales, equipamientos y maquinarias puede no funcionar sin reparación o reemplazo. Mientras que los perjuicios pueden ocurrir durante el terremoto, el riesgo de amenaza de vida a partir del daño no estructural es muy pequeño.

Peligro Reducido, NP-D: Este estado incluye daño extensivo a componentes no estructurales y sistemas pero no incluye colapso o falla de grandes y considerables componentes que cause significativo perjuicio a las personas, tal como parapetos, muros exteriores de albañilería, cielo raso. Ocurren serios perjuicios aislados, es muy pequeño el peligro de falla que pondría a gran número de personas en riesgo dentro o fuera del edificio.

No Considerado, NP-E: Este no es un nivel de desempeño, pero provee una designación para el caso común donde elementos no estructurales no son evaluados o son evaluados a menos que ellos tengan un efecto directo sobre la respuesta estructural, tal como muros portantes de albañilería o tabiquerías. La designación es necesaria para describir exactamente el comportamiento del edificio en el nivel de Estabilidad estructural donde elementos no estructurales no son, de hecho, considerados.

2.2.3.- Niveles de Desempeño del edificio.-

Combinaciones de un nivel de desempeño estructural y un nivel de desempeño no estructural forman un nivel de desempeño de un edificio. Para describir completamente el deseado estado de daño límite para un edificio. Las posibles combinaciones se muestran en la Tabla 2 -1. Los cuatro más comúnmente referenciados niveles de desempeño de un edificio se describen a continuación.

Operacional, 1-A: Este es el nivel de desempeño relacionado a la funcionalidad. El daño a la estructura del edificio es limitado tal que la continuidad de ocupación no esta en cuestión y cualquier reparación requerido es menor y puede ser llevado a cabo sin significativa molestia para los ocupantes. Similarmente, el daño a sistemas no estructurales y contenidos relacionado a la funcionalidad es menor y no compromete el funcionamiento del edificio.

Ocupación Inmediata, 1-B: Esto corresponde al criterio más amplio usado para servicios esenciales. Los espacios y sistemas del edificio se esperan que estén razonablemente utilizables, pero la continuidad de todos los servicios, no esta necesariamente garantizado, Sus contenidos pueden estar dañados.

Seguridad de Vida, 3-C: Este nivel está proyectado a alcanzar un estado de daño que presente una baja probabilidad de amenaza a la seguridad de vida, a partir del daño estructural por falla de componentes no estructurales del edificio. Los contenidos de mobiliarios, sin embargo, no son controlados, y crean peligros secundarios, tal como emisión de químicos o fuego.

Estabilidad Estructural, 5-E: Este estado de daño esta dirigido a pórticos principales del edificio o sistemas que llevan la carga vertical. La amenaza a la vida por peligro de falla externa o interna de componentes no estructurales o aún por daño estructural puede ocurrir.

2.3.- Intensidad de los Movimientos Sísmicos.-

El movimiento del suelo debido a un terremoto se combina con un deseado nivel de desempeño del edificio y formamos un Objetivo de Desempeño. El terremoto puede ser expresado con una probabilidad de ocurrencia (una propuesta probabilística), o en términos de la máxima sacudida esperada para una específica fuente de falla (una propuesta determinista). El nivel del terremoto se expresa en términos ingenieriles para su uso en el diseño. Un espectro de respuesta o una equivalente serie de registros simulados de sismos se usan para este propósito.

Los siguientes tres niveles de terremoto se definen con más detalle en el capítulo IV.

Sismo de Servicio (SE): Sismo con 50% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años.

Sismo de Diseño (DE): Sismo con 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años.

Sismo Máximo (ME): Máximo nivel de sismo esperado dentro del marco geológico conocido, o el movimiento de suelo con 5% de probabilidad de ser excedido en 50 años de periodo.

2.4.- Objetivo de Desempeño.-

Un Objetivo de desempeño se define seleccionando un nivel de desempeño del edificio deseado para un nivel dado de sismo.

Un Objetivo de Comportamiento dual o múltiple puede ser creado seleccionando dos o más niveles de comportamiento del edificio deseados, cada uno para un diferente nivel de sismo.

2.4.1.- Objetivo Básico de Seguridad.-

El Objetivo Básico de Seguridad, mostrado en la Tabla 2-2, es un nivel de objetivo de desempeño dual, definido como un comportamiento del edificio que alcanza el nivel de desempeño de Seguridad de Vida, 3-C, para un Nivel de Sismo de Diseño y el Nivel de desempeño Estabilidad Estructural, 5-E, para el Nivel de Sismo Máximo.

El objetivo Básico de Seguridad				
	Nivel de Comportamiento del Edificio			
Movimiento de Suelo por Sismo	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida ▼	Estabilidad Estructural ▼
Sismo de Servicio (SE)				
Sismo de Diseño (DE) →				
Sismo Máximo (ME) →				

Tabla 2-2. Objetivo de Desempeño Básico de Seguridad.(Adaptado de Ref.2)

2.5.- Objetivos de Comportamiento Presentado por la Asociación de Ingenieros Estructurales de California SEAOC (VISION 2000).-

Como se puede apreciar en este cuadro se agrega un nivel más de movimiento del suelo por sismo.

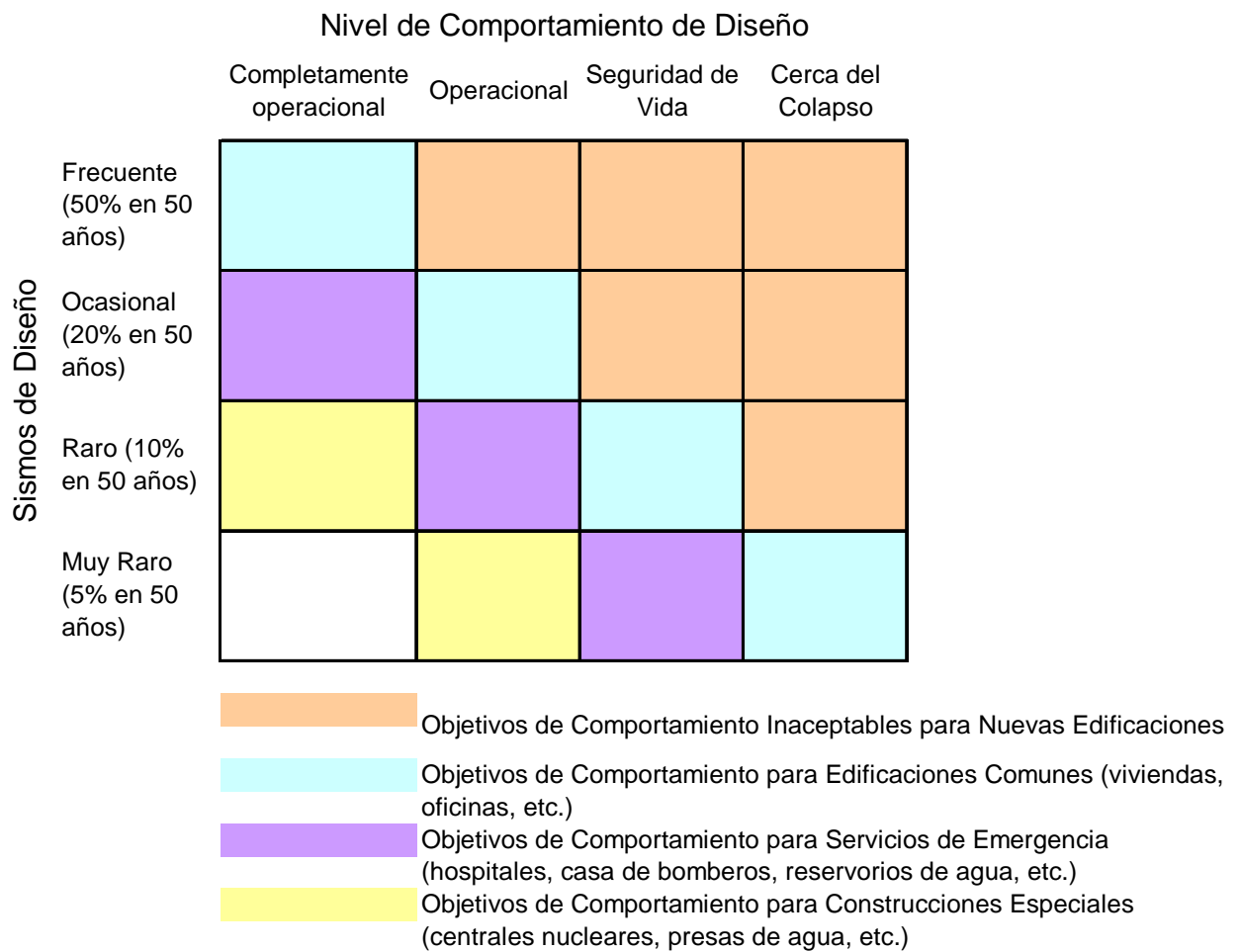


Fig. 1 Objetivos de Comportamiento dado por el comité Visión 2000 de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC) (Adaptado de Ref.12)

2.5.- Objetivos de Desempeño dado por FEMA 356.-

Tabla 2.3 (Adaptado de Ref. 5)

Objetivos de Rehabilitación

		Niveles de Comportamiento del Edificio Objetivo			
		Comportamiento Operacional	Comportamiento de Inmediata Ocupación	Comportamiento de Seguridad de Vida	Comportamiento de Colapso Prevenido
Nivel de Peligro por Terremoto	50% / 50 años	a	b	c	d
	20% / 50 años	e	f	g	h
	10% / 50 años	i	j	k	l
	2% / 50 años	m	n	o	p

Observación

- 1.- Cada celda en la matriz de arriba representa un objetivo de Rehabilitación Discreto.
- 2.- Los Objetivos de Rehabilitación en la matriz de arriba pueden ser usados para representar tres específicos objetivos de rehabilitación como sigue:

k+p = Objetivo Básico de Seguridad (BSO)

k+p+ cualquiera de a,e,i,b,f,j ó n = Objetivo Incrementado

solo o, solo n, solo m = Objetivo Incrementado

c, g d, h, i = Objetivos Limitados

CAPITULO III

CURVA DE CAPACIDAD

3.1 Generalidades

El objetivo central del análisis no lineal estático “Pushover” es la generación de la Curva de Capacidad, que representa el desplazamiento lateral como una función de la fuerza aplicada a la estructura. Este proceso provee al diseñador valores que le dan una visión más clara del comportamiento de una estructura.

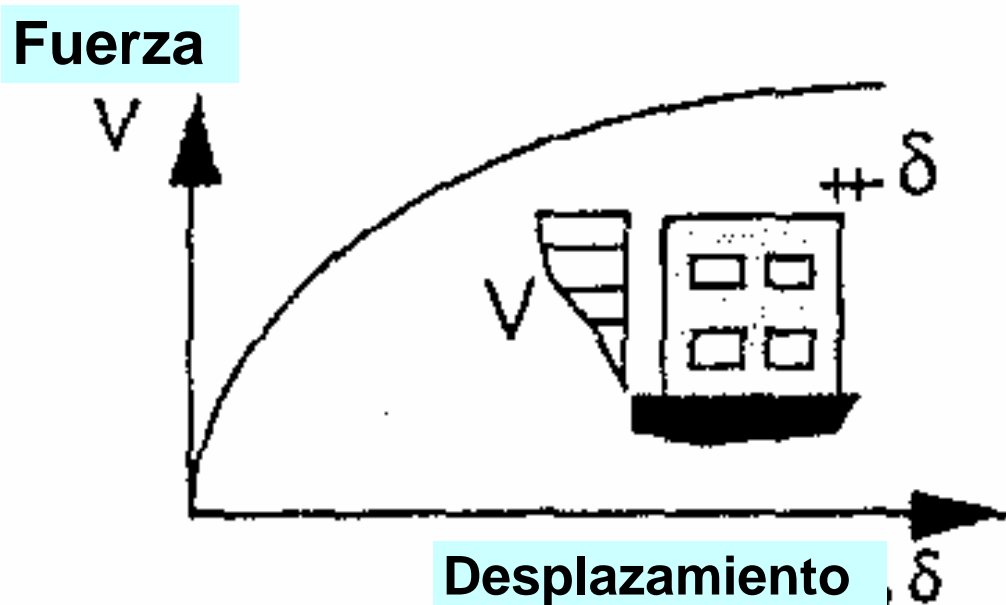


Fig. 2 Curva de Capacidad de una Estructura (Adaptado de Ref. 2)

La Capacidad es la representación gráfica de cuanto una estructura resiste una demanda sísmica. El comportamiento de una estructura depende de la manera en que su Capacidad maneja la Demanda Sísmica. En otras palabras, la estructura debe ser capaz

de resistir la demanda del terremoto tal que el comportamiento de la estructura sea compatible con los *objetivos de desempeño*.

La Capacidad total de una estructura depende de la resistencia y capacidades de deformación de sus componentes individuales. Para determinar la capacidad más allá de los límites elásticos, se requiere alguna forma de análisis no lineal, tal como el procedimiento pushover. Este procedimiento usa una serie de análisis elásticos secuenciales, superpuestos para aproximar un diagrama de capacidad fuerza-desplazamiento de toda la estructura. El procedimiento se puede resumir en lo siguiente: el modelo matemático una estructura, inicialmente sin rótulas, es expuesto a fuerzas laterales hasta que algunos elementos alcancen su límite elástico, luego la estructura es modificada para tomar en cuenta la resistencia reducida de elementos donde su capacidad ha sido rebasada y se han producido rótulas. Una distribución de fuerzas laterales es otra vez aplicada hasta que en adicionales elementos se produzcan rótulas. Este proceso se continúa hasta que la estructura se vuelva inestable o hasta que un predeterminado límite sea alcanzado. La curva de capacidad pushover aproximadamente nos indica como la estructura se comporta después de exceder su límite elástico.

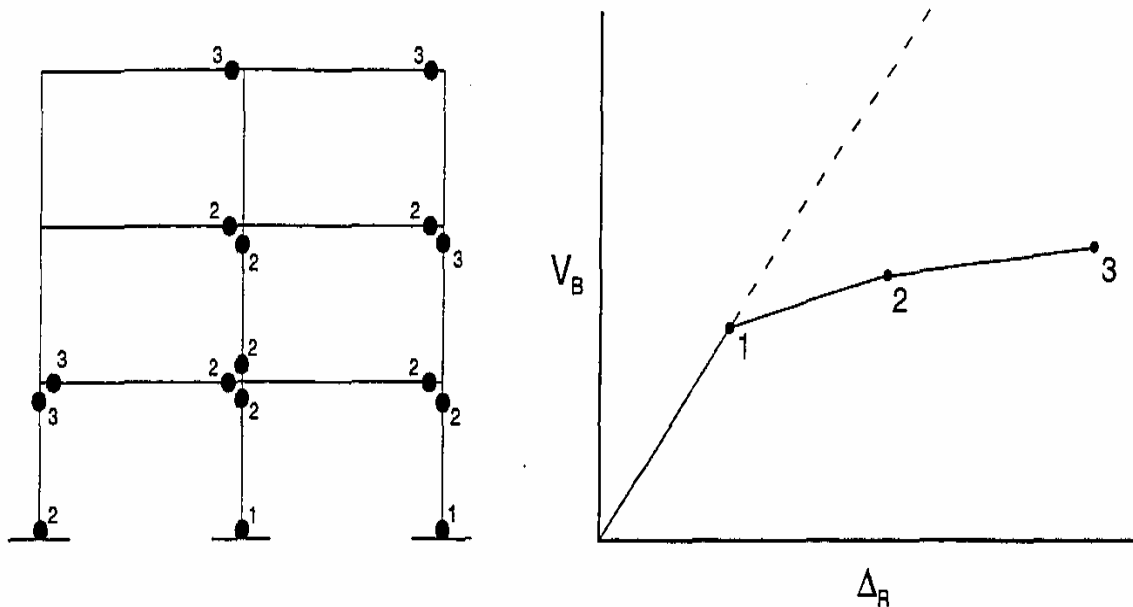


Fig. 3 Mecanismo de colapso formado (Adaptado de Ref. 12)

3.2 Análisis Plástico de Primer Orden (Ref. 16)

3.2.1.- Introducción:

En un análisis convencional basado en rótulas plásticas, la inelasticidad del elemento estructural se supone concentrada en una rótula plástica de “longitud cero”. En otras regiones en el elemento estructural diferentes al de la rótula plástica se supone que tiene un comportamiento elástico. Si las fuerzas en una sección particular del elemento estructural es menor que la capacidad plástica de la sección, se supone un comportamiento elástico. Si es alcanzada la capacidad plástica, se forma una rótula plástica y la matriz de rigidez del elemento se modifica para tomar en cuenta la presencia de la rótula plástica. La respuesta de la sección transversal del elemento estructural, después de la formación una rótula plástica, se supone perfectamente plástica, sin la presencia del endurecimiento por deformación. (strain hardening).

En un análisis plástico de primer orden solamente se toma en cuenta los efectos inelásticos que afectan la resistencia de la estructura, más no así los efectos no lineales geométricos del elemento estructural sobre el equilibrio de la estructura (análisis plástico de segundo orden).

3.2.2.- Procedimiento Numérico Para un Análisis Plástico de Primer Orden.-

El análisis plástico de primer orden es una serie de análisis elásticos de primer orden ejecutados sobre la estructura original y las subsecuentes estructuras modificadas por la formación de rótulas plásticas. Se asume que las rótulas plásticas se forman en los extremos de los elementos. El procedimiento numérico consta de los siguientes pasos:

1. Se ejecuta un análisis elástico sobre la estructura original sujeta a un conjunto de cargas dadas. Este conjunto de cargas tienen una magnitud relativa proporcional a aquel en el estado último de algún elemento estructural. A este conjunto de cargas se le denomina como “cargas de referencia”.
2. El factor de carga de cada punto nodal es calculado dividiendo la capacidad de momento plástico en el punto nodal por el momento en el punto nodal debido a las “cargas de referencia”. La localización del menor factor de carga en toda la estructura es la localización de la primera rótula plástica (o rótulas plásticas).
3. Los desplazamientos y fuerzas internas en todos los nodos de la estructura original, causado por las “fuerzas de referencia” se multiplican por el menor factor de carga hallado en el paso 2. Se hace esto por el hecho de que el comportamiento de la estructura es linealmente elástico entre la formación de una rótula a otra. Con este paso el primer grupo de pasos de análisis estructural queda completado.
4. La estructura original es ahora modificada insertando una rótula ficticia en la localización de la primera rótula plástica.

5. Un análisis elástico es nuevamente ejecutado sobre la estructura modificada sujeta a las “cargas de referencia”.
6. El factor de carga de cada nodo es calculado otra vez dividiendo la capacidad de momento plástico “remanente” en cada nodo por el momento debido a las cargas de referencia aplicadas sobre la estructura modificada. La segunda rótula plástica puede ahora ser localizada donde está el menor factor de carga.
7. Los desplazamientos y fuerzas internas son otra vez escalados por el nuevo factor de carga menor.
8. Son calculados valores acumulados de los factores de carga menores, desplazamientos y fuerzas internas en todos los puntos nodales. Así se completa el segundo grupo de pasos del análisis estructural.
9. La estructura es otra vez modificada insertando otra rótula ficticia en la localización determinada en el paso 6.
10. Los pasos 5 a 9 son repetidos hasta que se obtenga una estructura inestable. La estructura inestable se reconoce cuando la matriz de rigidez de la estructura tiene determinante cero.

A continuación se presenta las matrices de rigidez así como los vectores de acciones de extremo de un elemento en el plano con rótula solo en el extremo J, con rótula solo en el extremo K y cuando tiene rótula en ambos extremos, considerando tres grados de libertad por nudo y considerando además deformaciones por corte sacadas de la referencia (17) y (18).



$$\text{Desplazamientos en el nudo J} = \begin{Bmatrix} D_{j1} \\ D_{j2} \\ D_{j3} \end{Bmatrix}$$

$$\text{Desplazamientos en el nudo K} = \begin{Bmatrix} D_{k1} \\ D_{k2} \\ D_{k3} \end{Bmatrix}$$

Fig 4 Elemento estructural mostrando sus grados de libertad en el plano

MATRIZ DE RIGIDEZ PARA UN ELEMENTO SIN RÓTULAS EN LOS EXTREMOS
(Adaptado de Ref. 17 y 18)

(Para ejes de la estructura)

$$G4 = \frac{E}{[2(1+\mu)]}, \quad \mu = 0.2 \text{ para concreto armado} \quad g5 = \frac{36EI}{5 G4 AL^2} \quad a5 = \frac{EI}{(1+2g5)}$$

$$S_{md} = \begin{bmatrix} \frac{EACx^2}{L} + \frac{12a5Cy^2}{L^3} & \left(\frac{EA}{L} - \frac{12a5}{L^3}\right)CxCy & -\frac{6a5Cy}{L^2} & -\frac{EACx^2}{L} - \frac{12a5Cy^2}{L^3} & \left(-\frac{EA}{L} + \frac{12a5}{L^3}\right)CxCy & -\frac{6a5Cy}{L^2} \\ \left(\frac{EA}{L} - \frac{12a5}{L^3}\right)CxCy & \frac{EACy^2}{L} + \frac{12a5Cx^2}{L^3} & \frac{6a5Cx}{L^2} & \left(-\frac{EA}{L} + \frac{12a5}{L^3}\right)CxCy & -\frac{EACy^2}{L} - \frac{12a5Cx^2}{L^3} & \frac{6a5Cx}{L^2} \\ -\frac{6a5Cy}{L^2} & \frac{6a5Cx}{L^2} & \frac{4a5(1+0.5g5)}{L} & \frac{6a5Cy}{L^2} & -\frac{6a5Cx}{L^2} & \frac{2a5(1-g5)}{L} \\ -\frac{EACx^2}{L} - \frac{12a5Cy^2}{L^3} & \left(-\frac{EA}{L} + \frac{12a5}{L^3}\right)CxCy & \frac{6a5Cy}{L^2} & \frac{EACx^2}{L} + \frac{12a5Cy^2}{L^3} & \left(\frac{EA}{L} - \frac{12a5}{L^3}\right)CxCy & \frac{6a5Cy}{L^2} \\ \left(-\frac{EA}{L} + \frac{12a5}{L^3}\right)CxCy & -\frac{EACy^2}{L} - \frac{12a5Cx^2}{L^3} & -\frac{6a5Cx}{L^2} & \left(\frac{EA}{L} - \frac{12a5}{L^3}\right)CxCy & \frac{EACy^2}{L} + \frac{12a5Cx^2}{L^3} & -\frac{6a5Cx}{L^2} \\ -\frac{6a5Cy}{L^2} & \frac{6a5Cx}{L^2} & \frac{2a5(1-g5)}{L} & \frac{6a5Cy}{L^2} & -\frac{6a5Cx}{L^2} & \frac{4a5(1+0.5g5)}{L} \end{bmatrix}$$

MATRIZ DE RIGIDEZ PARA UN ELEMENTO CON RÓTULAS EN EL EXTREMO "J"
 (Para ejes de la estructura)
 (Adaptado de Ref. 17 y 18)

$$G4 = \frac{E}{[2(1+\mu)]}, \quad \mu = 0.2 \text{ para concreto armado} \quad g5 = \frac{36EI}{5 G4 AL^2} \quad a5 = \frac{EI}{(1+2 g5)}$$

$$Smd = \begin{bmatrix} \frac{EACx^2}{L} + \frac{3a5Cy^2}{L^3} & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3a5}{L^3}\right)CxCy & 0 & -\frac{EACx^2}{L} - \frac{3a5Cy^2}{L^3} & \left(-\frac{EA}{L} + \frac{3a5}{L^3}\right)CxCy & -\frac{3a5Cy}{L^2} \\ \left(\frac{EA}{L} - \frac{3a5}{L^3}\right)CxCy & \frac{EACy^2}{L} + \frac{3a5Cx^2}{L^3} & 0 & \left(-\frac{EA}{L} + \frac{3a5}{L^3}\right)CxCy & -\frac{EACy^2}{L} - \frac{3a5Cx^2}{L^3} & \frac{3a5Cx}{L^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EACx^2}{L} - \frac{3a5Cy^2}{L^3} & \left(-\frac{EA}{L} + \frac{3a5}{L^3}\right)CxCy & 0 & \frac{EACx^2}{L} + \frac{3a5Cy^2}{L^3} & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3a5}{L^3}\right)CxCy & \frac{3a5Cy}{L^2} \\ \left(-\frac{EA}{L} + \frac{3a5}{L^3}\right)CxCy & -\frac{EACy^2}{L} - \frac{3a5Cx^2}{L^3} & 0 & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3a5}{L^3}\right)CxCy & \frac{EACy^2}{L} + \frac{3a5Cx^2}{L^3} & -\frac{3a5Cx}{L^2} \\ -\frac{3a5Cy}{L^2} & \frac{3a5Cx}{L^2} & 0 & \frac{3a5Cy}{L^2} & -\frac{3a5Cx}{L^2} & \frac{3a5(1+0.5g5)}{L} \end{bmatrix}$$

MATRIZ DE RIGIDEZ PARA UN ELEMENTO CON RÓTULAS EN EL EXTREMO "K"
 (Para ejes de la estructura)
 (Adaptado de Ref. 17 y 18)

$$G4 = \frac{E}{[2(1+\mu)]}, \quad \mu = 0.2 \text{ para concreto armado} \quad g5 = \frac{36EI}{5 G4 AL^2} \quad a5 = \frac{EI}{(1+2 g5)}$$

$$Smd = \begin{bmatrix} \frac{EACx^2}{L} + \frac{3 a5 Cy^2}{L^3} & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3 a5}{L^3}\right) Cx Cy & -\frac{3 a5 Cy}{L^2} & -\frac{EACx^2}{L} - \frac{3 a5 Cy^2}{L^3} & \left(-\frac{EA}{L} + \frac{3 a5}{L^3}\right) Cx Cy & 0 \\ \left(\frac{EA}{L} - \frac{3 a5}{L^3}\right) Cx Cy & \frac{EACy^2}{L} + \frac{3 a5 Cx^2}{L^3} & \frac{3 a5 Cx}{L^2} & \left(-\frac{EA}{L} + \frac{3 a5}{L^3}\right) Cx Cy & -\frac{EACy^2}{L} - \frac{3 a5 Cx^2}{L^3} & 0 \\ -\frac{3 a5 Cy}{L^2} & \frac{3 a5 Cx}{L^2} & \frac{3 a5 (1+0.5 g5)}{L} & \frac{3 a5 Cy}{L^2} & -\frac{3 a5 Cx}{L^2} & 0 \\ -\frac{EACx^2}{L} - \frac{3 a5 Cy^2}{L^3} & \left(-\frac{EA}{L} + \frac{3 a5}{L^3}\right) Cx Cy & \frac{3 a5 Cy}{L^2} & \frac{EACx^2}{L} + \frac{3 a5 Cy^2}{L^3} & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3 a5}{L^3}\right) Cx Cy & 0 \\ \left(-\frac{EA}{L} + \frac{3 a5}{L^3}\right) Cx Cy & -\frac{EACy^2}{L} - \frac{3 a5 Cx^2}{L^3} & -\frac{3 a5 Cx}{L^2} & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3 a5}{L^3}\right) Cx Cy & \frac{EACy^2}{L} + \frac{3 a5 Cx^2}{L^3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

MATRIZ DE RIGIDEZ PARA UN ELEMENTO CON RÓTULAS EN AMBOS EXTREMOS
 (Para ejes de la estructura)
 (Adaptado de Ref. 17 y 18)

$$G4 = \frac{E}{[2(1+\mu)]}, \quad \mu = 0.2 \text{ para concreto armado} \quad g5 = \frac{36EI}{5 G4 AL^2} \quad a5 = \frac{EI}{(1+2 g5)}$$

$$Smd = \begin{bmatrix} \frac{EACx^2}{L} & \left(\frac{EA}{L}\right)CxCy & 0 & -\frac{EACx^2}{L} & \left(-\frac{EA}{L}\right)CxCy & 0 \\ \left(\frac{EA}{L}\right)CxCy & \frac{EACy^2}{L} & 0 & \left(-\frac{EA}{L}\right)CxCy & -\frac{EACy^2}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EACx^2}{L} & \left(-\frac{EA}{L}\right)CxCy & 0 & \frac{EACx^2}{L} & \left(\frac{EA}{L}\right)CxCy & 0 \\ \left(-\frac{EA}{L}\right)CxCy & -\frac{EACy^2}{L} & 0 & \left(\frac{EA}{L}\right)CxCy & \frac{EACy^2}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

VECTOR DE ACCIONES DE EXTREMO PARA UN ELEMENTO CON ROTULA
EN EL EXTREMO "J"

(Para ejes del elemento)
(Adaptado de Ref. 17 y 18)

$$G4 = \frac{E}{[2(1+\mu)]}, \quad \mu = 0.2 \text{ para concreto armado} \quad g5 = \frac{36EI}{5 G4 AL^2} \quad a5 = \frac{EI}{(1+2 g5)}$$

$$AM = \begin{bmatrix} AML(1,1) + \frac{EA}{L} [(D_{J1} - D_{K1})Cx + (D_{J2} - D_{K2})Cy] \\ AML(2,1) + \frac{3 a5}{L^3} [-(D_{J1} - D_{K1})Cy + (D_{J2} - D_{K2})Cx] + \frac{3 a5}{L^2} (D_{K3}) \\ 0 \\ AML(4,1) + \frac{EA}{L} [-(D_{J1} - D_{K1})Cx - (D_{J2} - D_{K2})Cy] \\ AML(5,1) + \frac{3 a5}{L^3} [(D_{J1} - D_{K1})Cy - (D_{J2} - D_{K2})Cx] - \frac{3 a5}{L^2} (D_{K3}) \\ AML(6,1) + \frac{3 a5}{L^2} [-(D_{J1} - D_{K1})Cy + (D_{J2} - D_{K2})Cx] + \frac{3 a5 (1+0.5 g5)}{L} (D_{K3}) \end{bmatrix}$$

VECTOR DE ACCIONES DE EXTREMO PARA UN ELEMENTO CON ROTULA EN EL
EXTREMO "K"
(Para ejes del elemento)
(Adaptado de Ref. 17 y 18)

$$G4 = \frac{E}{[2(1+\mu)]}, \quad \mu = 0.2 \text{ para concreto armado} \quad g5 = \frac{36EI}{5 G4 AL^2} \quad a5 = \frac{EI}{(1+2g5)}$$

$$AM = \begin{bmatrix} AML(1,1) + \frac{EA}{L} [(D_{J1} - D_{K1})C_x + (D_{J2} - D_{K2})C_y] \\ AML(2,1) + \frac{3a5}{L^3} [-(D_{J1} - D_{K1})C_y + (D_{J2} - D_{K2})C_x] + \frac{3a5}{L^2} (D_{J3}) \\ AML(3,1) + \frac{3a5}{L^2} [-(D_{J1} - D_{K1})C_y + (D_{J2} - D_{K2})C_x] + \frac{3a5(1+0.5g5)}{L} (D_{J3}) \\ AML(4,1) + \frac{EA}{L} [-(D_{J1} - D_{K1})C_x - (D_{J2} - D_{K2})C_y] \\ AML(5,1) + \frac{3a5}{L^3} [(D_{J1} - D_{K1})C_y - (D_{J2} - D_{K2})C_x] - \frac{3a5}{L^2} (D_{J3}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

VECTOR DE ACCIONES DE EXTREMO PARA UN ELEMENTO CON ROTULAS
EN AMBOS EXTREMOS
(Para ejes del elemento)
(Adaptado de Ref. 17 y 18)

$$G4 = \frac{E}{[2(1+\mu)]}, \quad \mu = 0.2 \text{ para concreto armado} \quad g5 = \frac{36EI}{5 G4 AL^2} \quad a5 = \frac{EI}{(1+2g5)}$$

$$AM = \begin{bmatrix} AML(1,1) + \frac{EA}{L} [(D_{J1} - D_{K1})C_x + (D_{J2} - D_{K2})C_y] \\ 0 \\ 0 \\ AML(4,1) + \frac{EA}{L} [-(D_{J1} - D_{K1})C_x - (D_{J2} - D_{K2})C_y] \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

3.3 Conversión de la Curva de Capacidad a un Espectro de Capacidad.-(Ref 2)

Para usar el “Método del espectro de capacidad “ propuesto por la ATC-40 es necesario convertir la Curva de Capacidad, que está en términos del *cortante basal* y *desplazamiento del techo*, a un Espectro de Capacidad, que es una representación de la Curva de Capacidad en un formato de Espectro de Respuesta Aceleración-desplazamiento (ADRS) (S_a versus S_d) . Las ecuaciones requeridas para hacer la transformación son: (Ref. 2)

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (1)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (2)$$

$$S_{ai} = \frac{V_i / W}{\alpha_1} \quad (3)$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{techo}}{PF_1 \phi_{techo,1}} \quad (4)$$

Donde:

$PF1$ = factor de participación modal para el primer modo natural

α_1 = coeficiente modal de masa para el primer modo natural

w_i / g = masa asignada al nivel i

ϕ_{i1} = amplitud del modo 1 en el nivel i

N = nivel N , el nivel que es el más alto en la parte principal de la estructura

V = cortante basal

W = peso muerto del edificio más probable carga viva.

Δ_{techo} = desplazamiento del techo (V y el asociado Δ_{tercho} componen puntos sobre la curva de capacidad).

S_a = aceleración espectral

S_d = desplazamiento espectral (S_a y el asociado S_d componen puntos sobre espectro de capacidad).

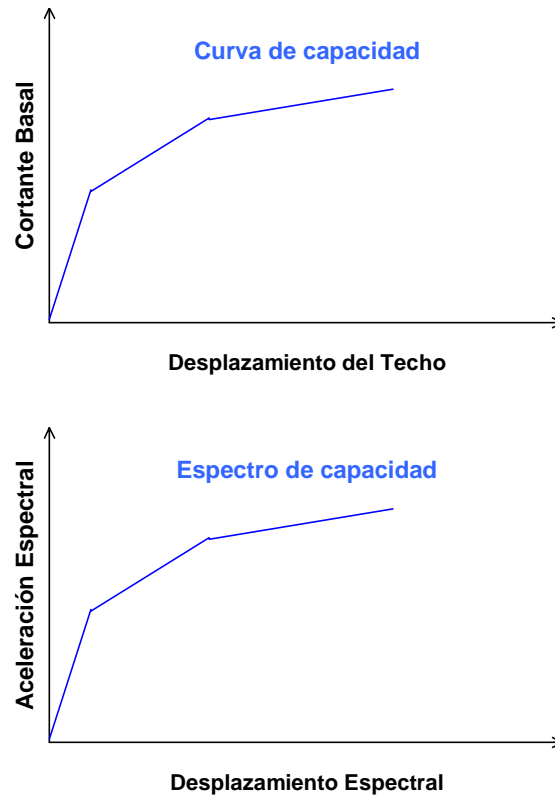


Fig. 5 Transformación de la curva de capacidad a un espectro de capacidad.(Ref2)
El proceso general para convertir la Curva de Capacidad al Espectro de Capacidad, que

es, convertir la Curva de Capacidad de un formato *cortante basal versus desplazamiento del techo* a un formato de *desplazamiento espectral versus aceleración espectral* (formato ADRS), es primero calcular el factor de participación modal PF1 y el coeficiente modal de masa α_1 usando las ecuaciones dadas. Entonces para cada punto sobre la curva de capacidad, V , Δ_{techo} , calcular el asociado punto S_a , S_d sobre el espectro de capacidad usando las ecuaciones dadas.

3.4 Representación Bilineal del Espectro de Capacidad(Ref. 2)

Una representación bilineal del espectro de capacidad es necesaria para estimar un amortiguamiento efectivo y reducción apropiada de la Demanda Espectral. La construcción de la representación bilineal requiere la definición del punto a_{pi}, d_{pi} . Este punto es el *punto de desempeño tentativo* que es estimado por el diseñador para desarrollar un *espectro de respuesta de demanda reducido*. Si se encuentra que el espectro de demanda reducido interseca el espectro de Capacidad en el punto estimado a_{pi}, d_{pi} , entonces aquel punto es el *Punto de Desempeño*. El primer estimado del punto a_{pi}, d_{pi} se designa como a_{p1}, d_{p1} , el segundo punto de designará a_{p2}, d_{p2} , y así sucesivamente.

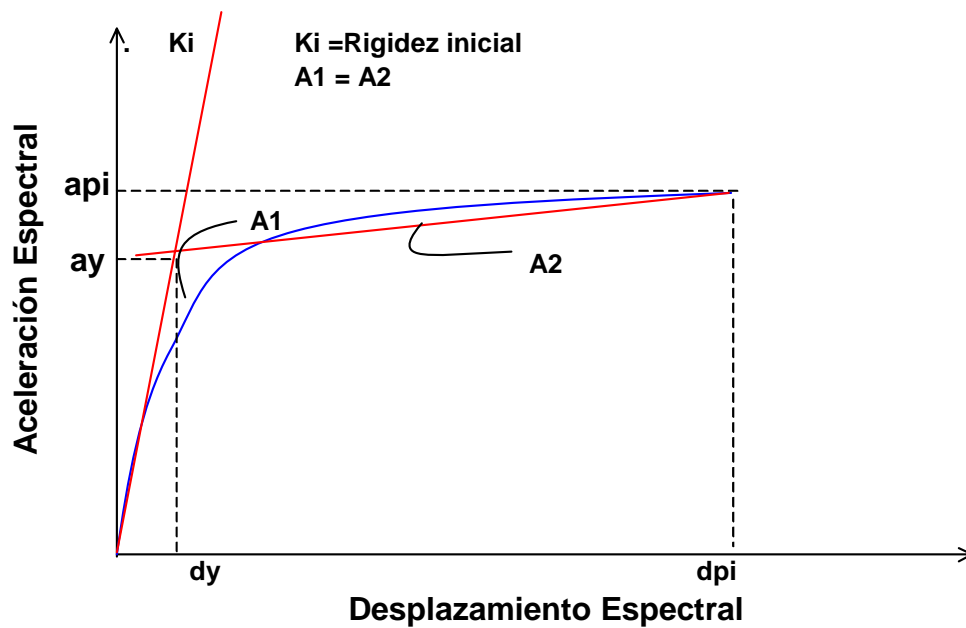


Fig. 6 Representación Bilineal del Espectro de Capacidad (Adaptado de Ref. 2)

Para construir la representación bilineal dibuje una primera línea siguiendo la rigidez inicial del edificio desde el origen. Dibuje una segunda línea desde el *punto de desempeño tentativo* a_{pi}, d_{pi} hacia abajo hasta intersectar la primera línea en el punto a_y, d_y con una pendiente tal que el área designada A_1 sea aproximadamente igual al área designada como A_2 . La intención al hacer que el área A_1 sea igual al área A_2 es para tener área igual bajo el Espectro de Capacidad y su representación bilineal, y esto para tener igual energía asociada con cada curva.

CAPITULO IV

ESPECTRO DE DEMANDA

4.1 Niveles Sísmicos.-

El ATC-40 considera tres niveles sísmicos los cuales son: Sismo de Servicio, Sismo de Diseño y Sismo Máximo. Estos niveles sísmicos se definen a continuación:

4.1.1 Sismo de Servicio.-

El Sismo de Servicio es definido como el nivel de sismo que tiene un 50% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años. Este nivel de sismo es típicamente 0.5 veces el Sismo de Diseño. El Sismo de Servicio representa un nivel frecuente de sacudimiento del suelo que es probable a ser experimentado durante la vida del edificio. En términos probabilísticos el Sismo de Servicio tiene un periodo de retorno medio de aproximadamente 75 años.

4.1.2 Sismo de Diseño.-

El Sismo de Diseño es definido como el sismo que tiene 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años. El Sismo de Diseño representa un nivel infrecuente de sacudida del suelo que puede ocurrir durante la vida del edificio. En términos probabilísticos el Sismo de Diseño tiene un periodo de retorno medio de aproximadamente 475 años.

4.1.3 Sismo Máximo.-

El Sismo Máximo es definido como el máximo nivel sismo que se puede esperar en el lugar donde está situado el edificio dentro de un conocido marco geológico de trabajo. Esta intensidad de movimiento de suelo puede ser calculado como el nivel de sismo que tiene un 5% de probabilidad de ser excedido en 50 años de periodo. Este nivel de movimiento de la base es 1.25 a 1.5 veces el nivel de movimiento de la base para un

Sismo de Diseño. En términos probabilísticos, el Sismo Máximo tiene un periodo de retorno de aproximadamente 975 años.

4.2. Demanda Sísmica en la Norma Peruana E-030. (Ref. 21)

El espectro elástico de respuesta de aceleraciones de la Norma Peruana E-030 corresponde a un sismo catalogado como Sismo de Diseño. Como ejemplo grafiquémoslo para los siguientes parámetros:

$$S_{a_D} = ZUSCg \quad (5)$$

Con: $Z = 0.4$ (Zona 3, suelo rígido)

$U = 1.0$ (edificaciones comunes)

$S = S1 = 1.0$ (Suelo rígido)

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right), C \leq 2.5$$

$S1 \rightarrow T_p = 0.4 \text{ seg.}$

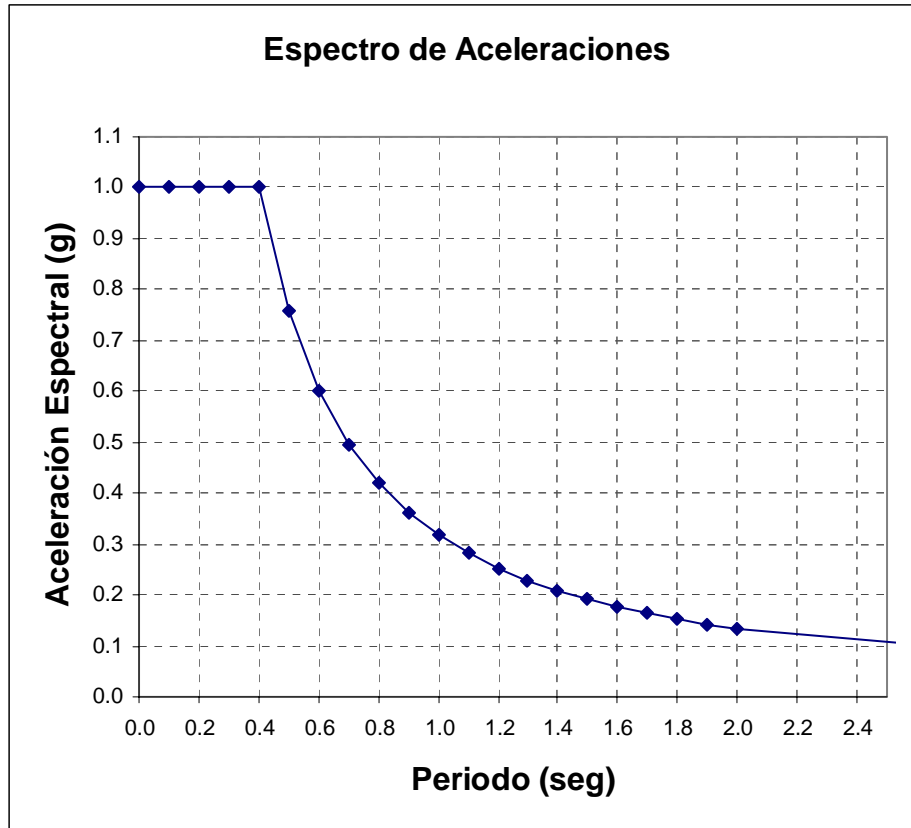


Fig. 7 Espectro de Aceleraciones Elástica para un Sismo de Diseño de la Norma Peruana E-030

Una manera rápida de tener un espectro elástico para un nivel de sismo catalogado como Sismo de Servicio (según ATC-40) es considerar como 0.5 veces el Sismo de Diseño, $Sa_S = 0.5 * Sa_D$, por tanto un ejemplo de Sismo de Servicio con los mismos parámetros anteriores sería:

$$Sa_S = 0.5 * ZUSCg \tag{6}$$

Con: $Z = 0.4$ (Zona 3, suelo rígido)

$U = 1.0$ (edificaciones comunes)

$S = S1 = 1.0$ (Suelo rígido)

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right), C \leq 2.5$$

S1 $\rightarrow T_p = 0.4$ seg.

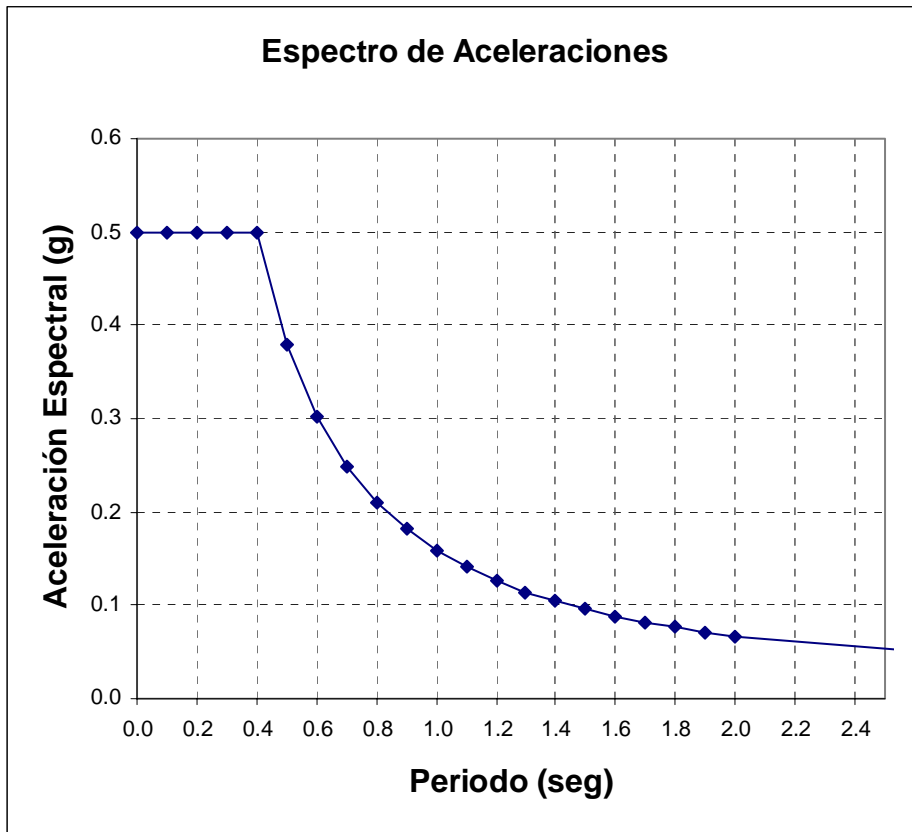


Fig. 8 Espectro de Acelerações Elásticas para un Sismo de Servicio

Una manera rápida de tener un espectro elástico para un nivel de sismo catalogado como Sismo Máximo (según ATC-40) es considerar como 1.25 veces el Sismo de Diseño $Sa_M = 1.25 * Sa_D$, por tanto un ejemplo de Sismo Máximo con los mismos parámetros anteriores sería:

$$Sa_M = 1.25 * ZUSCg \quad (7)$$

Con: $Z = 0.4$ (Zona 3, suelo rígido)

$U = 1.0$ (edificaciones comunes)

$S = S1 = 1.0$ (Suelo rígido)

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right), C \leq 2.5$$

$S1 \rightarrow T_p = 0.4 \text{ seg.}$

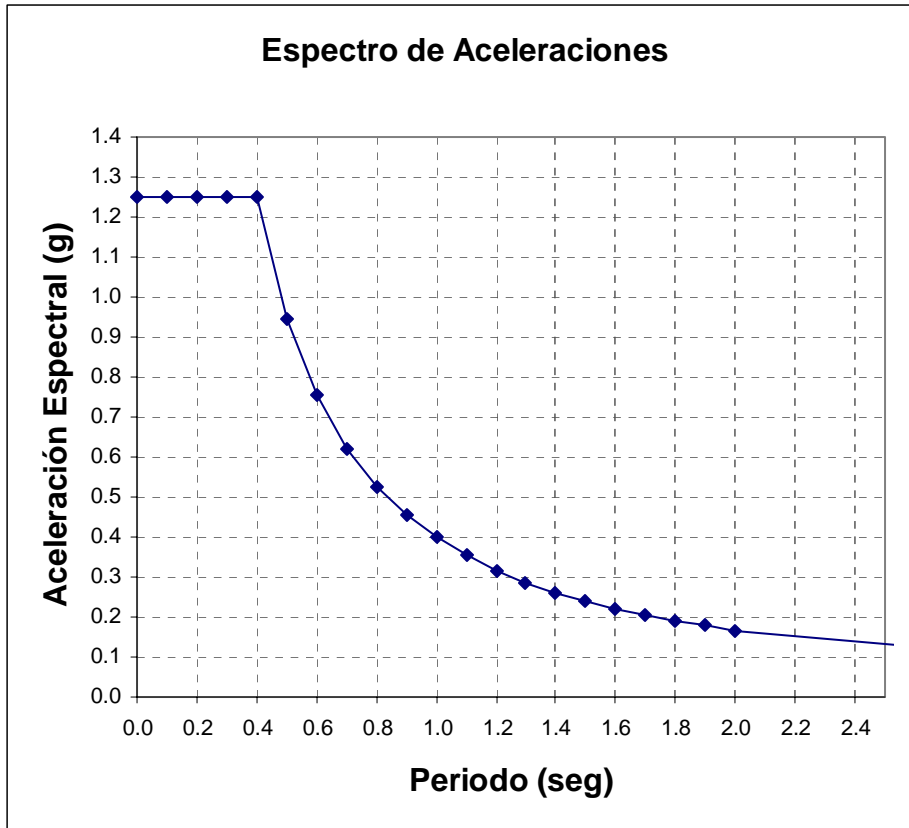


Fig. 9 Espectro de Aceleraciones Elásticas para un Sismo Máximo

4.3 Sismo de Diseño Elástico de la Norma Peruana E-030 en Formato Aceleración Espectral Versus Desplazamiento Espectral (ADRS)

Transformaremos el espectro de demanda elástico (Sismo de Diseño) que está en un dominio de *aceleración espectral vs. Periodo* a un dominio de *aceleración espectral vs. desplazamiento espectral*. Cada punto de la curva del espectro de respuesta está asociado con una única aceleración espectral, S_a , velocidad espectral, S_v , desplazamiento espectral, S_d y un periodo, T . Para convertir un espectro desde su forma estándar *aceleración espectral vs periodo*, es necesario determinar el valor de S_d para cada punto de la curva, S_{d_i} , T_i . Esto puede ser hecho por la siguiente ecuación:

De la conocida relación $S_v = wS_d = \frac{S_a}{w}$, y por otro lado $w = \frac{2\pi}{T}$

w = frecuencia circular o angular del sistema, luego: (Ref. 2)

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} \text{ g} \quad (8)$$

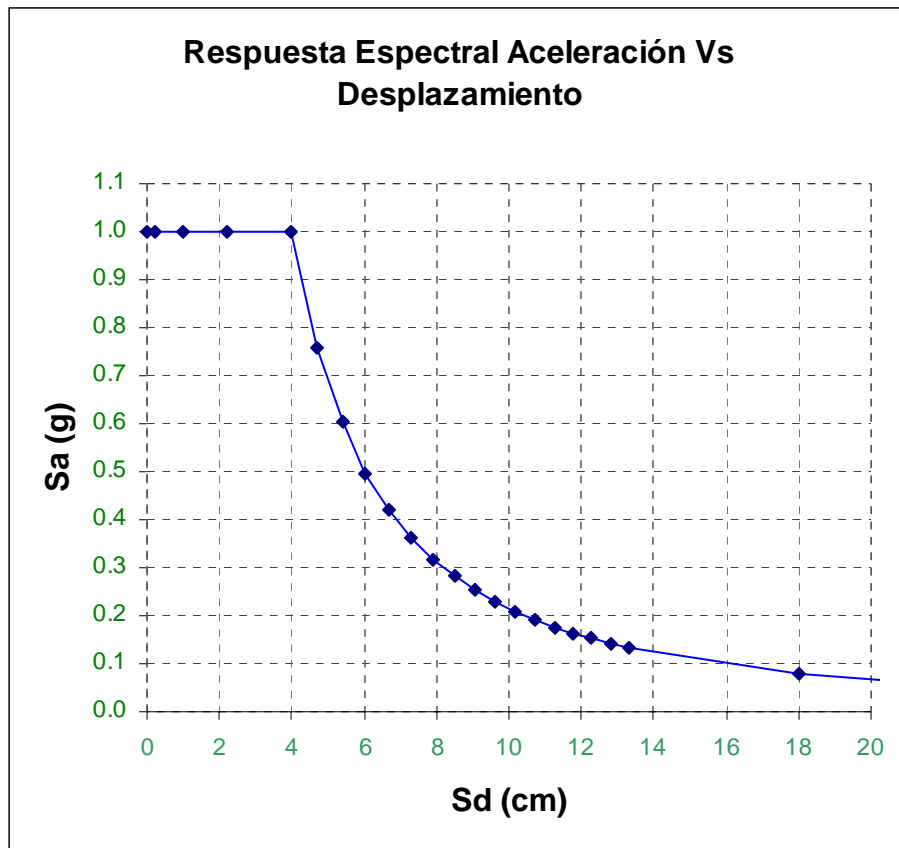


Fig. 10 Espectro de Aceleraciones Elásticas para un Sismo de Diseño de la Norma Peruana E-030

4.4 Cálculo del Amortiguamiento y Reducción del Espectro de Respuesta (Ref. 2)

Se usa factores de reducción de la respuesta espectral para disminuir el espectro de respuesta elástico (5% de amortiguamiento) a un espectro de respuesta reducido con amortiguamiento mayor que 5% del amortiguamiento crítico.

El amortiguamiento que ocurre cuando algún terremoto conduce a una estructura dentro del rango inelástico puede ser visto como una combinación del *amortiguamiento viscoso*, que es inherente en la estructura, y el *amortiguamiento histerético*. El amortiguamiento histerético está relacionado al área bajo el lazo que se forma cuando las fuerzas sísmicas (cortante basal) se plotea contra el desplazamiento de la estructura. El amortiguamiento histerético puede ser representado como un amortiguamiento viscoso equivalente usando ecuaciones que están disponibles en la literatura. El amortiguamiento viscoso equivalente, β_{eq} , asociado con el máximo desplazamiento, d_{pi} , se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$\beta_{eq} = \beta_o + 0.05 \quad (9)$$

Donde:

β_o = amortiguamiento histerético

0.05 = 5% de amortiguamiento viscoso inherente en la estructura (se supone que es constante).

El término β_o puede ser calculado como:

$$\beta_o = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S_o}} \quad (10)$$

Donde:

E_D = energía disipada por amortiguamiento

E_{S_0} = energía de deformación máxima

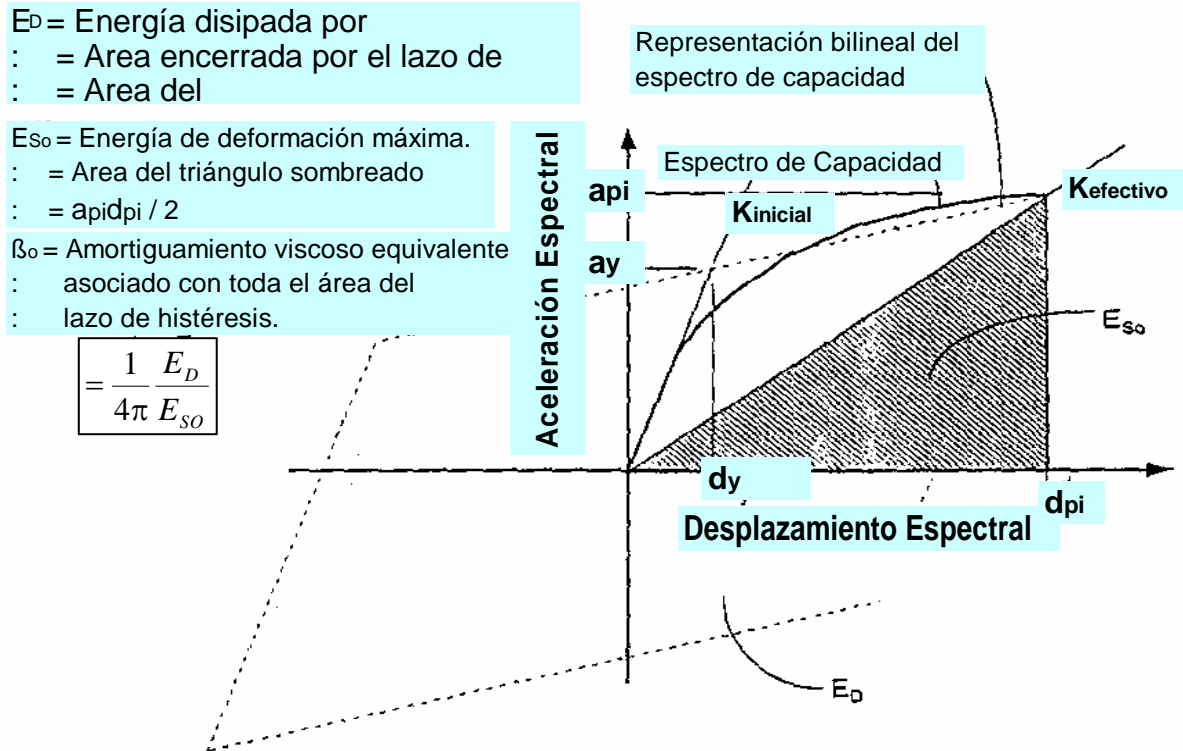


Fig. 11 Cálculo de amortiguamiento para la reducción espectral

E_D es la energía disipada por la estructura en un ciclo de movimiento, que es, el área encerrada por un lazo de histéresis. E_{S_0} que es la energía de deformación máxima asociada con un ciclo de movimiento, que es, el área del triángulo sombreado.

ED = Área encerrada por el lazo de histéresis
 : = Área del paralelogramo grande
 : = 4 veces el área del paralelogramo pequeño

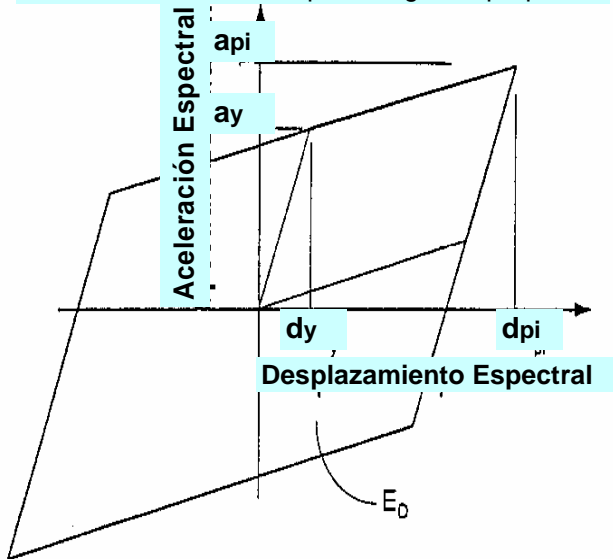


Fig. 12 Cálculo de Energía disipada por amortiguamiento E_D

Fórmulas para hallar áreas

$$A_1 = (a_{pi} - a_y) * d_y$$

$$A_2 = (a_y * d_y) / 2$$

$$A_3 = [(a_{pi} - a_y) * (d_{pi} - d_y)] / 2$$

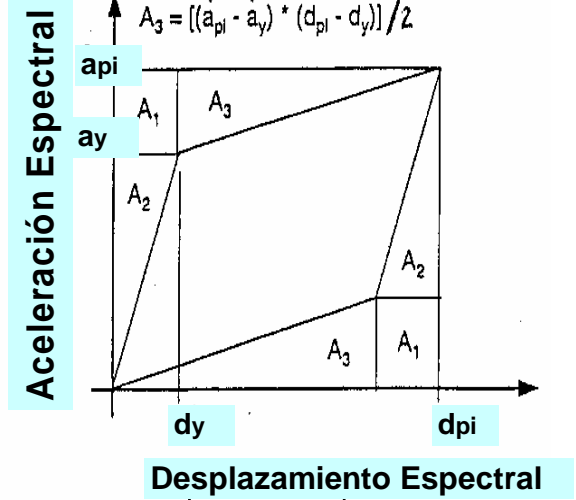


Fig. 13 Cálculo de Energía disipada por amortiguamiento E_D

el término E_D puede ser hallado como:

$$E_D = 4 * (a_{pi} d_{pi} - 2A_1 - 2A_2 - 2A_3)$$

$$E_D = 4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})$$

el término E_{S_0} puede ser calculado como:

$$E_{S_0} = a_{pi} d_{pi} / 2$$

Así, β_0 puede escribirse como:

$$\beta_o = \frac{1}{4\pi} \frac{4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi} / 2} = \frac{2}{\pi} \frac{a_y d_{pi} - d_y a_{pi}}{a_{pi} d_{pi}}$$

$$\beta_o = 0.637 \frac{(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$$

y cuando β_o es escrito en términos de porcentaje del amortiguamiento crítico, la ecuación se vuelve:

$$\beta_o = 63.7 \frac{(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (11)$$

Así β_{eq} se vuelve:

$$\beta_{eq} = \beta_o + 5 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (12)$$

El valor del amortiguamiento viscoso equivalente β_{eq} se puede usar para estimar *factores de reducción espectral*. Los factores de reducción espectral son usados para disminuir el espectro de respuesta elástico (con 5% de amortiguamiento) a un reducido espectro de respuesta con amortiguamiento mayor que 5% del amortiguamiento crítico.

El lazo de histéresis idealizado es una aproximación razonable para un edificio, detallado adecuadamente para un comportamiento dúctil, sujeto a sismo de relativa duración corta (no con ciclos suficientes como para degradar significativamente los elementos) y con

amortiguamiento viscoso equivalente β_{eq} menor que 30%. Para otras condiciones que las mencionadas, el lazo de histéresis idealizado conduce a sobreestimaciones del amortiguamiento viscoso equivalente β_{eq} porque para eventos con grandes ciclos la degradación de los elementos hace que el área dentro del lazo de histéresis se reduzca.

Para edificios existentes que no son típicamente dúctiles, el cálculo del amortiguamiento viscoso equivalente β_{eq} y el lazo de histéresis idealizado conduce a resultados que sobreestima los niveles reales de amortiguamiento. Para salvar esta situación se introduce el concepto de *amortiguamiento viscoso efectivo* β_{eff} usando un factor de modificación de amortiguamiento, κ :

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_o + 5 = \frac{63.7\kappa(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (13)$$

El factor κ depende del comportamiento estructural del edificio, que a su vez depende de las características del sistema de resistencia sísmica y la duración del sismo. Por simplicidad se suponen tres categorías. El comportamiento estructural tipo A representa un sistema dúctil y se la asigna un valor de $\kappa = 1.0$. El comportamiento estructural tipo B representa una reducción moderada de área encerrada dentro del lazo de histéresis y se la asigna un valor de $\kappa = 2/3$. El comportamiento estructural tipo C representa un pobre comportamiento histerético con una gran reducción del área encerrada por el lazo de histéresis y se la asigna un valor de $\kappa = 1/3$. Los rangos y límites para los valores de κ asignados a los tres tipos de comportamientos estructurales están dados en la siguiente tabla:

Tabla 4-1 Valores del factor de modificación de amortiguamiento κ

Tipo de Comportamiento Estructural	β_0 (%)	κ
Tipo A	≤ 16.25	1.0
	> 16.25	$1.13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Tipo B	≤ 25	0.67
	> 25	$0.845 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Tipo C	Cualquier otro valor	0.33

4.5. Cálculos de los Factores de Reducción Espectral (Ref. 2)

Las ecuaciones para los factores de reducción de la respuesta espectral SRA y SRV son:

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} = \frac{3.21 - 0.68 \ln \left[\frac{63.7k(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{2.12} \quad (14)$$

$SR_A \geq$ a valores dados en la tabla 4.2

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} = \frac{2.31 - 0.41 \ln \left[\frac{63.7k(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{1.65} \quad (15)$$

$SR_V \geq$ a valores dados en la tabla 4-2

Observe que los valores para SRA y SRV deben ser mayores o iguales a los valores dados en la siguiente tabla:

Tabla 4-2 Mínimos valores permitidos de SRA y SRV

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

- Comportamiento estructural tipo **A** es esencialmente para edificios nuevos.
- Comportamiento estructural tipo **B** es para edificios en promedio existentes.
- Comportamiento estructural tipo **C** es para edificios que se consideran con ductilidad pobre existentes.

Para el presente trabajo se considera comportamiento estructural tipo **A**.

CAPITULO V

PUNTO DE DESEMPEÑO

5.1 Según el ATC-40(Ref. 2):

5.1.1 Intersección del Espectro de Capacidad y el Espectro de Demanda

Cuando el desplazamiento en la intersección del Espectro de Demanda y el Espectro de Capacidad, d_i , está dentro de un 5% del desplazamiento del *punto de desempeño tentativo* ($0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$), a_{pi}, d_{pi} , este punto se convierte en el Punto de Desempeño. Si la intersección del espectro de demanda y el espectro de capacidad no está dentro de la tolerancia aceptable indicada entonces un nuevo a_{pi}, d_{pi} es seleccionado y el proceso se repite.

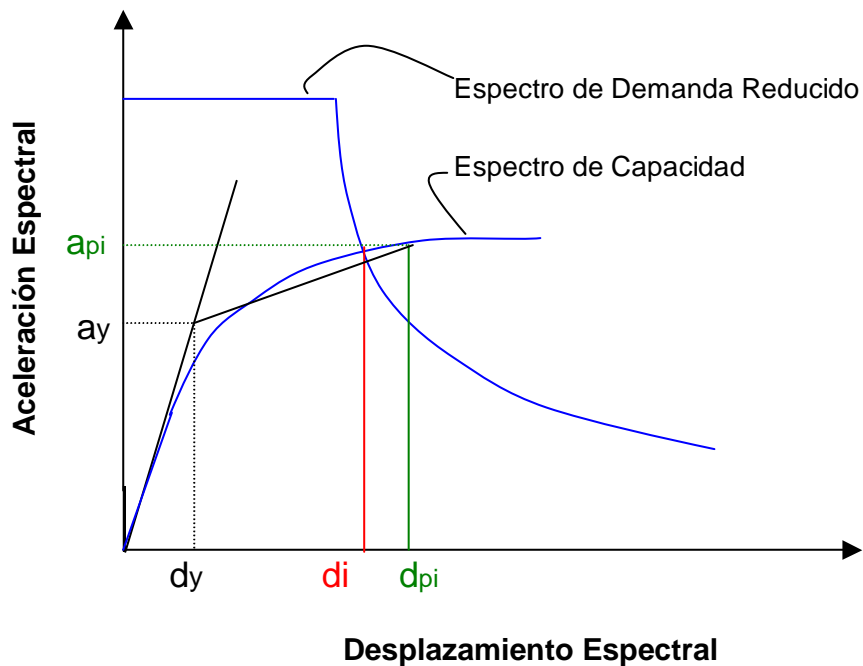


Fig. 14 Punto de intersección del Espectros de Demanda y el Espectro de Capacidad dentro de una tolerancia aceptable (Adaptado de Ref. 2)

Observación:

a_{pi} , d_{pi} = Punto de Desempeño Tentativo.

d_i = Desplazamiento en el punto de intersección de la Curva de Capacidad y el Espectro de Demanda Reducido.

El punto de desempeño tentativo a_{pi} , d_{pi} es aceptable si $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$

El punto de desempeño representa el desplazamiento estructural máximo esperado para una demanda de terremoto especificada.

5.1.2 Cálculo del Punto de Desempeño

Este procedimiento es de directa aplicación. Incluye los siguientes pasos.

1. Desarrollar un Espectro de Respuesta Elástico Reducido, con 5% de amortiguamiento apropiado para el sitio.
2. Transformar la Curva de Capacidad en un Espectro de Capacidad. Poner el Espectro de Capacidad y el Espectro de Demanda en el mismo gráfico.

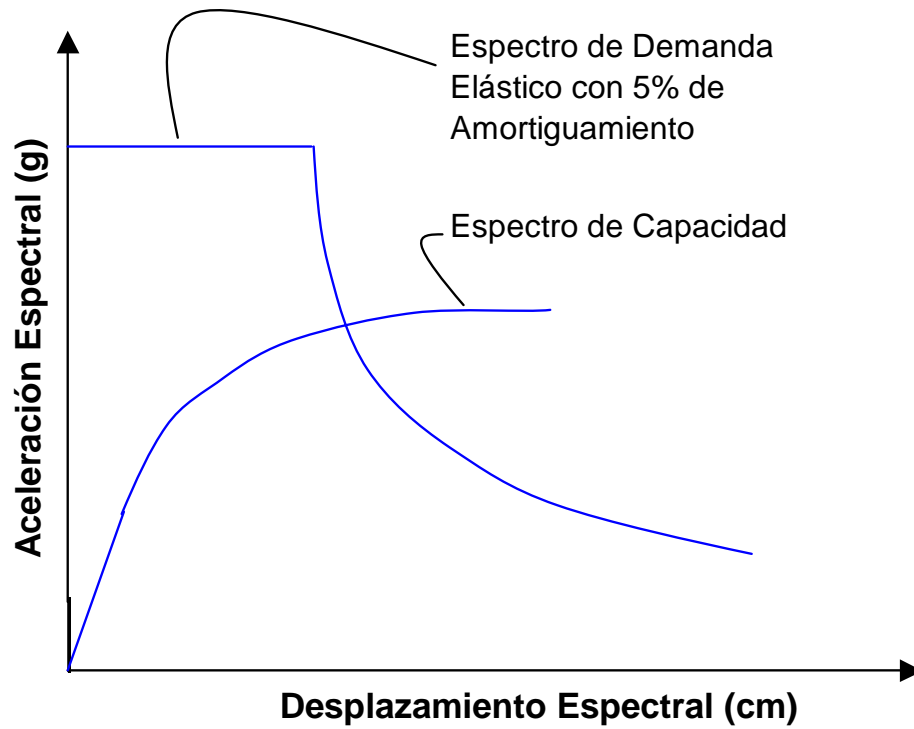


Fig. 15 Procedimiento después del paso 2 (Adaptado de Ref. 2)

3. Seleccionar un punto de desempeño tentativo a_{pi}, d_{pi} . Un primer punto de a_{pi}, d_{pi} puede ser el desplazamiento obtenido usando el método de *aproximación del desplazamiento igual* (equal displacement approximation), o puede ser el punto final del espectro de capacidad, o cualquier otro punto escogido según el juicio del diseñador.

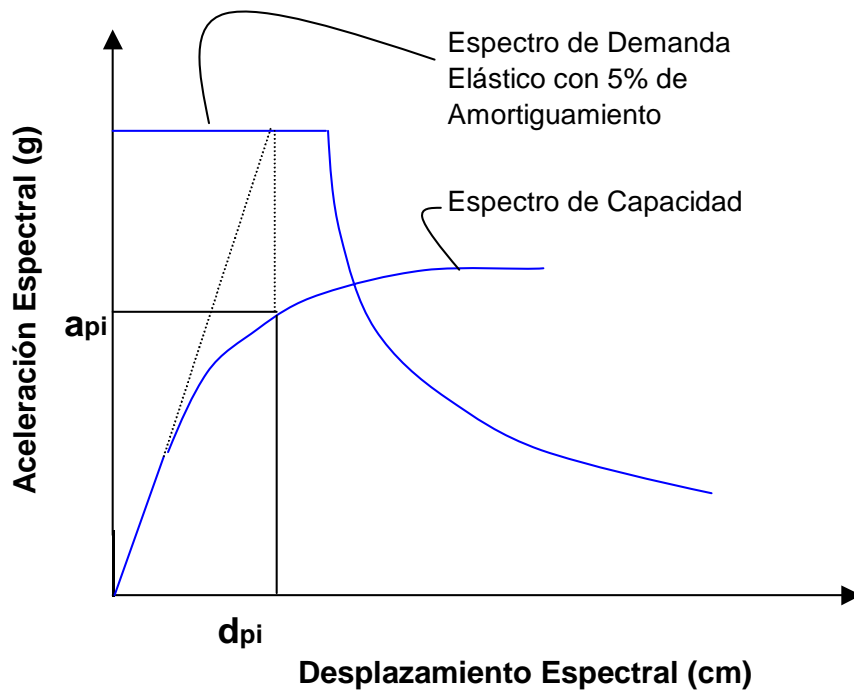


Fig. 16 Procedimiento después del paso 3 (Adaptado de Ref. 2)

4.- Desarrollar una representación bilineal del Espectro de Capacidad.

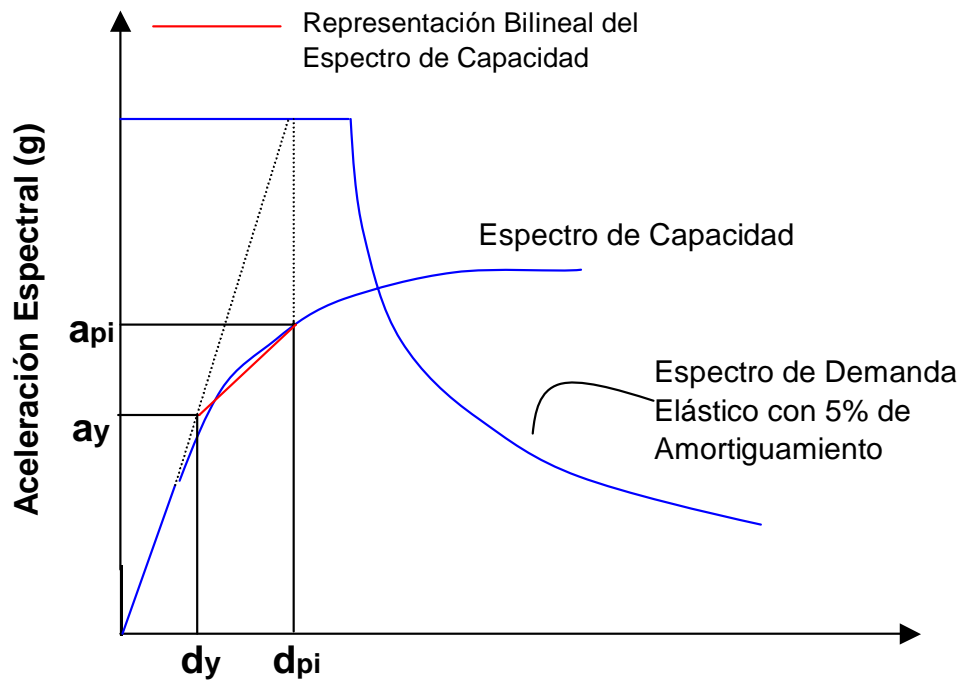


Fig. 17 Procedimiento después del paso 4 (Adaptado de Ref. 2)

5.- Calcular los factores de reducción espectral SR_A y SR_V . Desarrollar el Espectro de Demanda Reducido como se muestra:

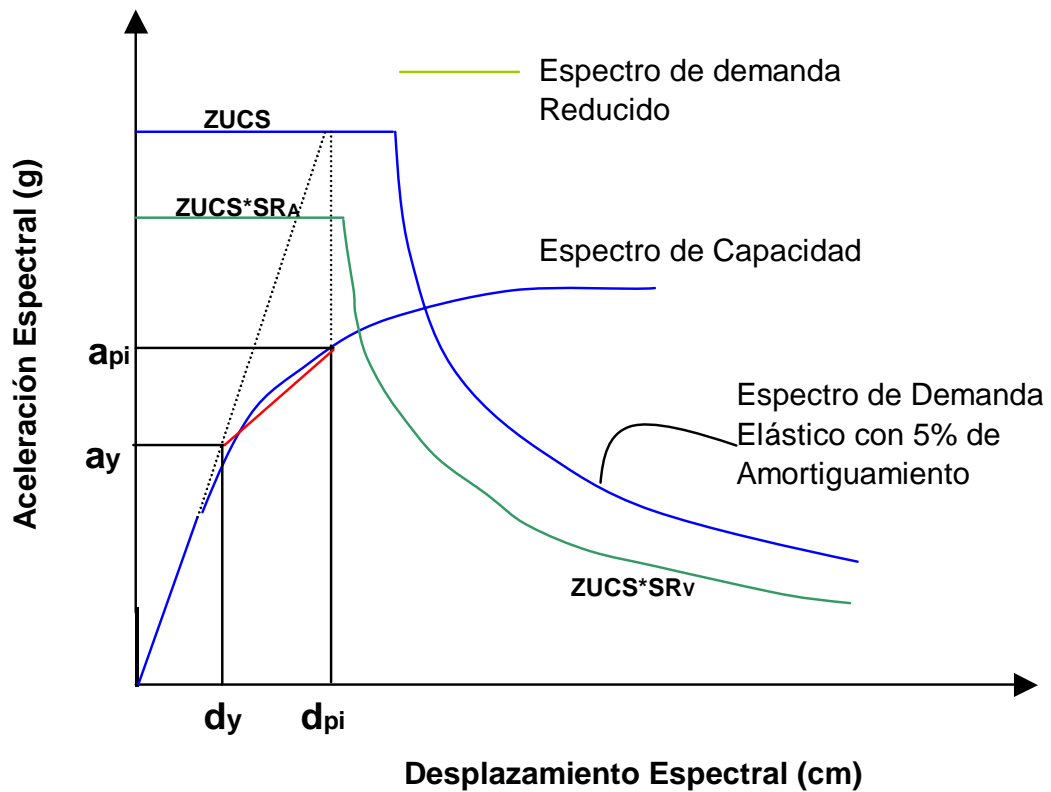


Fig. 18 Procedimiento después del paso 5 (Adaptado de Ref. 2)

6. Determinar si el espectro de demanda interseca el espectro de capacidad en el punto a_{pi}, d_{pi} , o si el desplazamiento en que el espectro de demanda interseca el espectro de capacidad, d_i , está dentro de la aceptable tolerancia.

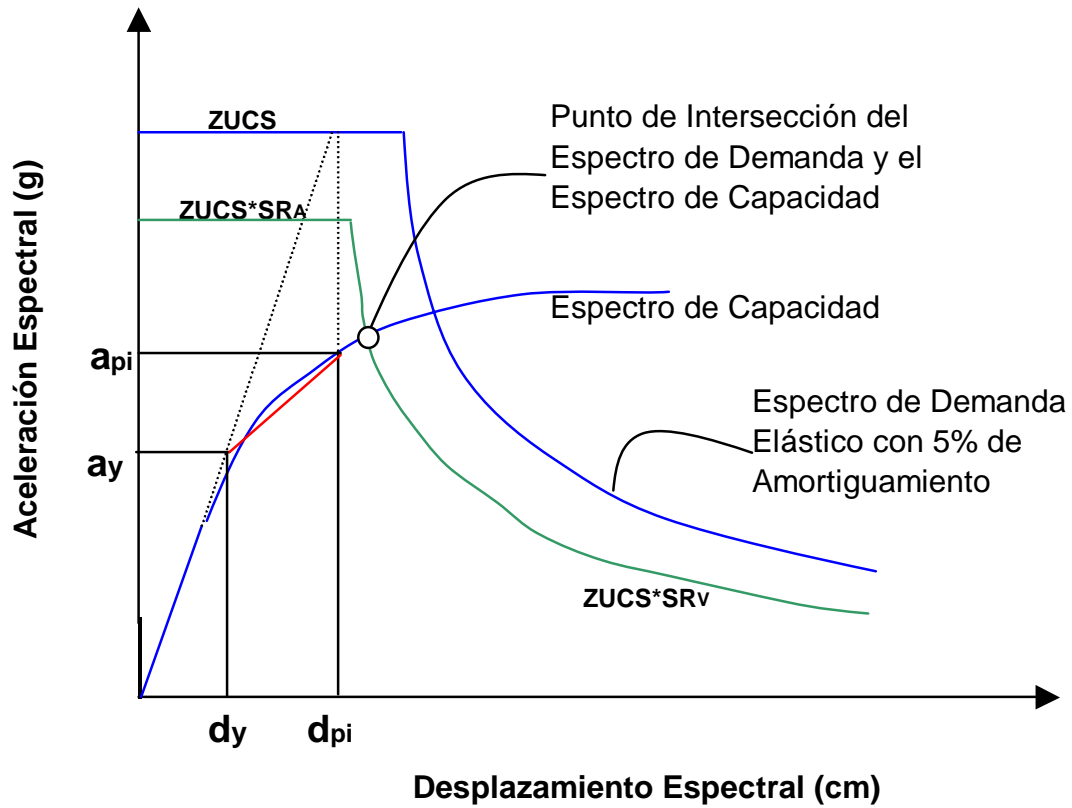


Fig. 19 Procedimiento después del paso 6 (Adaptado de Ref. 2)

7. Si el espectro de demanda no interseca el espectro de capacidad dentro de una aceptable tolerancia, entonces seleccionar un nuevo punto a_{pi}, d_{pi} y volver al paso 4. Un nuevo punto de a_{pi}, d_{pi} puede ser el punto de intersección determinado en el paso 6.
8. Si el espectro de demanda interseca el espectro de capacidad dentro de la tolerancia aceptable, entonces el punto de desempeño tentativo a_{pi}, d_{pi} es

el punto de desempeño a_p, d_p , y el desplazamiento d_p , representa el desplazamiento estructural máximo esperado para el terremoto de demanda.

5.2 Cálculo de la Demanda de Desplazamiento Usando el Método del Coeficiente de Desplazamiento (FEMA 356)(Ref. 5)

El método del coeficiente de desplazamiento provee un proceso numérico directo para calcular la demanda de desplazamiento. No se requiere convertir la curva de capacidad a coordenadas espectrales. Este método se limita a edificios regulares y que no sean afectados apreciablemente por los modos superiores ni por torsión.

Procedimiento:

1.- Hacer una representación bilineal de la curva de capacidad como se indica a continuación:

- Dibujar la rigidez post-elástica, K_s , para representar una rigidez promedio en el rango en que la resistencia de la estructura disminuye por incursiones inelásticas de sus elementos.
- Dibujar la rigidez elástica efectiva, K_e , haciendo una línea secante pasando por el punto de la curva de capacidad correspondiente a un cortante basal de $0.6 V_y$, donde V_y se define por la intersección de las líneas de K_e y K_s .

El proceso anterior V_y no es conocida hasta después que sea dibujada la línea K_e . De esta manera una línea tentativa K_e se dibuja, se define un valor de V_y y entonces se

verifica si el punto donde la línea K_e cruza la curva de capacidad es igual a $0.6 V_y$, si no es así se dibuja una nueva línea y el proceso se repite.

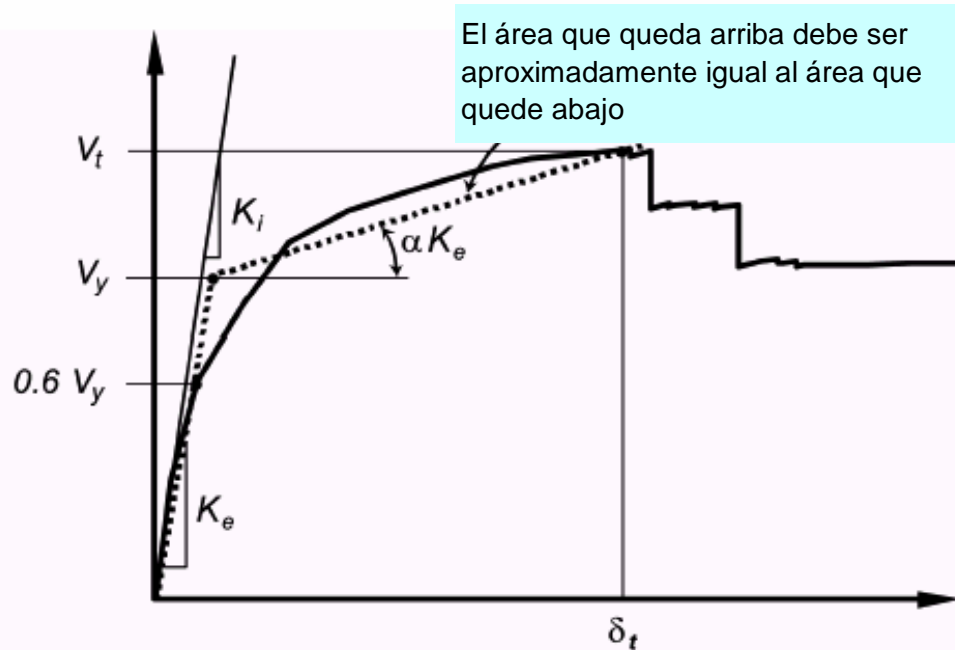


Fig. 20 Representación Bilineal de la Curva de Capacidad (Adaptado de Ref. 5)

2.- Calcular el periodo fundamental efectivo (T_e)

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (16)$$

Donde:

T_i = Periodo fundamental elástico (en segundos) en la dirección considerada calculado por un análisis dinámico elástico.

K_i = Rigidez lateral elástica del edificio en la dirección considerada.

K_e = Rigidez lateral efectiva del edificio en la dirección considerada.

3.- Calcular el desplazamiento de desempeño δ como sigue:

$$\delta = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (17)$$

Donde:

T_e = Periodo fundamental efectivo, como se calculó arriba en el paso 2.

C_0 = Factor de modificación que relaciona el desplazamiento de un sistema de un grado de libertad (desplazamiento espectral) y el probable desplazamiento del techo del edificio que es un sistema de múltiples grados de libertad; este factor puede ser calculado por una de las siguientes formas:

- El factor de participación modal en el nivel del techo del primer modo. $PFI \times \phi_{techo,1}$ (estructura inicial sin rótulas).
- El factor de participación modal en el nivel del techo $PFI \times \phi_{techo,1}$ calculado usando le vector de forma de modo del edificio en el desplazamiento de desempeño.(estructura con rótulas).
- Usando un valor apropiado de la siguiente tabla:

Tabla 5.1(Adaptado de Ref. 5)

Valores para el Factor de Modificación C_0 (Ref. 5)

Numero de pisos	Factor de Modificación *
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
10+	1.5

*Para calcular valores intermedios se puede usar una interpolación lineal

C_1 = Factor de modificación que relaciona el desplazamiento inelástico máximo esperado al desplazamiento calculado para una respuesta lineal elástica.

$$C_1 = 1 \text{ para } T_e \geq T_0$$

$$C_1 = \left[1.0 + (R - 1) \frac{T_0}{T_e} \right] / R \text{ para } T_e < T_0, C_1 \text{ no debe exceder } 2 \text{ para } T_e < 0.1 \text{ seg.}$$

T_0 = Periodo característico del espectro de respuesta.

$$R = \frac{S_a / g}{V_y / W} \cdot \frac{1}{C_0}$$

Donde:

S_a = Espectro de respuesta de aceleración en el periodo fundamental efectivo de la estructura.

V_y = Resistencia de fluencia calculado usando la curva de capacidad, donde la curva de capacidad es caracterizado por una relación bilineal.

W = Carga muerta total con un porcentaje de la carga viva (25 %).

C_2 = Factor de modificación que representa el efecto de la forma de histéresis sobre la respuesta de máximo desplazamiento. Los valores de se toman de la siguiente tabla:

Tabla 5-2(Adaptado de Ref. 5)

Valores para el Factor de Modificación C₂ (Ref. 5)

Nivel de Comportamiento Estructural	T ≤ 0.1 seg (***)		T ≥ T _o seg (***)	
	Pórticos Tipo 1 (*)	Pórticos Tipo 2 (**)	Pórticos Tipo 1 (*)	Pórticos Tipo 2 (**)
Ocupación Inmediata	1.0	1.0	1.0	1.0
Seguridad de Vida	1.3	1.0	1.1	1.0
Prevención del colapso	1.5	1.0	1.2	1.0

(*) Estructuras en el que más del 30% de la fuerza cortante en cualquier nivel es resistido por componentes o elementos cuya resistencia y rigidez pueden deteriorarse durante el sismo de diseño.

(**) Todos los pórticos no asignados al pórtico tipo 1.

(***) Valores intermedios de T pueden hallarse por interpolación lineal.

C₃ = Factor de modificación que representa el incremento de desplazamiento debido a efectos de segundo orden. Para edificios con rigidez positiva post-elástica C₃ puede tomarse igual a 1.0. Para edificios con rigidez post-elástica negativa C₃ puede ser calculado como:

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (18)$$

Donde R y T_e se define arriba y α es una constante de proporcionalidad entre la rigidez post-elástica a la rigidez elástica.

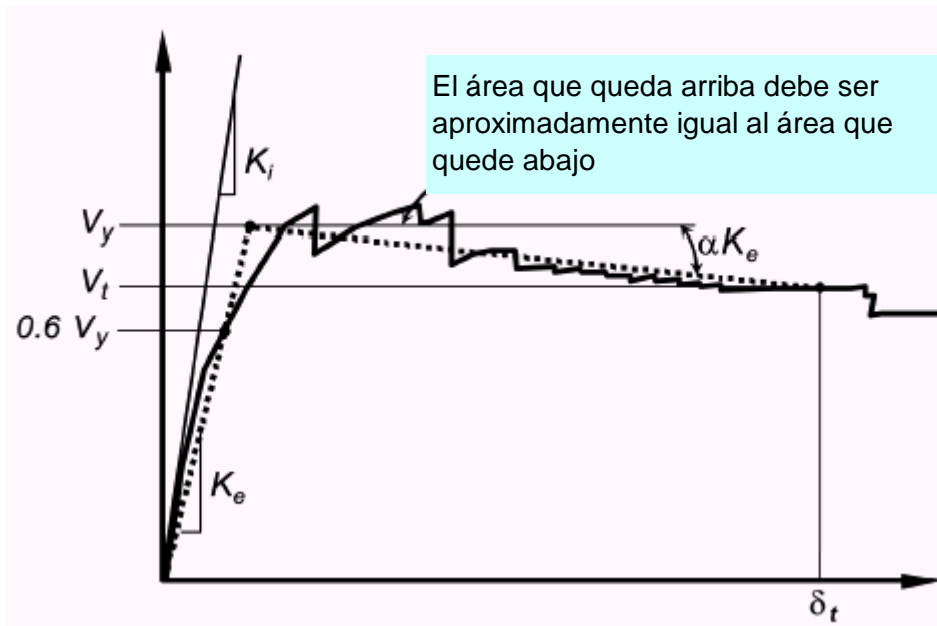


Fig. 21 Pendiente Negativa de la Rigidez Post-elástica (Adaptado de Ref. 5)

CAPÍTULO VI

Ejemplo de aplicación

Para ejemplo de aplicación tomamos un edificio de cinco pisos, con irregularidad en planta destinada a departamentos (para mas detalles ver planos # 01 y # 02 en anexo). La estructura consta de vigas columnas y muros de concreto armado cuyo comportamiento es controlado por flexión.

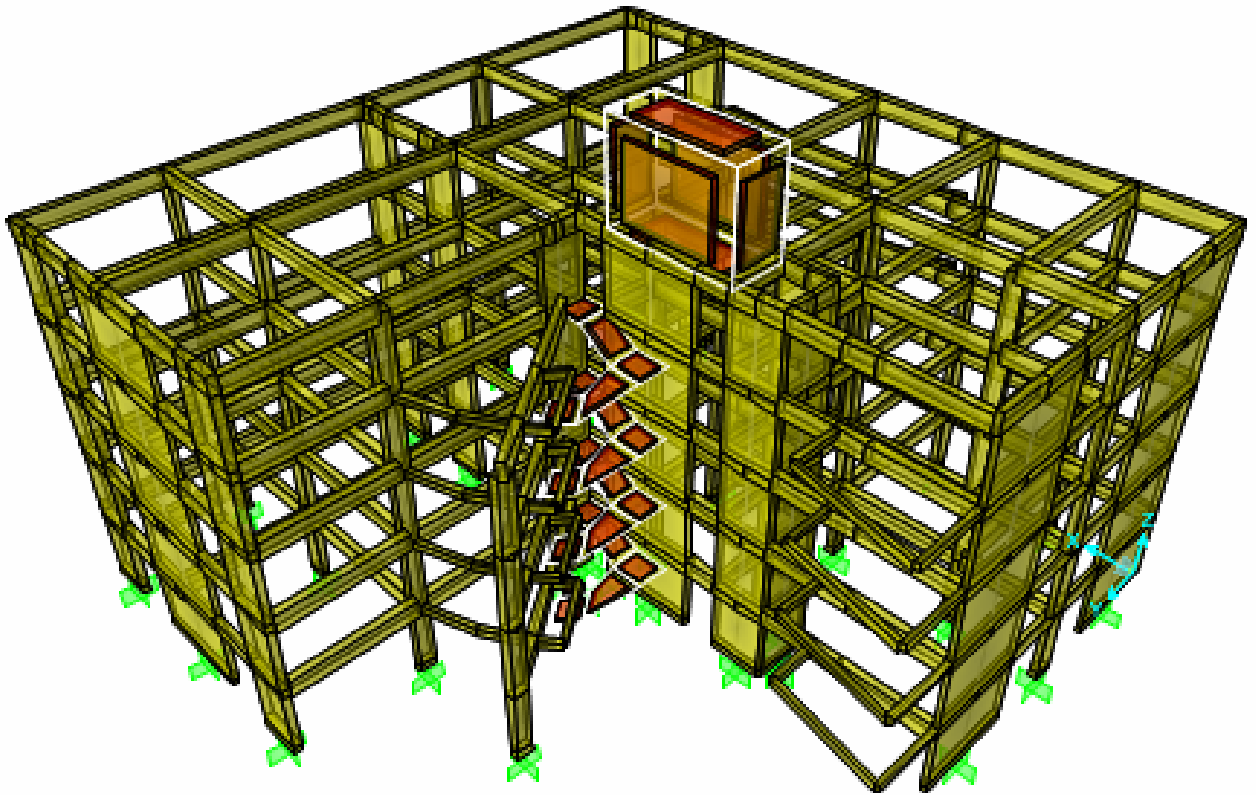


Fig. 22 Estructura del edificio de ejemplo.
(Adaptado de la salida del sap 2000)

El tanque elevado y la escalera se considera de antemano que su comportamiento será lineal en todo momento. Las vigas, columnas y muros de corte si tendrán comportamiento no lineal en el proceso del pushover.

Para modelar el comportamiento no lineal de los elementos estructurales haremos uso de su diagrama **momento – giro**, para esto necesitamos modelar el comportamiento del acero de refuerzo y del concreto (gráficos esfuerzo – deformación).

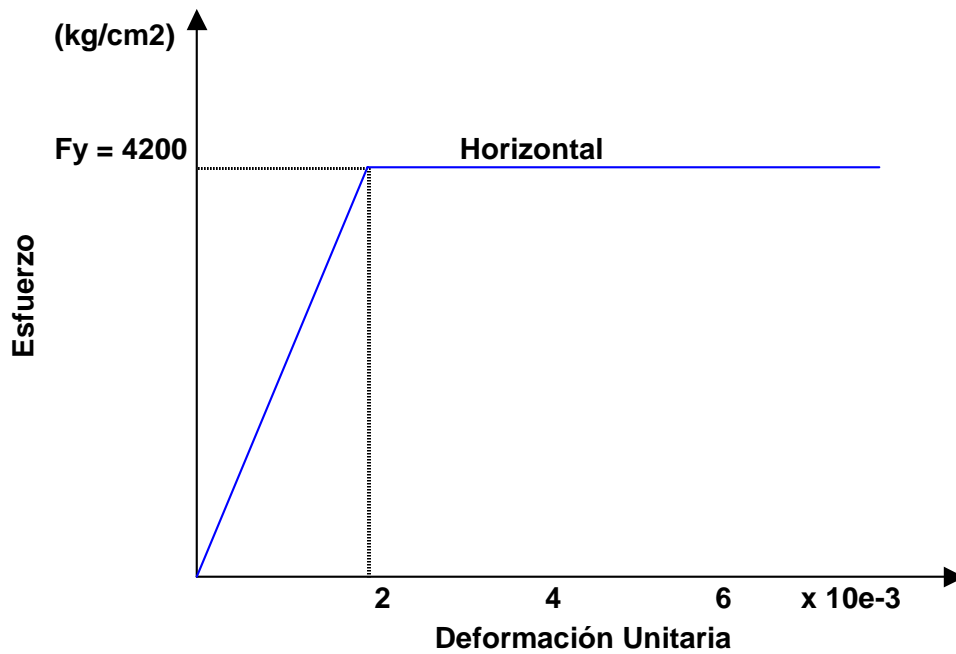


Fig.23-Idealización de la curva esfuerzo deformación del acero. (Adaptado de la Ref. 7)

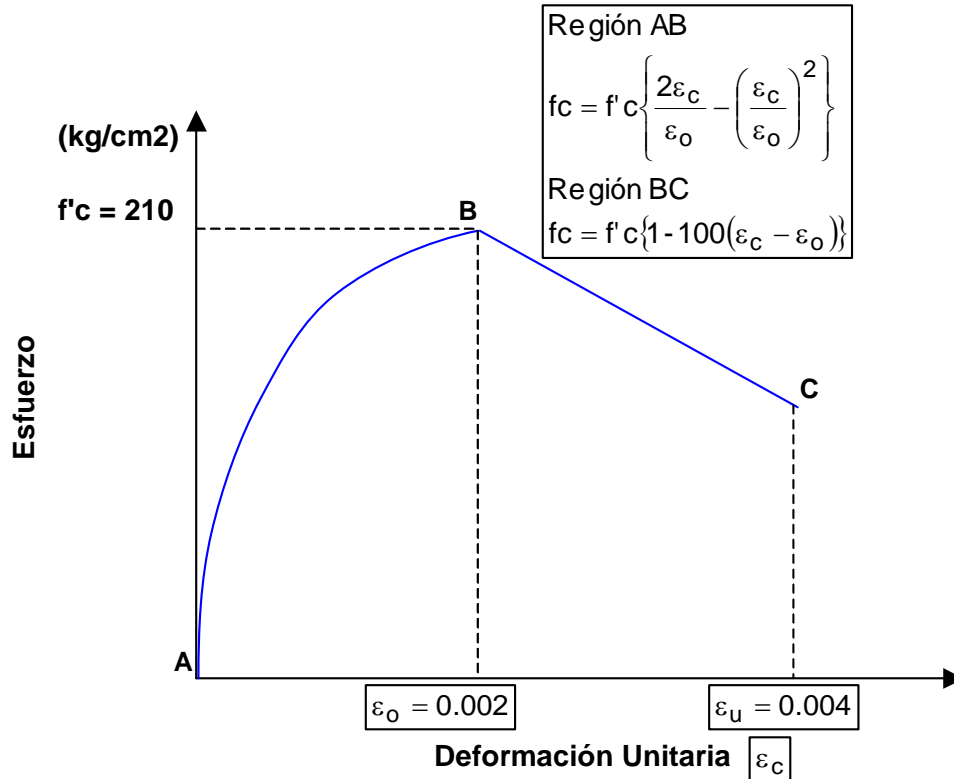


Fig.24-Idealización de la curva esfuerzo deformación del concreto. (Adaptado de la Ref. 9)

Por ejemplo modelamos el comportamiento **momento flector – giro** de una viga cualquiera ($f_y = 4200\text{kg/cm}^2$ y $f'_c = 210\text{kg/cm}^2$):

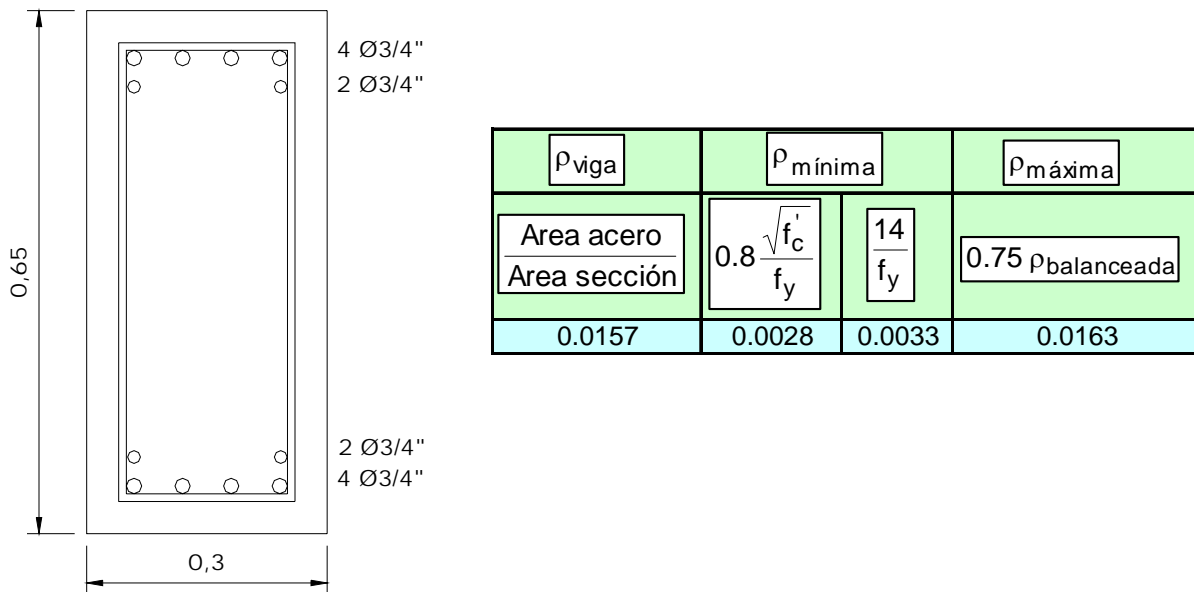


Fig. 24 Sección de una viga cualquiera

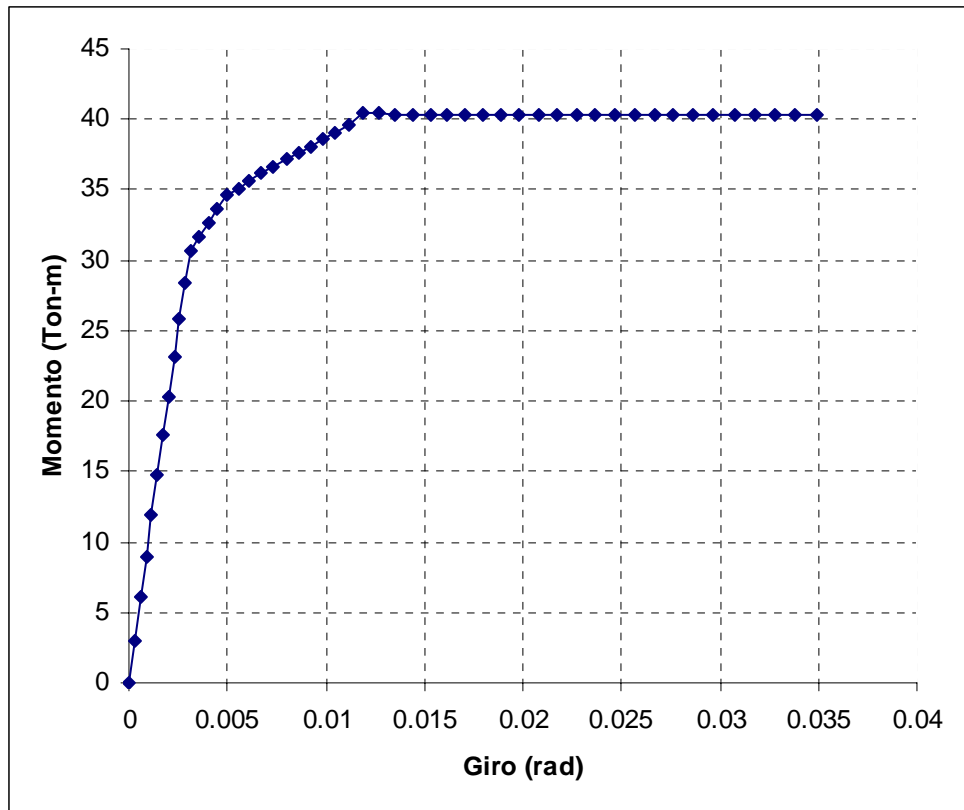


Fig. 25 Relación momento flector – giro de una viga principal.

Luego hacemos una representación bilineal de la curva momento flector curvatura para hallar los puntos B y C de la curva idealizada presentada por FEMA-356 y ATC-40.

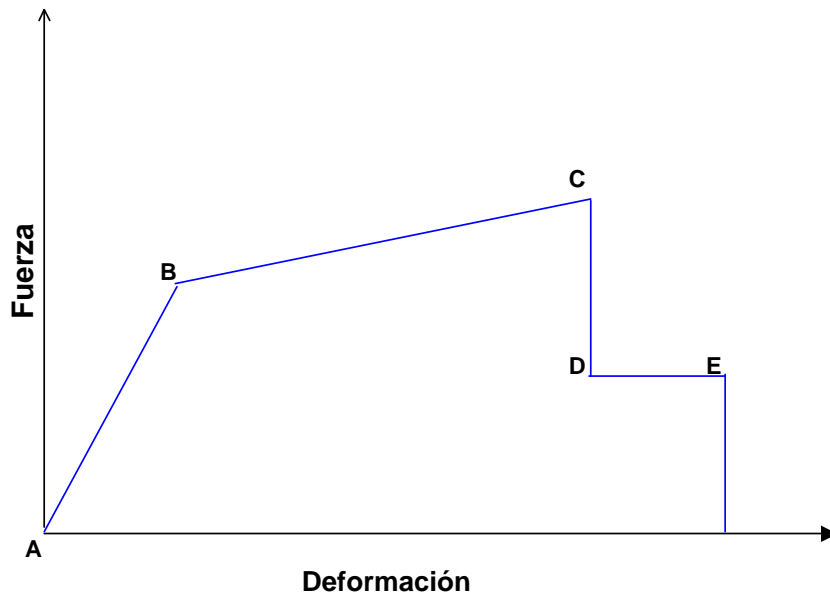


Fig. 26 Relación Fuerza - Deformación idealizada por FEMA 356 y ATC-40

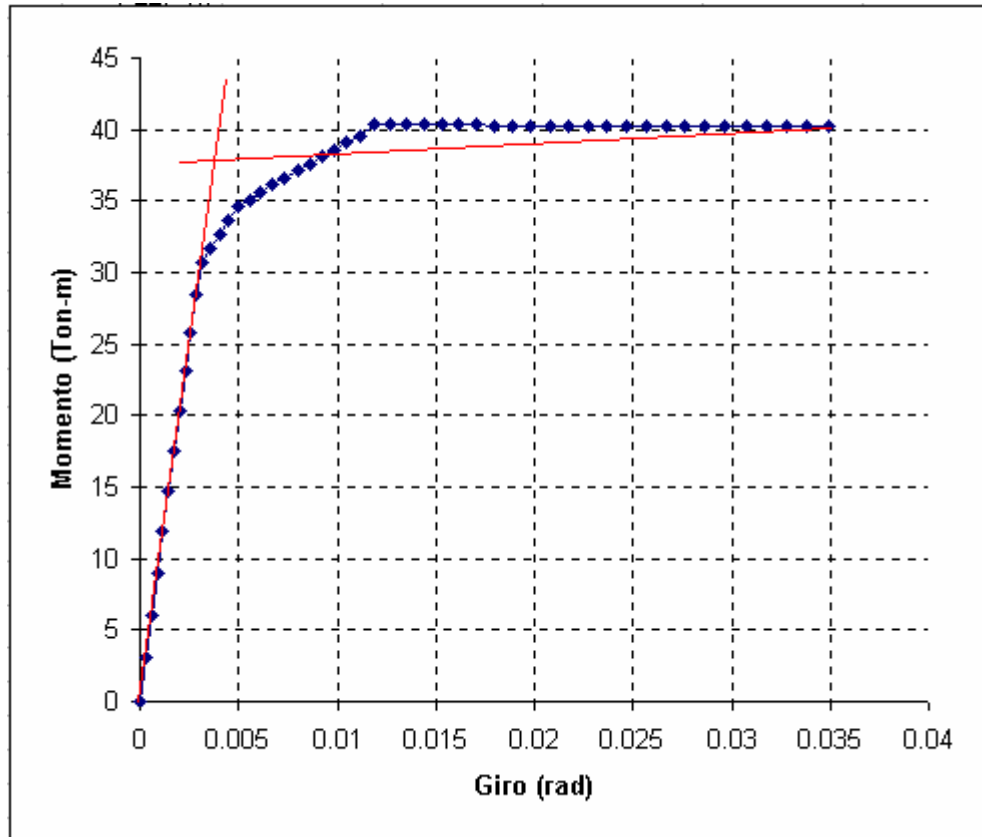


Fig. 27 Representación bilineal de la relación momento flector – giro de una viga principal.

Del gráfico tenemos las coordenadas del punto B(0.0034, 37.62) y del punto C(0.0350, 40.28). Observamos que la diferencia de las coordenadas de los giros entre los puntos B y C es igual a $0.0350 - 0.0034 = 0.0316$ rad. Pero el mayor valor que nos da FEMA-356 y ATC-40 para esta diferencia de tan solo 0.025 rad. Para nuestros cálculos tomaremos los valores que hallemos del gráfico momento-giro, en este caso por ejemplo 0.0316 rad. En el caso de los puntos D y E de la representación fuerza-deformación del FEMA-356 y ATC-40, quedarán ubicados en el eje de los giros con momento cero, por ejemplo para nuestro ejemplo D , E (0.0350, 0.0).

O sea el modelo de comportamiento momento-giro de la viga quedará representada de la siguiente manera:

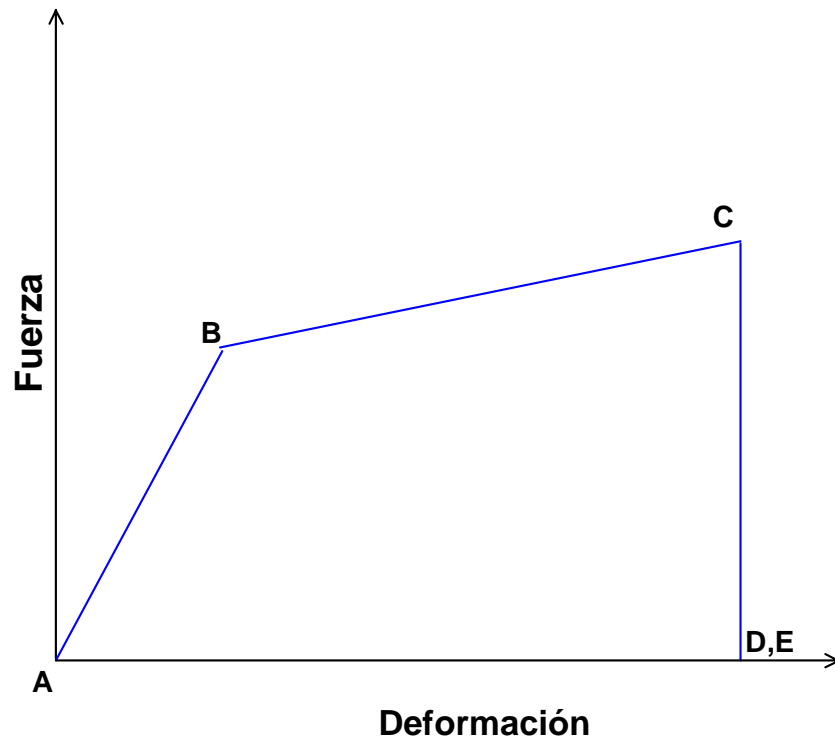


Fig. 28 Relación Fuerza - Deformación usada en este ejemplo

Haremos esto porque nuestro procedimiento para hallar el momento-giro no puede representar el comportamiento más allá del punto C. Además porque si usamos los valores dados por las tablas del FEMA-356 y ATC-40 estaremos reduciendo la capacidad hallada por nuestro procedimiento.

En el caso de columnas el comportamiento modelado por un gráfico momento flector-giro incluye la carga axial, que debe estar presente en el proceso de hallar el diagrama momento flector-giro. Esta carga axial será hallada de un análisis estático de la estructura

CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

por cargas de gravedad la cual incluirá peso propio, cargas de tabiquería, acabados y el 25% de la carga viva (Ref, 1)

En el caso de muros, según FEMA-356, su comportamiento será controlado por flexión si su relación altura (H) / longitud (L) es mayor o igual a 3.0, será controlado por corte si su relación altura (H) / longitud (L) es menor o igual a 1.5, para otros casos su comportamiento es controlado por ambos, corte y flexión.

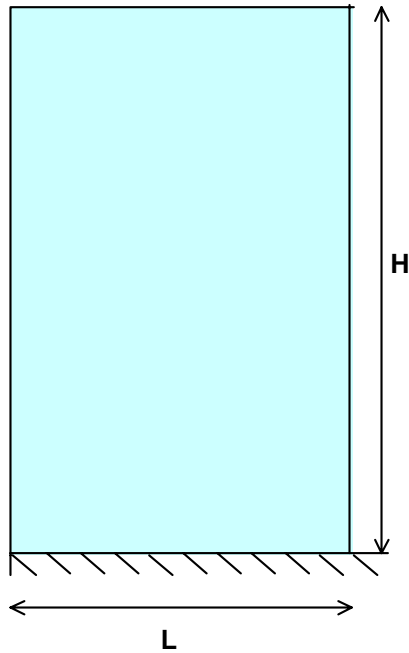


Fig. 29 Muro de corte, Longitud L, altura H

CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Si se trata de un muro controlado por flexión su comportamiento será idealizado por un gráfico momento flector-giro hallado teniendo en cuenta la carga axial proveniente de cargas de gravedad la cual incluirá peso propio, cargas de tabiquería, acabados y el 25% de la carga viva (Ref, 1).

Rotación de la rótula plástica = θ

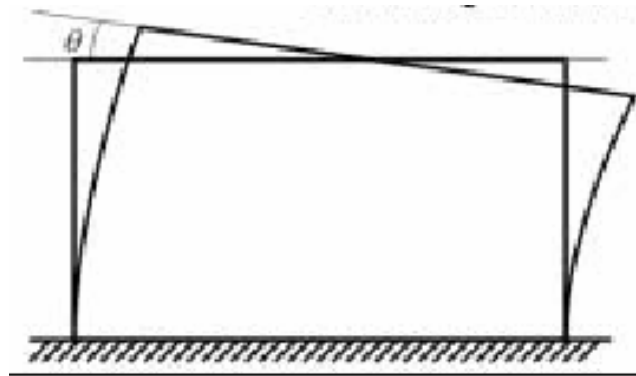


Fig. 30 Rotación plástica en un muro controlado por flexión (adaptado de Ref. 5)

Si se trata de un muro controlado por corte su comportamiento será idealizado por un gráfico corte - desplazamiento

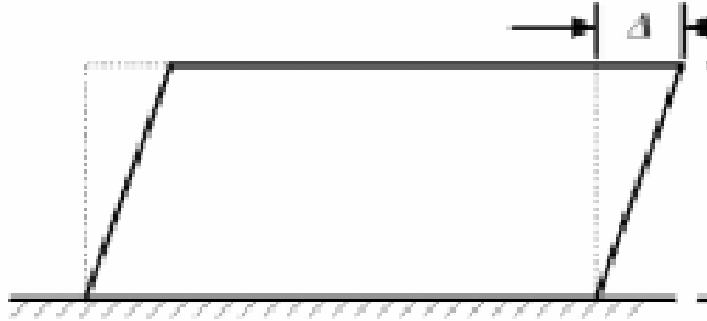


Fig. 31 Desplazamiento lateral en un muro controlado por corte (adaptado de Ref. 5)

Para identificar las respuestas límites de Ocupación Inmediata (**OI**), Seguridad de Vida (**SV**) y Colapso Próximo (**CP**) en los gráficos de Fuerza – Deformación, se usará las mismas proporciones dadas en el ATC-40 y FEMA 356 que son las siguientes:

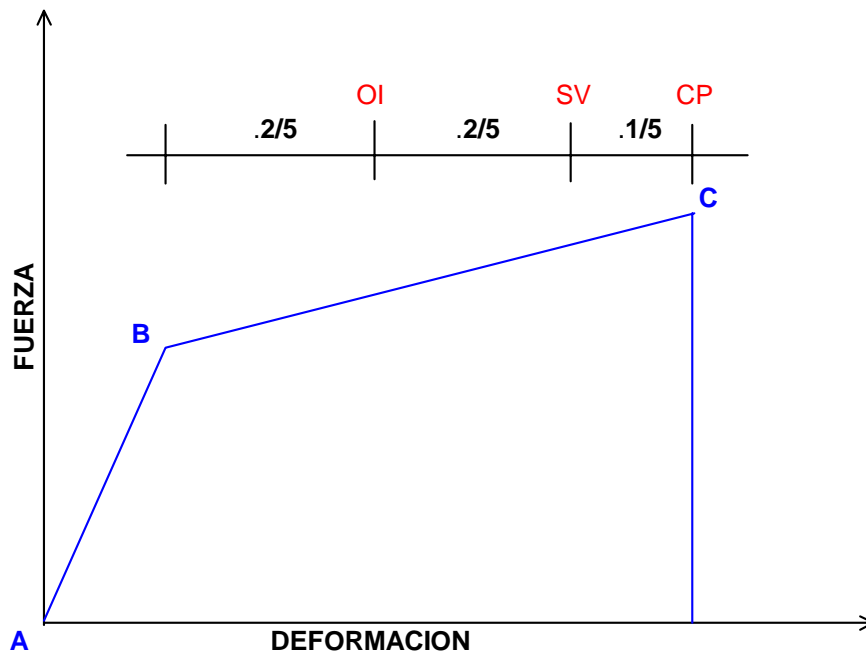


Fig. 32 Identificación de las respuestas límites en una viga.

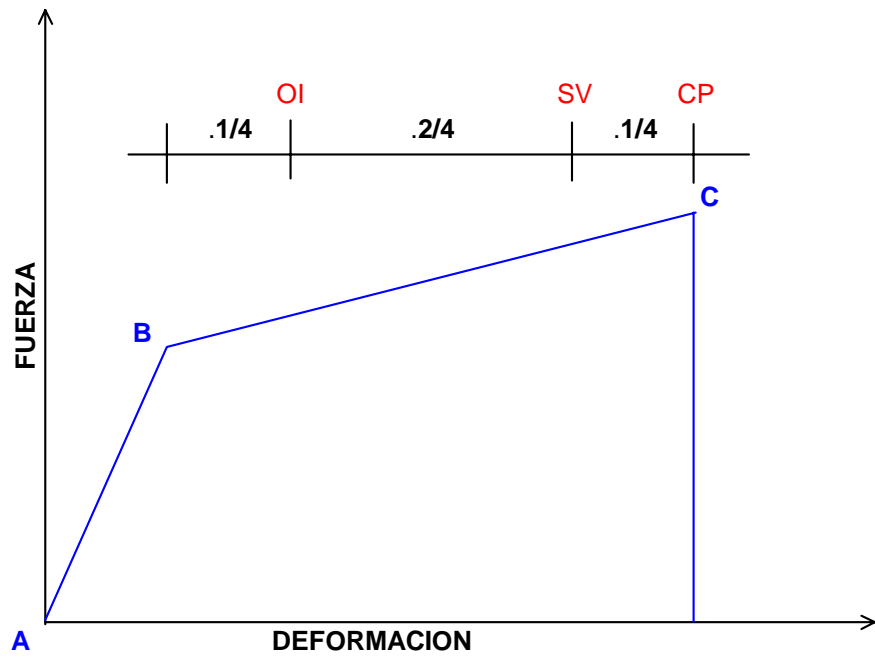


Fig. 33 Identificación de las respuestas límites en una columna.

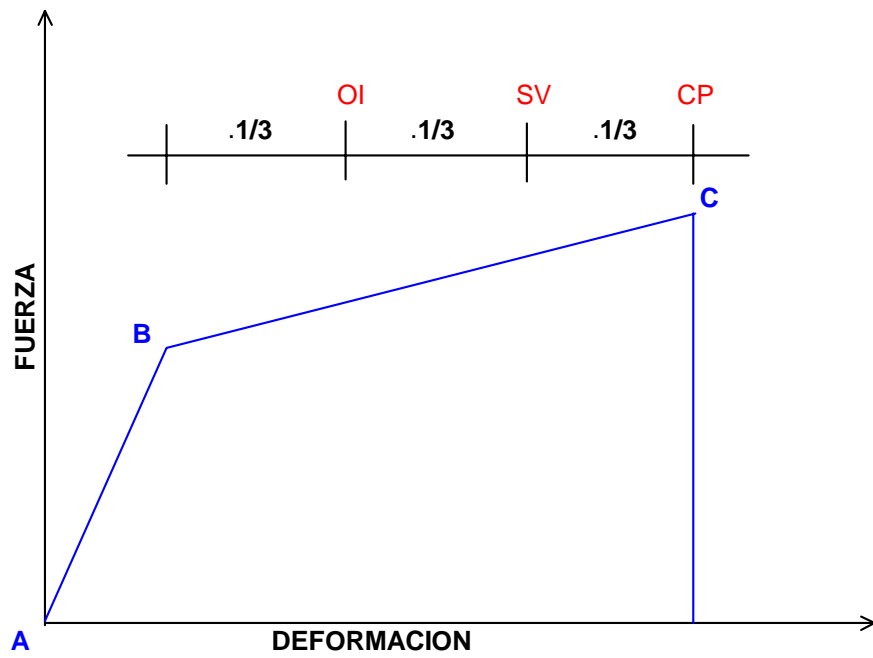


Fig. 34 Identificación de las respuestas límites en un muro de concreto controlado por flexión.

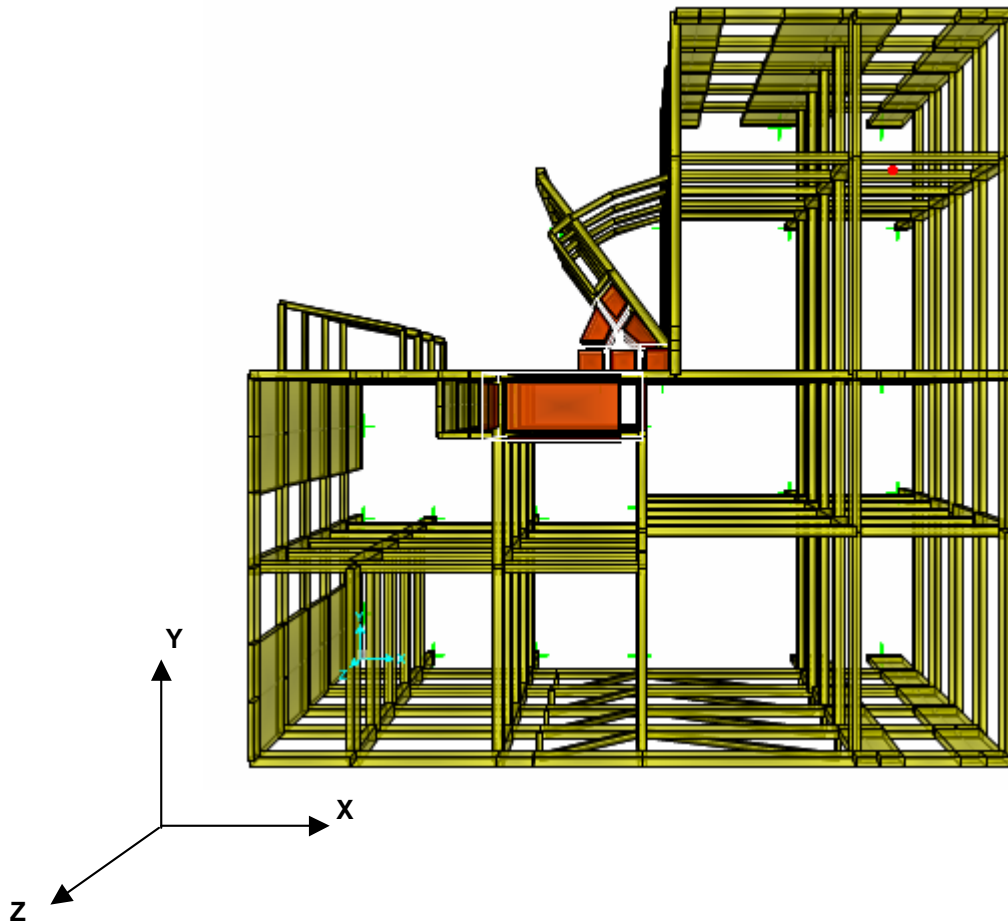


Fig. 35 Identificación de los ejes globales.
(Adaptado de la salida del sap 2000)

El siguiente paso es hallar los gráficos momento-giro en ambos extremos de un elemento (vamos a suponer de antemano que solo los extremos del elemento entrarán en el rango inelástico). Para esto, en los elementos verticales, (columnas y muros de concreto) debemos hallar su carga axial debido a cargas de gravedad de servicio la cual como sabemos es diferente aun en elementos iguales debido a su posición espacial. En los siguientes gráficos se muestran la enumeración de los elementos verticales juntamente con el tipo de elemento y su carga axial.

CARGAS AXIALES EN ELEMENTOS VERTICALES (TON)
1ER PISO

LEYENDA	
No de elemento	
Tipo de elemento	
Carga axial	

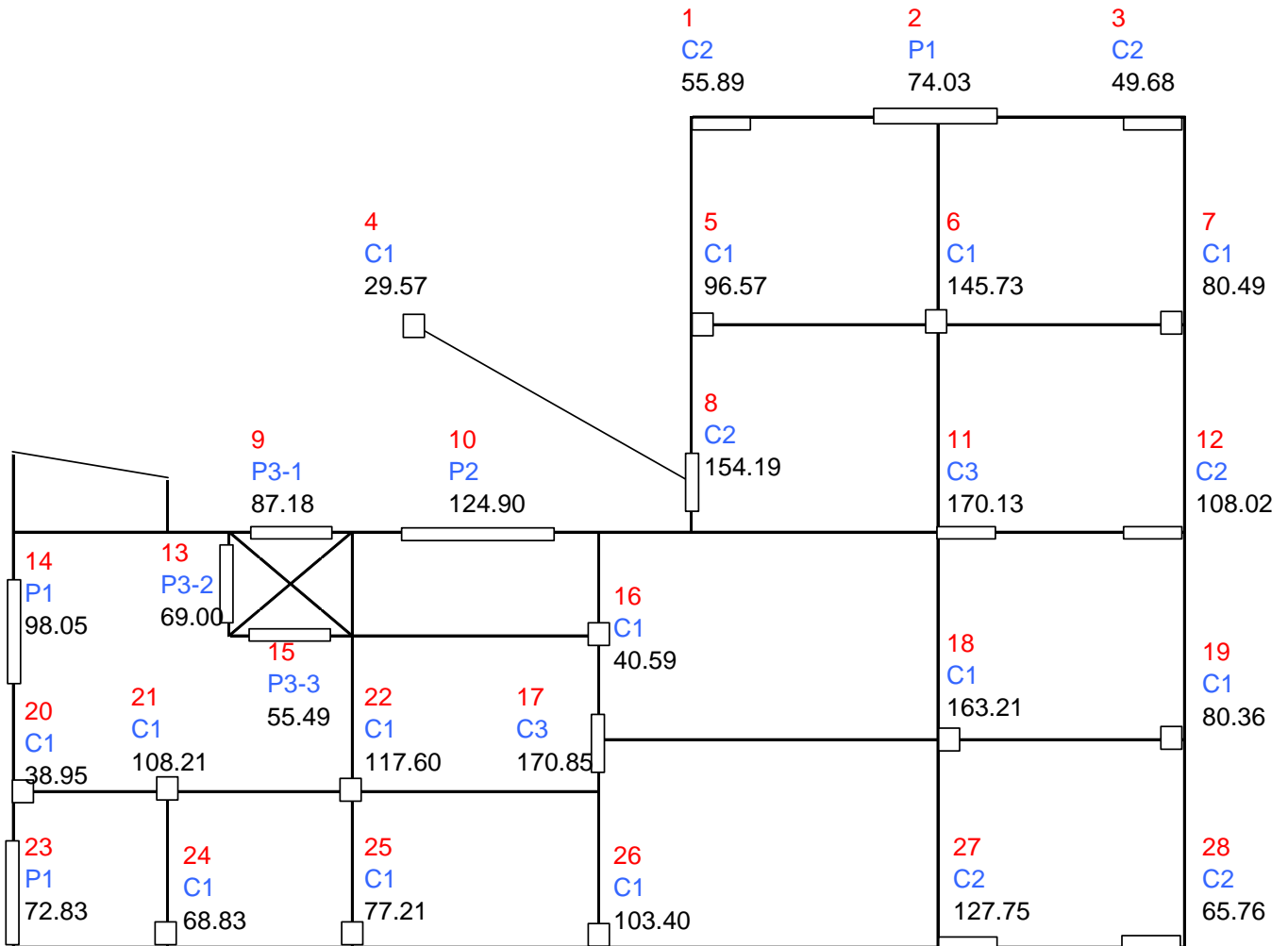


Fig. 36 Distribución de cargas axiales debido a cargas de servicio en el 1er piso.

CARGAS AXIALES EN ELEMENTOS VERTICALES (TON)
2DO PISO

LEYENDA	
No de elemento	
Tipo de elemento	
Carga axial	

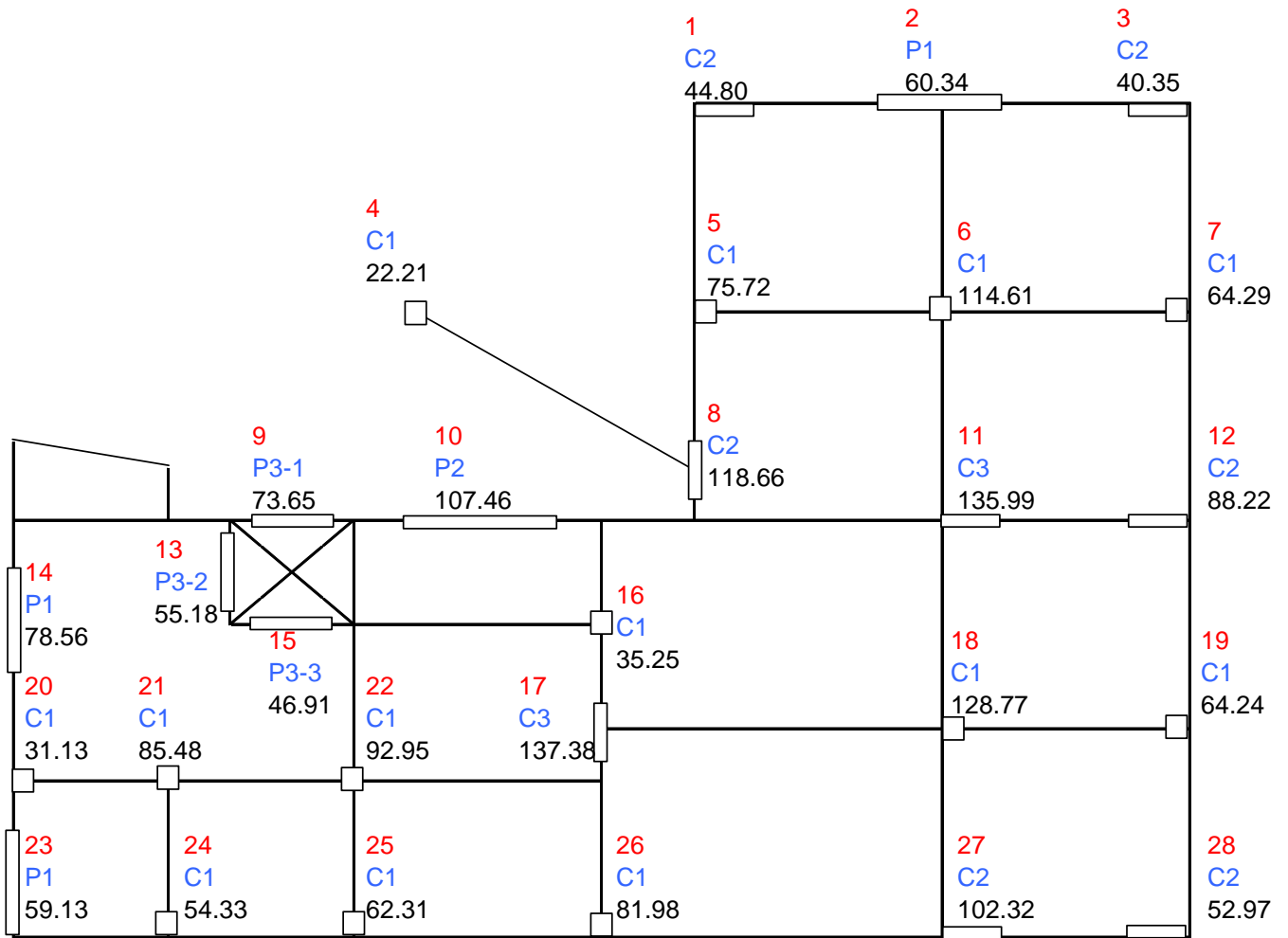


Fig. 37 Distribución de cargas axiales debido a cargas de servicio en el 2do piso.

CARGAS AXIALES EN ELEMENTOS VERTICALES (TON)
3ER PISO

LEYENDA	
No de elemento	
Tipo de elemento	
Carga axial	

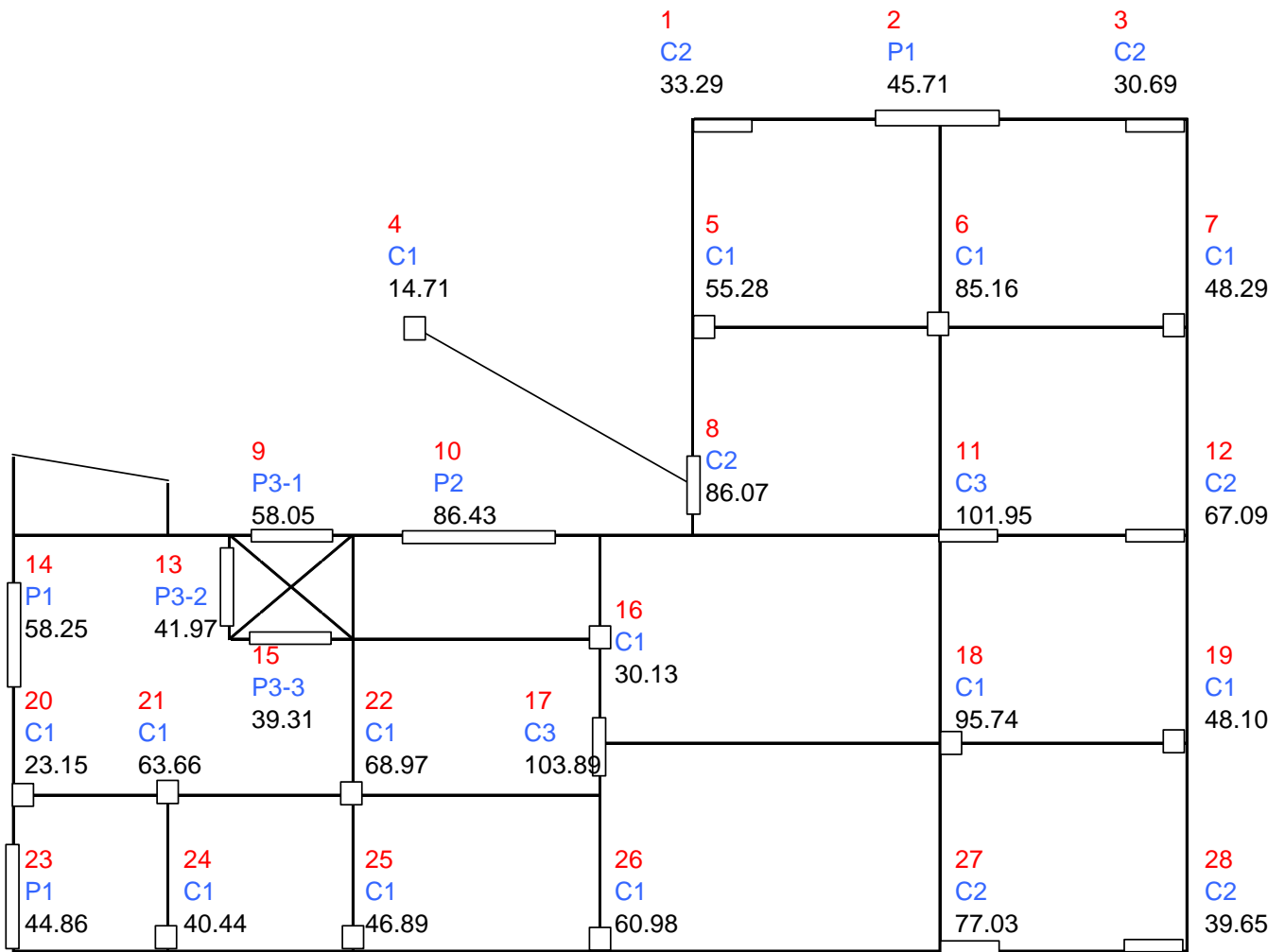


Fig. 38 Distribución de cargas axiales debido a cargas de servicio en el 3er piso.

CARGAS AXIALES EN ELEMENTOS VERTICALES (TON)
4TO PISO

LEYENDA	
No de elemento	
Tipo de elemento	
Carga axial	

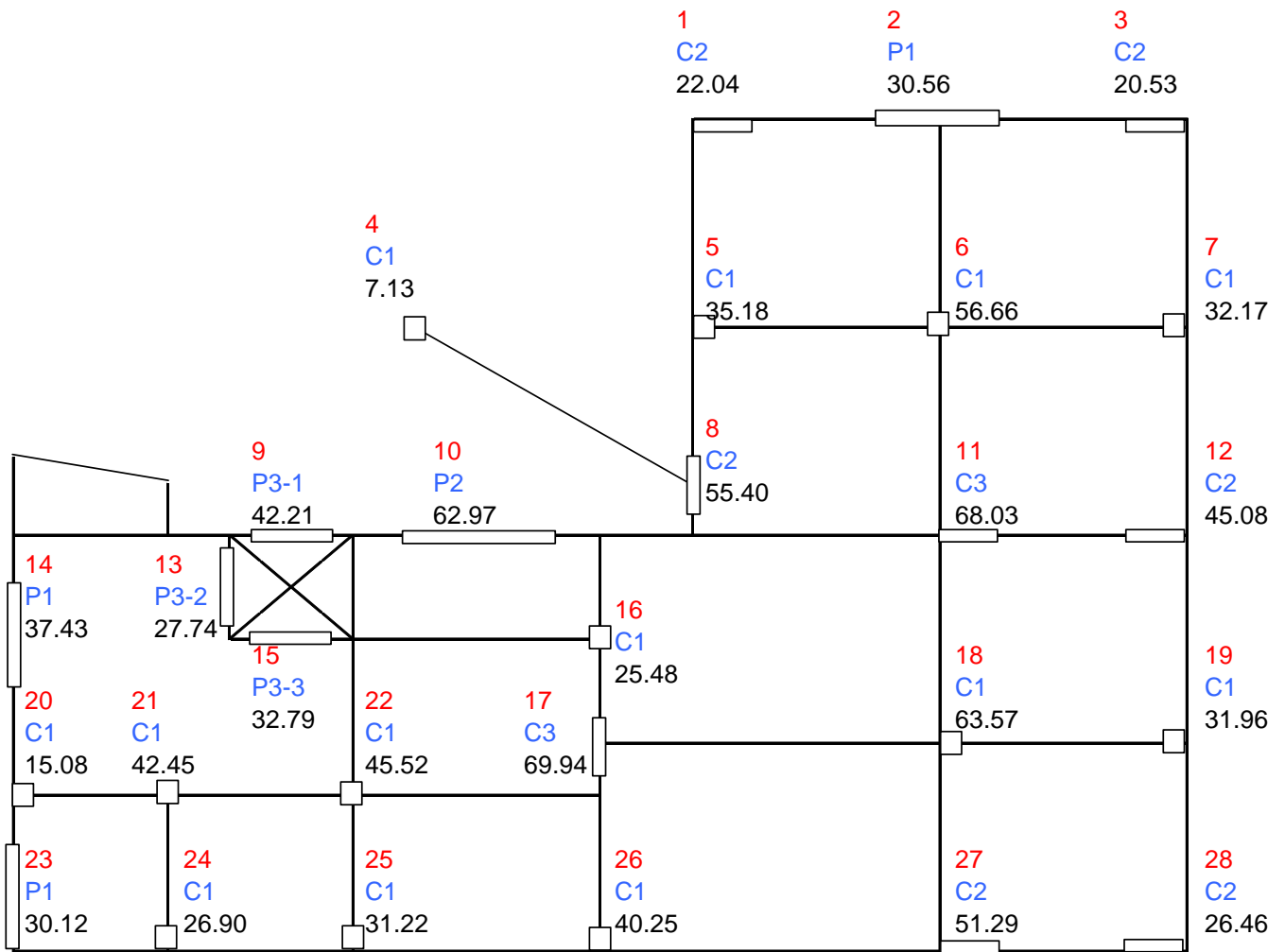


Fig. 39 Distribución de cargas axiales debido a cargas de servicio en el 4to piso.

CARGAS AXIALES EN ELEMENTOS VERTICALES (TON)
5TO PISO

LEYENDA	
No de elemento	
Tipo de elemento	
Carga axial	

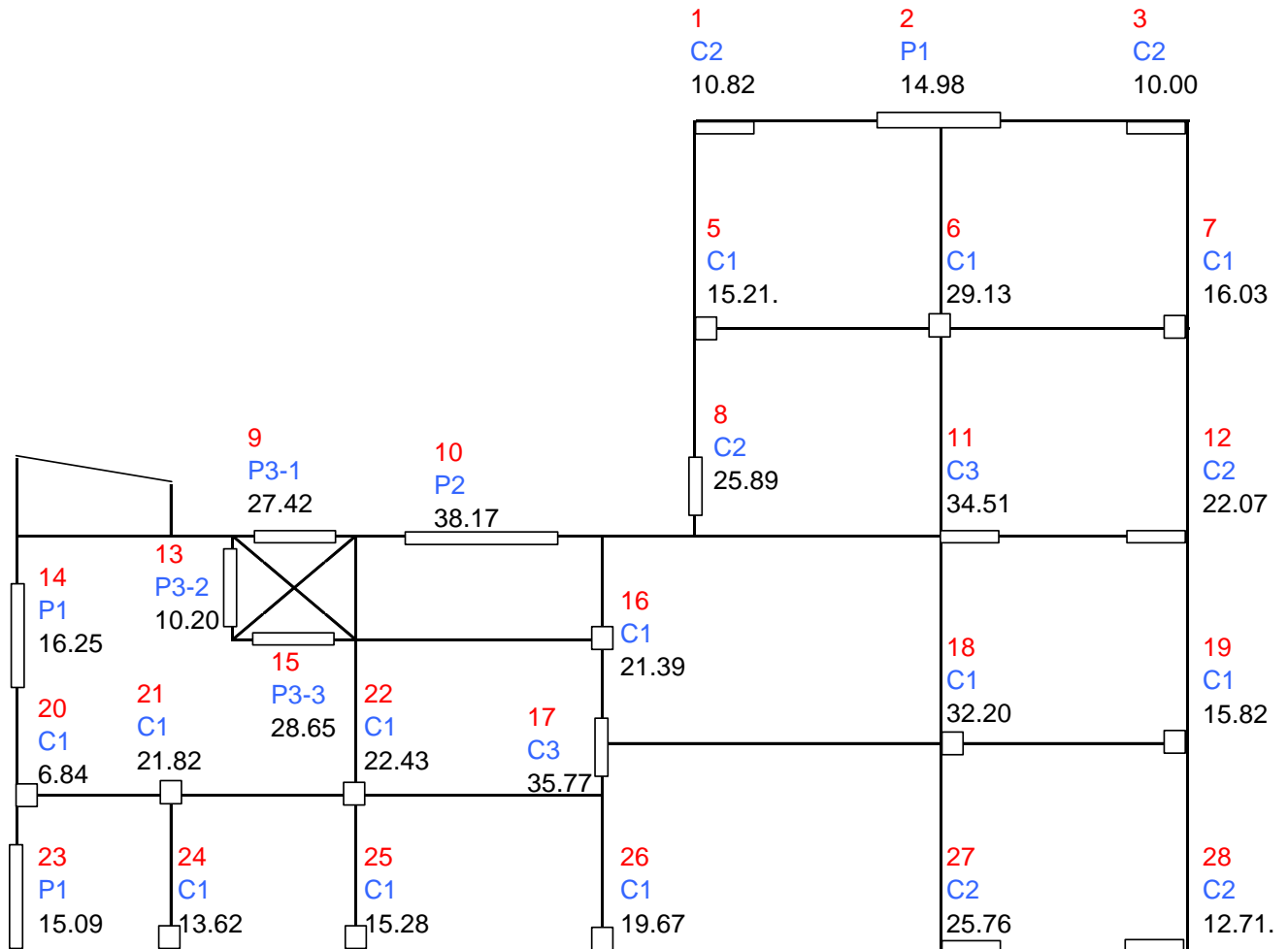


Fig. 40 Distribución de cargas axiales debido a cargas de servicio en el 5to piso.

ENUMERACIÓN DE VIGAS (IGUAL EN TODOS LOS NIVELES)

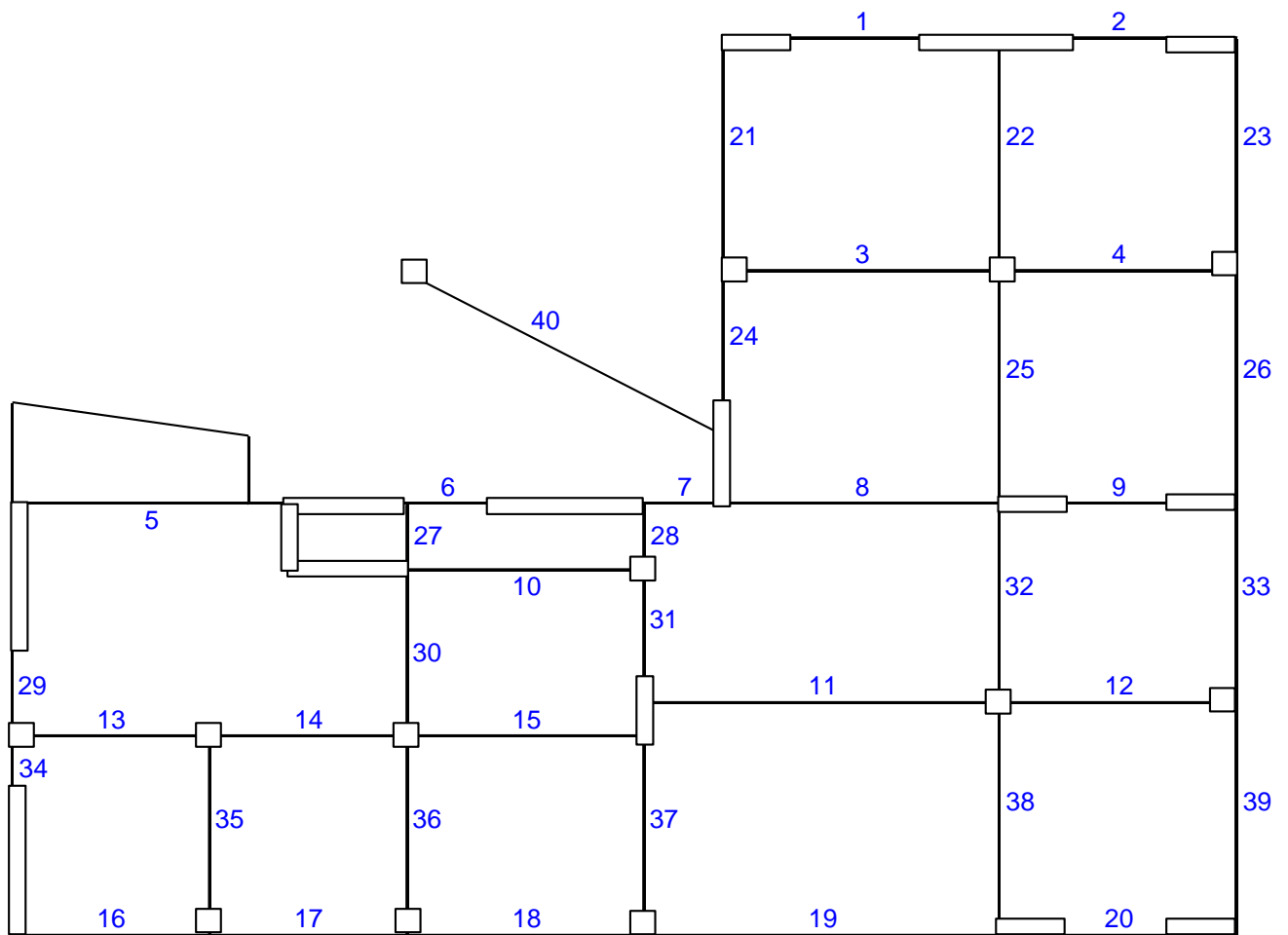
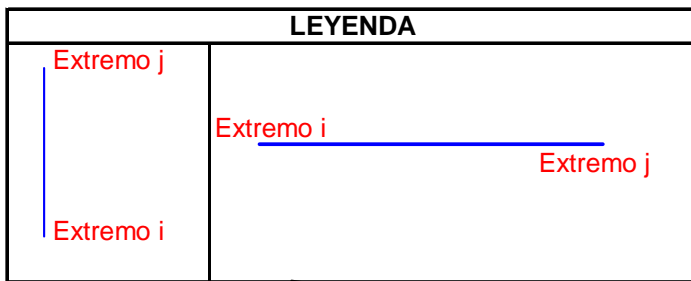


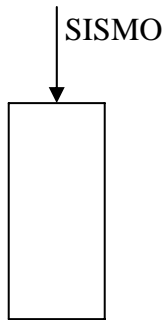
Fig. 41 Identificación de las vigas, las cuales son las mismas en todos los pisos.

Para los gráficos momento-giro de las vigas estamos considerando carga axial cero, por tanto las vigas que tienen la misma sección y distribución de acero iguales, tendrán el mismo gráfico, sin importar su ubicación espacial.

Los gráficos momento- giro, que generalmente resultan una curva, se los representa bilinealmente, según el método de *áreas iguales* (el área que queda por encima de la curva debe ser aproximadamente igual al área que queda por debajo de la curva).

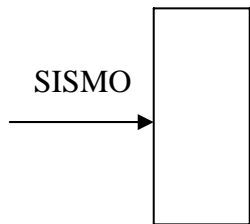
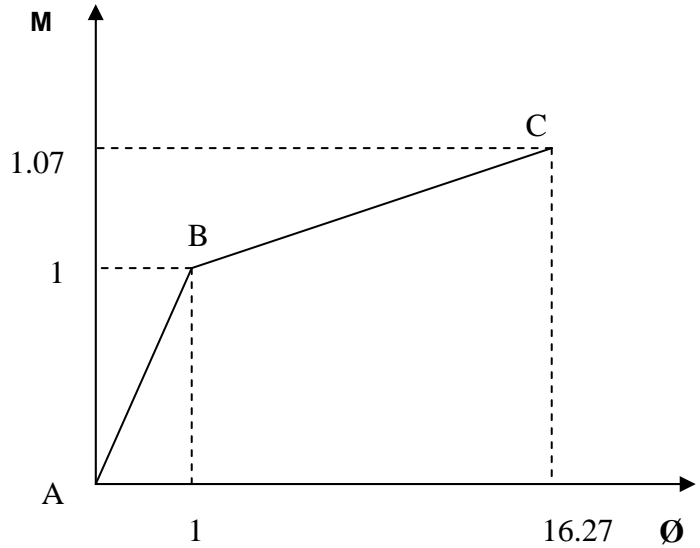
En la siguiente página se muestra un par de gráficos momento-giro de un elemento (vertical) representados bilinealmente. Para esto se halló los momentos y giros en la fluencia (punto B) y los momentos y giros en el colapso (punto C) al lado de dicha información se halla un gráfico escalado momento-giro cuyos datos se ingresan en el programa de cómputo SAP 2000. Los datos para todos los elementos (horizontales y verticales) se presenta resumidos en las tablas de las páginas 76 al 89.

COLUMNA C2
ELEMENTO VERTICAL 1 - 1er PISO



$$\begin{aligned} M_B &= 105.87 \text{ ton-m} \\ \varnothing_B &= 0.00220 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_C &= 113.76 \text{ ton-m} \\ \varnothing_C &= 0.0358 \text{ rad} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_B &= 14.74 \text{ ton-m} \\ \varnothing_B &= 0.00368 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_C &= 23.82 \text{ ton-m} \\ \varnothing_C &= 0.0397 \text{ rad} \end{aligned}$$

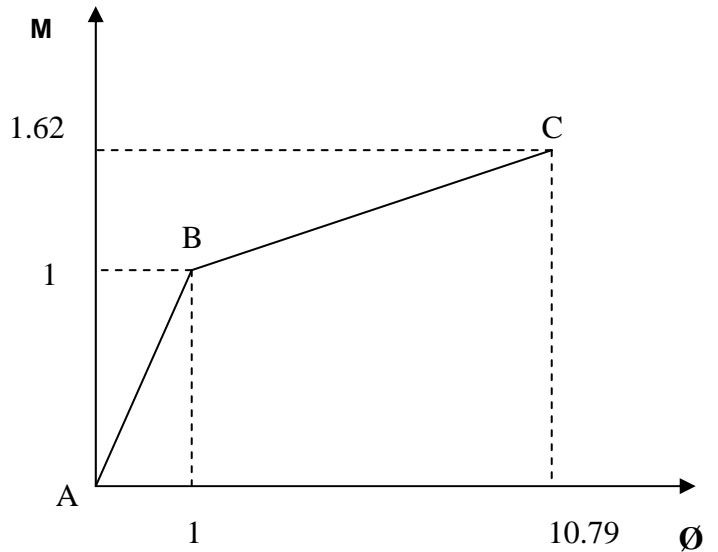




















Fig. 42 Gráfico momento-curvatura de una sección, tomadas en ambas direcciones en su plano, representados bilinealmente



















CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
1er Piso	C2	1		105.87	0.00220	113.76	0.0358
1er Piso	C2	1		14.74	0.00368	23.82	0.0397
2do Piso	C2	1		109.82	0.00220	122.12	0.0317
2do Piso	C2	1		15.80	0.00381	23.43	0.0381
3er Piso	C2	1		115.23	0.00230	130.69	0.0281
3er Piso	C2	1		16.20	0.00396	23.07	0.0364
4to Piso	C2	1		121.65	0.00200	138.83	0.0238
4to Piso	C2	1		17.13	0.00350	22.76	0.0348
5to Piso	C2	1		131.39	0.00213	146.67	0.0204
5to Piso	C2	1		18.01	0.00370	22.51	0.0333
1er Piso	P1	2		259.69	0.00330	301.25	0.0482
1er Piso	P1	2		15.80	0.00649	18.03	0.0599
1er Piso	C2	3		112.36	0.00236	118.41	0.0335
1er Piso	C2	3		15.29	0.00371	23.60	0.0388
2do Piso	C2	3		117.35	0.00211	125.45	0.0303
2doPiso	C2	3		15.89	0.00394	23.84	0.0374
3er Piso	C2	3		122.53	0.00222	132.59	0.0272
3er Piso	C2	3		16.52	0.00384	22.99	0.0360



















CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
4to Piso	C2	3		126.02	0.00201	139.90	0.0233
4to Piso	C2	3		17.23	0.00375	22.73	0.0346
5to Piso	C2	3		131.71	0.00212	147.25	0.0202
5to Piso	C2	3		18.08	0.00337	22.49	0.0332
1er Piso	C1	4		44.49	0.00464	51.51	0.0206
1er Piso	C1	4		17.89	0.00466	18.65	0.0168
2do Piso	C1	4		44.02	0.00427	53.05	0.0188
2do Piso	C1	4		18.74	0.00511	19.31	0.0162
3er Piso	C1	4		43.57	0.00424	54.46	0.0168
3er Piso	C1	4		19.19	0.00488	19.99	0.0156
4to Piso	C1	4		43.79	0.00404	54.89	0.0159
4to Piso	C1	4		20.13	0.00465	20.66	0.0151
1er Piso	C1	5		33.28	0.00364	35.81	0.0344
1er Piso	C1	5		12.89	0.00370	16.33	0.0225
2do Piso	C1	5		38.36	0.00451	40.81	0.0296
2do Piso	C1	5		13.77	0.00424	15.38	0.0206
3er Piso	C1	5		41.83	0.00472	45.62	0.0253
3er Piso	C1	5		15.85	0.00462	16.31	0.0189



















CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO β (rad)	M _c (ton-m)	GIRO γ (rad)
4to Piso	C1	5		44.03	0.00480	50.24	0.0216
4to Piso	C1	5		17.78	0.00484	18.15	0.0172
5to Piso	C1	5		43.81	0.00425	54.37	0.0169
5to Piso	C1	5		19.15	0.00472	19.94	0.0157
1er Piso	C1	6		27.58	0.00421	34.47	0.0422
1er Piso	C1	6		12.73	0.00426	18.93	0.0272
2do Piso	C1	6		29.76	0.00295	31.46	0.0349
2do Piso	C1	6		12.82	0.00351	17.22	0.0242
3er Piso	C1	6		35.93	0.00406	38.55	0.0285
3er Piso	C1	6		12.98	0.00402	15.79	0.0215
4to Piso	C1	6		40.48	0.00414	45.31	0.0230
4to Piso	C1	6		15.33	0.00449	16.18	0.0190
5to Piso	C1	6		43.97	0.00416	51.61	0.0185
5to Piso	C1	6		18.33	0.00482	18.69	0.0167
1er Piso	C1	7		38.01	0.00447	39.67	0.0276
1er Piso	C1	7		13.24	0.00338	15.59	0.0168
2do Piso	C1	7		40.51	0.00420	43.51	0.0244
2do Piso	C1	7		14.89	0.00366	15.47	0.0157



















CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
3er Piso	C1	7		42.38	0.00436	47.25	0.0215
3er Piso	C1	7		16.45	0.00379	16.95	0.0146
4to Piso	C1	7		44.28	0.00424	50.92	0.0189
4to Piso	C1	7		17.94	0.00379	18.41	0.0136
5to Piso	C1	7		44.03	0.00384	54.22	0.0154
5to Piso	C1	7		19.11	0.00367	19.87	0.0126
1er Piso	C3	8		120.84	0.00241	127.68	0.0522
1er Piso	C3	8		18.51	0.00409	31.65	0.0417
2do Piso	C3	8		145.94	0.00230	154.82	0.0407
2do Piso	C3	8		19.35	0.00359	29.62	0.0378
3er Piso	C3	8		165.24	0.00219	179.53	0.0317
3er Piso	C3	8		20.73	0.00370	28.01	0.0344
4to Piso	C3	8		175.02	0.00224	202.11	0.0225
4to Piso	C3	8		23.25	0.00373	26.74	0.0314
5to Piso	C3	8		179.68	0.00206	222.15	0.0160
5to Piso	C3	8		26.99	0.00400	27.85	0.0287
1er Piso	P3-1	9		60.90	0.00651	90.49	0.0981
1er Piso	P3-1	9		14.61	0.00152	15.02	0.0187



















CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
1er Piso	P2	10		255.00	0.00306	268.19	0.0107
1er Piso	P2	10		28.71	0.00834	31.04	0.0921
1er Piso	C3	11		110.27	0.00290	125.51	0.0579
1er Piso	C3	11		19.02	0.00549	32.65	0.0435
2do Piso	C3	11		136.36	0.00207	141.57	0.0462
2do Piso	C3	11		19.30	0.00318	30.57	0.0397
3er Piso	C3	11		157.43	0.00220	167.60	0.0359
3er Piso	C3	11		19.76	0.00352	28.77	0.0361
4to Piso	C3	11		175.16	0.00215	193.11	0.0272
4to Piso	C3	11		22.05	0.00354	27.23	0.0326
5to Piso	C3	11		183.42	0.00204	216.45	0.0175
5to Piso	C3	11		26.11	0.00370	26.88	0.0294
1er Piso	C2	12		70.33	0.00271	86.34	0.0613
1er Piso	C2	12		9.50	0.00408	23.01	0.0330
2do Piso	C2	12		84.92	0.00237	89.04	0.0505
2do Piso	C2	12		13.27	0.00360	25.20	0.0447
3er Piso	C2	12		99.13	0.00213	105.27	0.0404
3er Piso	C2	12		14.16	0.00395	24.26	0.0414



















CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
4to Piso	C2	12		111.49	0.00223	121.91	0.0318
4to Piso	C2	12		15.79	0.00383	23.44	0.0381
5to Piso	C2	12		125.48	0.00236	138.79	0.0238
5to Piso	C2	12		17.06	0.00350	22.76	0.0348
1er Piso	P3-2	13		84.66	0.00213	93.19	0.0562
1er Piso	P3-2	13		9.61	0.00600	11.13	0.0611
1er Piso	P1	14		237.18	0.00278	255.68	0.0785
1er Piso	P1	14		14.82	0.00649	15.85	0.0824
1er Piso	P3-3	15		85.02	0.00224	90.67	0.0485
1er Piso	P3-3	15		9.62	0.00646	11.42	0.0499
1er Piso	C1	16		43.58	0.00416	49.02	0.0203
1er Piso	C1	16		17.27	0.00387	17.65	0.0141
2do Piso	C1	16		42.87	0.00402	50.23	0.0194
2do Piso	C1	16		17.38	0.00387	18.14	0.0138
3er Piso	C1	16		44.45	0.00419	51.38	0.0186
3er Piso	C1	16		17.86	0.00388	18.60	0.0134
4to Piso	C1	16		44.29	0.00407	52.41	0.0179
4to Piso	C1	16		18.55	0.00390	19.02	0.0132



















CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
5to Piso	C1	16		44.29	0.00407	52.40	0.0179
5to Piso	C1	16		18.79	0.00380	19.39	0.0129
1er Piso	C3	17		110.30	0.00294	125.81	0.0581
1er Piso	C3	17		19.38	0.00559	32.69	0.0436
2do Piso	C3	17		132.18	0.00212	140.59	0.0466
2do Piso	C3	17		18.54	0.00353	30.66	0.0399
3er Piso	C3	17		155.36	0.00226	166.12	0.0364
3er Piso	C3	17		19.76	0.00359	28.86	0.0363
4to Piso	C3	17		171.66	0.00219	191.67	0.0278
4to Piso	C3	17		21.91	0.00360	27.31	0.0328
5to Piso	C3	17		180.39	0.00206	215.60	0.0177
5to Piso	C3	17		25.50	0.00373	26.74	0.0296
1er Piso	C3	17		110.30	0.00294	125.81	0.0581
1er Piso	C3	17		19.38	0.00559	32.69	0.0436
2do Piso	C3	17		132.18	0.00212	140.59	0.0466
2do Piso	C3	17		18.54	0.00353	30.66	0.0399
3er Piso	C3	17		155.36	0.00226	166.12	0.0364
3er Piso	C3	17		19.76	0.00359	28.86	0.0363

CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
4to Piso	C3	17		171.66	0.00219	191.67	0.0278
4to Piso	C3	17		21.91	0.00360	27.31	0.0328
5to Piso	C3	17		180.39	0.00206	215.60	0.0177
5to Piso	C3	17		25.50	0.00373	26.74	0.0296
1er Piso	C1	18		29.32	0.00563	37.48	0.0464
1er Piso	C1	18		13.42	0.00447	19.97	0.0232
2do Piso	C1	18		31.51	0.00315	31.70	0.0381
2do Piso	C1	18		13.80	0.00259	17.98	0.0204
3er Piso	C1	18		34.09	0.00357	36.01	0.0308
3er Piso	C1	18		14.15	0.00309	16.28	0.0179
4to Piso	C1	18		39.93	0.00418	43.68	0.0243
4to Piso	C1	18		14.93	0.00349	15.54	0.0157
5to Piso	C1	18		44.27	0.00424	50.92	0.0189
5to Piso	C1	18		17.74	0.00379	18.42	0.0136
1er Piso	C1	19		37.34	0.00425	39.70	0.0275
1er Piso	C1	19		13.25	0.00338	15.58	0.0168
2do Piso	C1	19		40.52	0.00419	43.52	0.0244
2do Piso	C1	19		14.89	0.00351	15.48	0.0157



















CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
3er Piso	C1	19		42.98	0.00421	47.30	0.0215
3er Piso	C1	19		16.46	0.00379	16.97	0.0146
4to Piso	C1	19		44.29	0.00424	50.97	0.0189
4to Piso	C1	19		17.96	0.00393	18.48	0.0136
5to Piso	C1	19		45.47	0.00384	54.26	0.0154
5to Piso	C1	19		19.12	0.00379	19.89	0.0126
1er Piso	C1	20		43.72	0.00412	49.40	0.0200
1er Piso	C1	20		17.36	0.00397	17.81	0.0140
2do Piso	C1	20		43.81	0.00421	51.16	0.0188
2do Piso	C1	20		18.08	0.00391	18.51	0.0135
3er Piso	C1	20		44.50	0.00402	52.87	0.0172
3er Piso	C1	20		18.69	0.00384	19.23	0.0130
4to Piso	C1	20		43.55	0.00382	54.40	0.0152
4to Piso	C1	20		19.16	0.00391	19.95	0.0125
5to Piso	C1	20		44.78	0.00391	54.90	0.0143
5to Piso	C1	20		19.82	0.00398	20.68	0.0120
1er Piso	C1	21		30.96	0.00303	33.01	0.0335
1er Piso	C1	21		12.60	0.00288	16.90	0.0189



















CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
2do Piso	C1	21		36.27	0.00388	38.48	0.0286
2do Piso	C1	21		12.96	0.00323	15.81	0.0172
3er Piso	C1	21		39.93	0.00418	43.66	0.0243
3er Piso	C1	21		14.93	0.00349	15.53	0.0157
4to Piso	C1	21		43.43	0.00421	48.59	0.0206
4to Piso	C1	21		16.98	0.00378	17.48	0.0142
5to Piso	C1	21		44.06	0.00398	53.13	0.0168
5to Piso	C1	21		18.76	0.00394	19.35	0.0129
1er Piso	C1	22		28.77	0.00305	30.73	0.0356
1er Piso	C1	22		12.25	0.00276	17.38	0.0196
2do Piso	C1	22		34.28	0.00348	36.69	0.0302
2do Piso	C1	22		12.83	0.00284	16.16	0.0177
3er Piso	C1	22		38.86	0.00402	42.41	0.0253
3er Piso	C1	22		14.63	0.00349	15.10	0.0160
4to Piso	C1	22		42.01	0.00414	47.89	0.0211
4to Piso	C1	22		16.40	0.00358	17.20	0.0144
5to Piso	C1	22		43.43	0.00400	53.01	0.0170
5to Piso	C1	22		18.73	0.00395	19.29	0.0130

















CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
1er Piso	P1	23		260.61	0.00107	303.50	0.0289
1er Piso	P1	23		15.79	0.00640	18.13	0.0591
1er Piso	C1	24		39.53	0.00417	42.45	0.0253
1er Piso	C1	24		14.40	0.00349	15.09	0.0160
2do Piso	C1	24		41.59	0.00423	45.85	0.0226
2do Piso	C1	24		16.00	0.00367	16.39	0.0150
3er Piso	C1	24		43.59	0.00416	49.05	0.0202
3er Piso	C1	24		17.09	0.00373	17.67	0.0141
4to Piso	C1	24		44.72	0.00411	52.10	0.0181
4to Piso	C1	24		18.25	0.00380	18.90	0.0132
5to Piso	C1	24		44.90	0.00393	54.66	0.0149
5to Piso	C1	24		19.25	0.00388	20.08	0.0124
1er Piso	C1	25		37.57	0.00395	40.45	0.0269
1er Piso	C1	25		13.55	0.00328	15.45	0.0166
2do Piso	C1	25		40.03	0.00414	43.98	0.0240
2do Piso	C1	25		15.23	0.00360	15.66	0.0156
3er Piso	C1	25		41.58	0.00403	47.58	0.0213
3er Piso	C1	25		16.53	0.00375	17.08	0.0145




CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
4to Piso	C1	25		43.80	0.00422	51.14	0.0188
4to Piso	C1	25		18.22	0.00391	18.51	0.0135
5to Piso	C1	25		44.09	0.00383	54.36	0.0153
5to Piso	C1	25		19.15	0.00378	19.94	0.0125
1er Piso	C1	26		32.05	0.00334	34.18	0.0324
1er Piso	C1	26		12.76	0.00288	16.66	0.0185
2do Piso	C1	26		36.52	0.00409	39.31	0.0279
2do Piso	C1	26		13.16	0.00312	15.65	0.0169
3er Piso	C1	26		40.14	0.00410	44.29	0.0238
3er Piso	C1	26		15.31	0.00371	15.78	0.0155
4to Piso	C1	26		43.61	0.00430	49.09	0.0202
4to Piso	C1	26		17.10	0.00372	17.69	0.0141
5to Piso	C1	26		44.25	0.00393	53.54	0.0163
5to Piso	C1	26		18.89	0.00388	19.54	0.0128
1er Piso	C2	27		71.14	0.00529	94.78	0.0731
1er Piso	C2	27		11.50	0.00819	20.21	0.0282
2do Piso	C2	27		73.88	0.00249	84.23	0.0580
2do Piso	C2	27		9.25	0.00356	23.75	0.0364

CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS VERTICALES)							
NIVEL	TIPO DE ELEMENTO	Nº DE ELEMENTO VERTICAL	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
3er Piso	C2	27		92.79	0.00252	97.62	0.0449
3er Piso	C2	27		13.66	0.00423	24.69	0.0429
4to Piso	C2	27		109.59	0.00222	117.20	0.0341
4to Piso	C2	27		15.48	0.00414	23.65	0.0390
5to Piso	C2	27		124.18	0.00212	136.18	0.0251
5to Piso	C2	27		17.01	0.00364	22.86	0.0354
1er Piso	C2	28		100.75	0.00209	106.27	0.0398
1er Piso	C2	28		14.17	0.00387	24.21	0.0412
2do Piso	C2	28		109.11	0.00227	115.97	0.0347
2do Piso	C2	28		14.79	0.00387	23.71	0.0393
3er Piso	C2	28		117.58	0.00245	125.93	0.0301
3er Piso	C2	28		15.91	0.00370	23.26	0.0373
4to Piso	C2	28		121.98	0.00213	135.65	0.0254
4to Piso	C2	28		16.61	0.00367	22.88	0.0354
5to Piso	C2	28		130.70	0.00217	145.37	0.0209
5to Piso	C2	28		17.99	0.00346	22.55	0.0336

CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN

RESUMEN (ELEMENTOS HORIZONTALES)					
TIPO DE ELEMENTO	DIRECCION ANALIZADA	M _B (ton-m)	GIRO B (rad)	M _c (ton-m)	GIRO c (rad)
V1		31.48	0.00284	35.42	0.0289
V2		25.27	0.00324	26.31	0.0254
V3		4.44	0.00335	4.56	0.0172

En el siguiente gráfico se muestra el punto de desempeño cuando la estructura es sometida a cargas laterales en dirección del eje X.

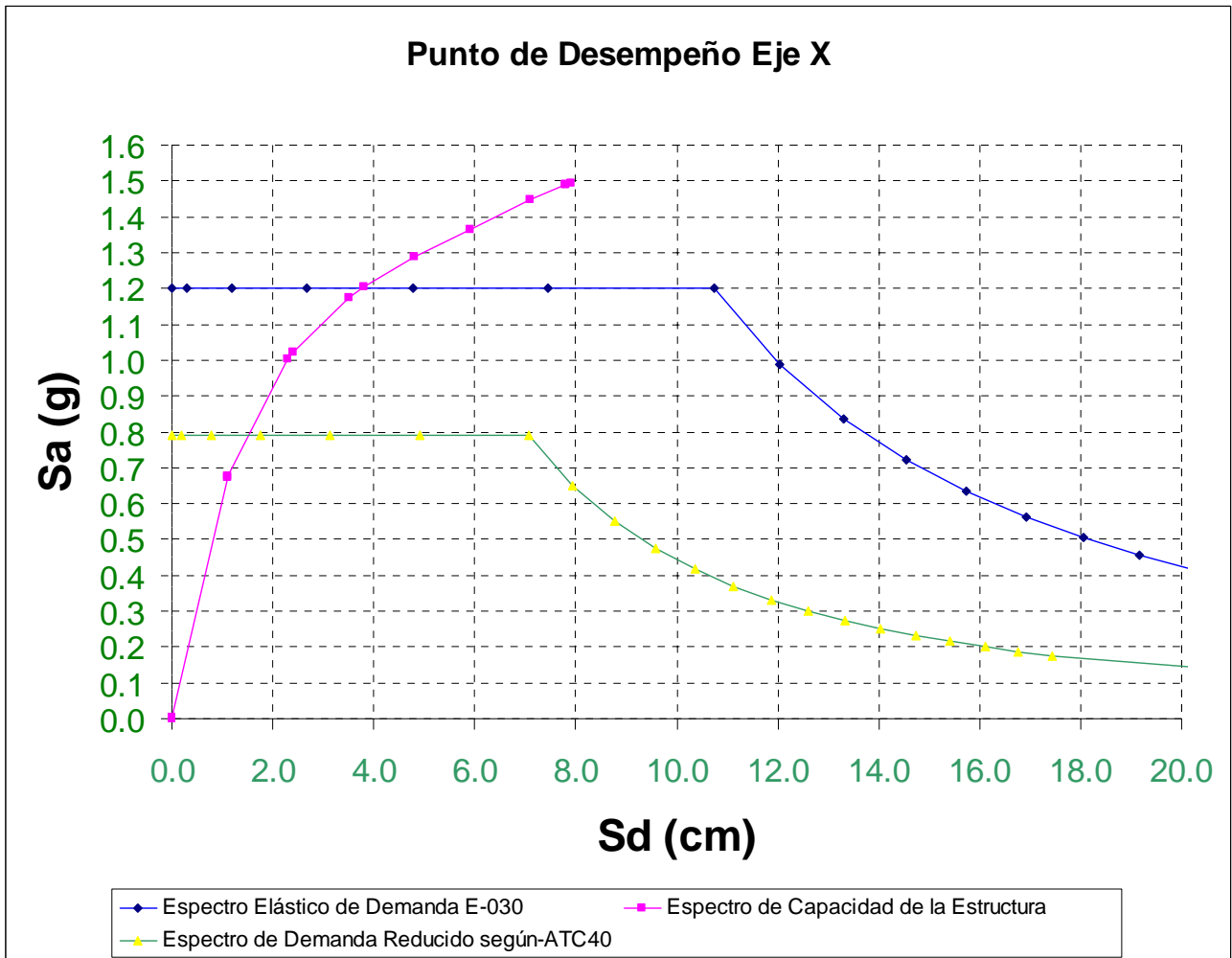


Fig. No 43 Punto de desempeño para una demanda sísmica en la dirección del eje X

El punto de desempeño tiene las coordenadas $(d_p, a_p) = (1.597, 0.8090)$, entonces tenemos un desplazamiento del techo de $d_p \times PF1 \times \phi_{techo} = 1.597 \times 1.369 = 2.186$ cm

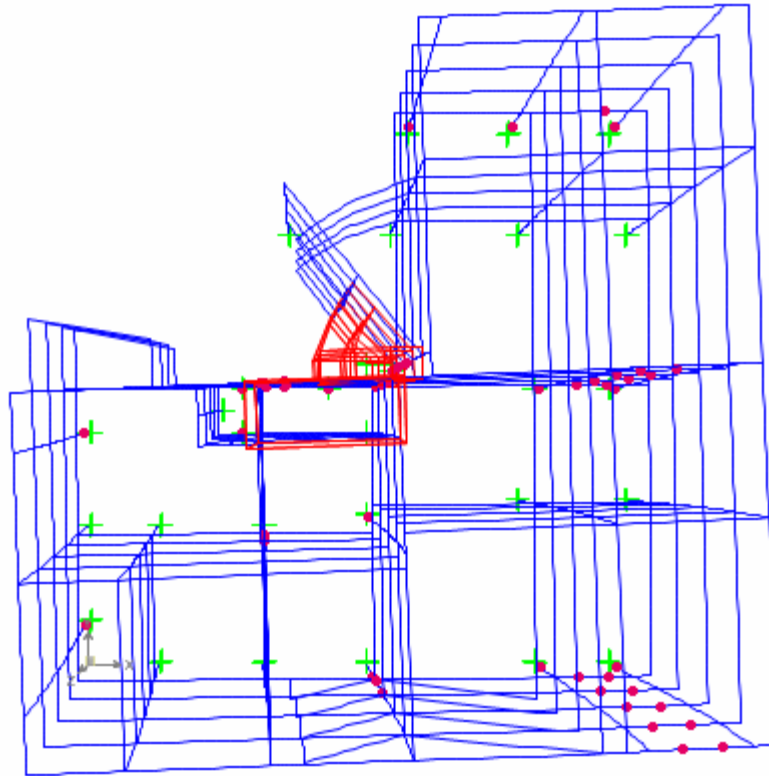


Fig. 44 Localización de los elementos que tuvieron esfuerzos más allá de su límite elástico, para una demanda sísmica en el eje X (Adaptado de la salida del Sap 2000)

Como podemos apreciar, para un sismo como el que nos da la Norma E-030 y aplicada en la dirección X, algunos elementos de la estructura tienen un comportamiento que supera su rango elástico. Ahora debemos saber si esa incursión inelástica está dentro de los límites aceptables o no, para poder reforzarlos en caso de que sobrepase los límites permitidos. En los siguientes gráficos se muestran el chequeo del comportamiento de algunos elementos que tuvieron esfuerzos más allá de su límite elástico, y veremos si su deformación (giro) está dentro del rango permitido de acuerdo al objetivo de comportamiento básico, lo que significa que no deben pasar el nivel de Seguridad de Vida (SV).

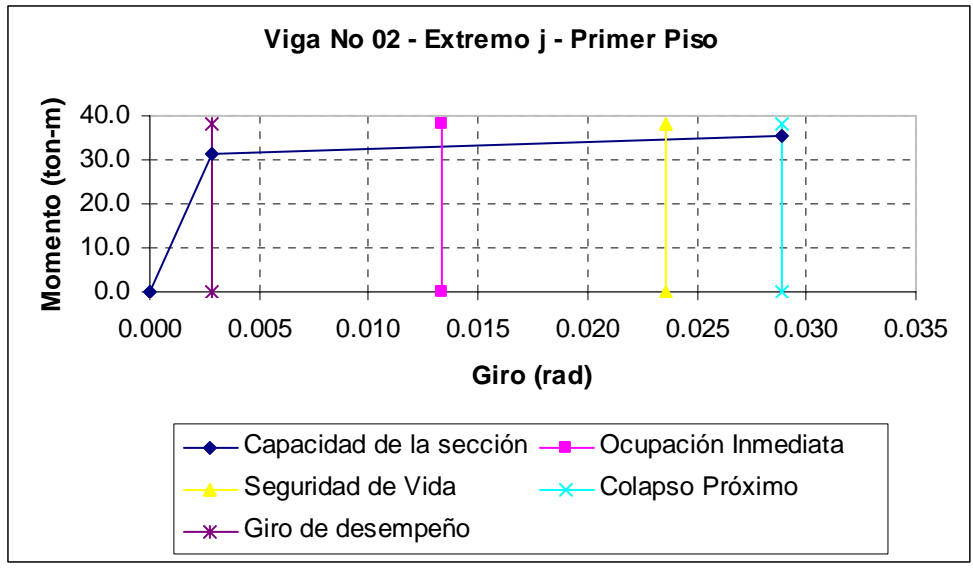


Fig. No 45 Comportamiento del elemento aceptable

La viga No 02 – en su extremo j – y perteneciente al primer piso, tuvo un comportamiento aceptable desde el punto de vista de su giro, prácticamente iniciaba su rango inelástico, quedándole aun margen de giro para llegar al límite permisible (Seguridad de Vida). Por tanto no necesita reforzamiento.

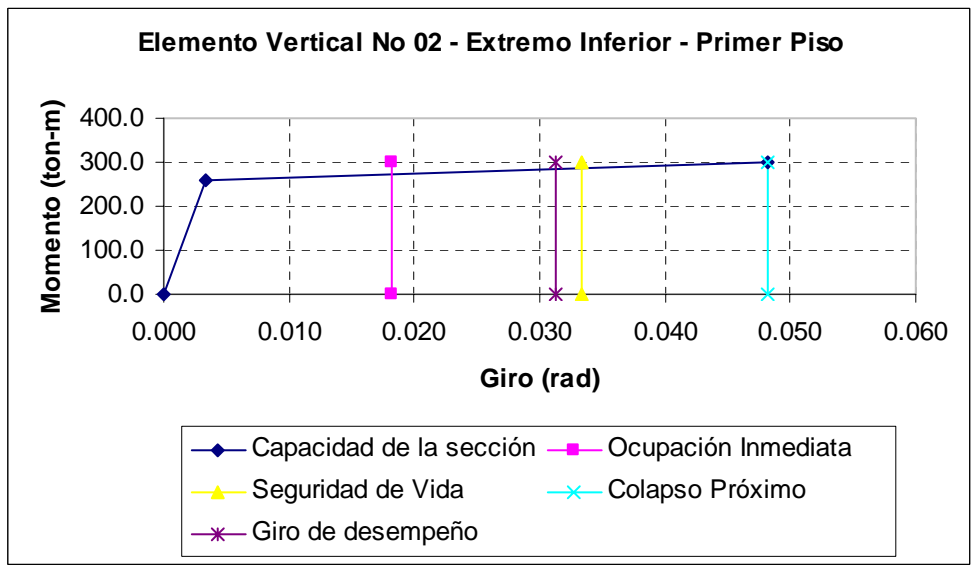


Fig. No 46 Comportamiento del elemento aceptable

El elemento vertical No 02 – en su extremo inferior – y perteneciente al primer piso, tuvo un comportamiento aceptable desde el punto de vista de su giro, quedándole poco margen de giro para llegar al límite permisible (Seguridad de Vida). Por tanto no necesita reforzamiento, aunque podría reforzarse por seguridad.

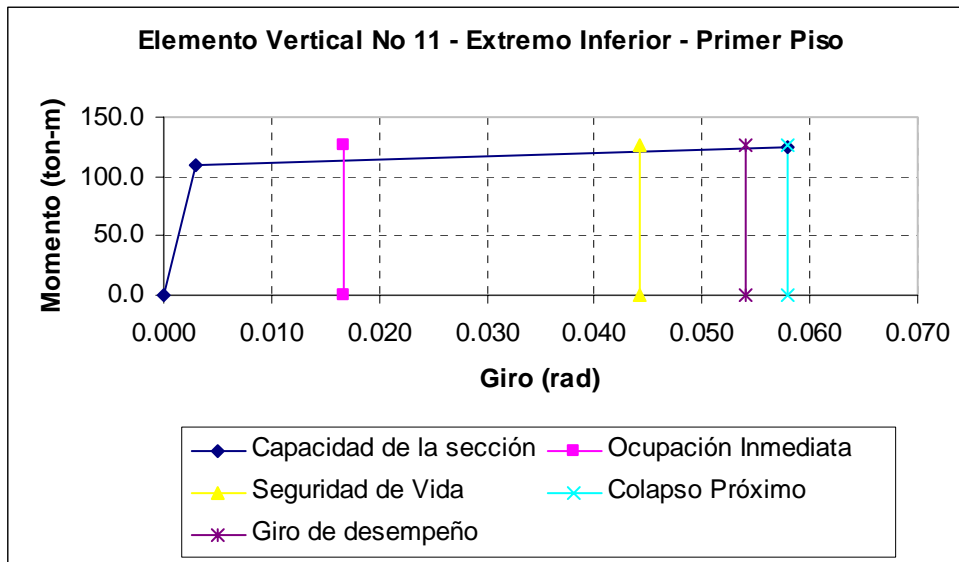


Fig. No 47 Comportamiento del elemento **inaceptable**

El elemento vertical No 11 – en su extremo inferior – y perteneciente al primer piso, tuvo un comportamiento inaceptable desde el punto de vista de su giro (sobrepasó el límite de Seguridad de Vida), quedándole incluso poco margen de giro para llegar al colapso. Por tanto necesita reforzamiento.

RESUMEN

En la dirección del eje **X**, la dirección más fuerte, el desplazamiento de desempeño en el techo fue de 2.186 cm. Y en la siguiente tabla se resume el número total de elementos entre vigas, columnas y muros que entraron en el rango inelástico.

Fuerzas Laterales en la dirección X	
Total de elementos con comportamiento inelástico	35
Total de elementos horizontales con comportamiento	17
Total de elementos verticales con comportamiento	18
Total de elementos horizontales con comportamiento inelástico <i>inaceptable</i>	0
Total de elementos verticales con comportamiento inelástico <i>inaceptable</i>	7

CAPITULO VII

7.1 OBSERVACIONES:

- El Análisis No Lineal Estático Pushover presentado aquí, es exclusivamente para edificaciones con elementos horizontales y verticales cuyos comportamientos sean dominados por flexión.
- ◆ Los aceros de refuerzo en los elementos (vigas, columnas y placas), por simplificar el problema, se repitió en los cinco pisos, aun así como sabemos, los diagramas momento-giro no son iguales ni en elementos con igual configuración de acero que se encuentran en un mismo nivel, debido a que soportan distintas cargas axiales. Considero que este hecho no invalida el trabajo realizado porque el fin es mostrar la utilidad del método de análisis No Lineal Estático y no es un cuestionamiento a ningún procedimiento de análisis estructural previo.
- ◆ Debido a la irregularidad de la estructura y por realizar un análisis tridimensional, La obtención de la curva de capacidad de la estructura se obtuvo mediante el uso del programa Sap2000.
- ◆ No se tomó en cuenta la rigidez lateral que aportan los muros de albañilería, cuando la estructura fue sometida a cargas laterales.
- ◆ No se tomó en cuenta las cargas de gravedad ni peso propio de la estructura, al someterlo a cargas laterales (Pushover). Considero que las cargas de gravedad de servicio de la estructura y su peso propio están incluidas en el gráfico momento-giro de cada elemento.
- ◆ El programa para hallar el gráfico momento-giro, no toma en cuenta la efectividad de confinamiento que pudieran tener los estribos.

7.2. CONCLUSIONES

- ◆ El Análisis No Lineal Estático Pushover, es una forma mediante el cual podemos obtener la secuencia de la aparición de rótulas que llevan al colapso a la estructura, y utilizando la demanda sísmica dada por la Norma Peruana E-030 se puede hallar el nivel de daño ocurrido.
- ◆ El Análisis No Lineal Estático Pushover, nos sirve para ver la magnitud del daño, mediante el monitoreo de la deformación de desempeño (giro o desplazamiento) de los elementos y poder calificarlos como daños aceptables o no, mediante los límites de aceptación.
- ◆ Al ser un procedimiento que necesariamente necesita de un diseño estructural previo, puede ser tomada como un complemento a este.
- ◆ Tenemos que mencionar algo a favor de los métodos propuestos por el ATC-40 y FEMA-356 y es que utiliza un factor de reducción de la demanda sísmica propia a cada estructura.
- ◆ Una deficiencia del procedimiento encontrado fue que para modelar las vigas se tuvo que aislar de la losa, comportándose de esta manera como elementos aislados y no como parte continua de un todo que forman con la losa.
- ◆ El procedimiento de modelación del comportamiento de una sección para un elemento y su posterior verificación del desempeño, viendo su deformación (Giro o desplazamiento) es muy laborioso como para hacerlo con todas las estructuras que se diseñan día a día.

ANEXO

! PUSHOVER 2D

! unidades: kg-cm

! Dimensionamiento y declaración de las variables:

```
integer j,g,p10,p11,np, nn, ne, nnce, necr, nemp, nniv, ncniv, nndt,zz,
npdt,aaaa,h,a8,nnc(82), nee(87), jj(87), kk(87), nefg(4, 87), cej(4, 87), cek(4, 87), nnn(4,
82), bb(4)
```

```
real(8) p,p1,ll,G4,g5,a5,aaa,RR,R1,R2,R3,pm,a1,a2,a3,bbb,t,qq
real(8) lambdaj(4, 87), lambdak(4, 87), Fxe(4, 87), Fye(4, 82), Mze(4, 82), sj(4,
246, 246), smd(4, 6, 6), AE(4, 246), AC(4, 246), AEP(4, 246), AEP1(4, 246),R(4, 246),
RP(4, 246), RP1(4, 246), cx(87), cy(87),lamb(4)
character dj$(4, 87)*8, dk$(4, 87)*8, c$(4),b$
real(8) b(4, 234, 234), ID(4, 234, 234), DP(4, 246), DPP(4, 246), DPP1(4, 246)
real(8) AM(4, 87, 6), AMP(4, 87, 6), AMP1(4, 87, 6), gcc(4), gc(4, 234), AC1(4, 246),
DP2(4, 246)
real(8) k1(4, 36), kkk(3), kd(3, 3), mm(3, 3), fi(3)
real(8) DT(500), CB(500)
```

```
integer cpr(4),cpr
real(8) EE
```

```
real x(82), y(82),a(4, 87), E(4, 87), ii(4, 87),Mfj(4, 87), Mfk(4, 87), Mpj(4, 87),
Mpk(4, 87), pend(4, 87), dhtd
```

! Inicio de lectura del archivo de datos

```
open(1,FILE='push6.dat')
! No de porticos
read(1,*) np
! No de nudos y No de elementos
read (1,*) nn,ne
! No del nudo, coordenada x(i), coordenada y(i)
do 10 i=1, nn
read (1,*) nnc(i), x(i), y(i)
10 continue
! No de elemento y su conectividad
do 20 i=1, ne
read (1,*) nee(i), jj(i), kk(i)
20 continue
! Elemento, A, E, I, Mpj, Mpk, Mfj, Mfk, pendiente
do 40 j=1, np
do 30 i=1, ne
read (1,*) nefg(j, i), a(j, i), E(j, i), ii(j, i), Mpj(j, i), Mpk(j, i), Mfj(j, i), Mfk(j, i), pend(j, i)
30 continue
40 continue
```

! No de nudos con cargas externas en un pórtico

```
read (1,*) nnce
! No del nudo, Fx, Fy , Mz
do 60 j=1, np
do 50 i=1, nnce
```

```

    read (1,*) nnn(j, i), Fxe(j, i), Fye(j, i), Mze(j, i)
50 continue
60 continue

```

!No de vigas en un pórtico

```
read (1,*) necr
```

!No de nudos empotrados, en un portico

```
read (1,*) nemp
```

!No del nudo y No del pórtico, cuyo desplazamiento horizontal será controlado

```
read(1,*) nndt, npdt
```

!Desplazamiento horizontal del techo deseado

```
read(1,*) dhdt
```

!Fin de lectura de archivo de datos

!Inicio del análisis e impresión de resultados

```
open(2,FILE='push6.out')
```

```

write (2,*) " "
write (2,*) "===== "
write (2,*) "          PUSHOVER 2D          "
write (2,*) "    por: Ing. Julio Edwin Delgadillo Alanya    "
write (2,*) "          Universidad Nacional de Ingeniería          "
write (2,*) "                2005                "
write (2,*) "===== "

```

```
write (2,*) " "
```

! cosenos directores de los elementos

```

do 190 i=1,ne
    ll= (x(kk(i)) - x(jj(i)))**2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))**2
    cx(i) = (x(kk(i)) - x(jj(i))) / sqrt(ll)
    cy(i) = (y(kk(i)) - y(jj(i))) / sqrt(ll)
190 continue

```

```
do 280 j=1,np
```

```
do 270 i=1,ne
```

!matriz de rigidez del elemento i para ejes de la estructura

```

    ll= (x(kk(i)) - x(jj(i)))**2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))**2
    G4 = E(j, i) / (2 * (1 + 0.2))
g5 = 36 * E(j, i) * ii(j, i) / (5 * G4 * a(j, i) * ll)
a5 = E(j, i) * ii(j, i) / (1 + 2 * g5)

```

```

smd(j, 1, 1) = (E(j, i) * a(j, i) * cx(i)**2) / sqrt(II) + (12 * a5 * cy(i)**2) / ((sqrt(II))**3)
smd(j, 1, 2) = ((E(j, i) * a(j, i)) / sqrt(II) - (12 * a5) / ((sqrt(II))**3)) * (cx(i) * cy(i))
smd(j, 1, 3) = -6 * a5 * cy(i) / (II)
smd(j, 1, 4) = -smd(j, 1, 1)
smd(j, 1, 5) = -smd(j, 1, 2)
smd(j, 1, 6) = smd(j, 1, 3)
smd(j, 2, 1) = smd(j, 1, 2)
smd(j, 2, 2) = (E(j, i) * a(j, i) * cy(i)**2) / (sqrt(II)) + (12 * a5 * cx(i)**2) / ((sqrt(II))**3)
smd(j, 2, 3) = 6 * a5 * cx(i) / (II)
smd(j, 2, 4) = smd(j, 1, 5)
smd(j, 2, 5) = -smd(j, 2, 2)
smd(j, 2, 6) = smd(j, 2, 3)
smd(j, 3, 1) = smd(j, 1, 3)
smd(j, 3, 2) = smd(j, 2, 3)
smd(j, 3, 3) = 4 * a5 * (1 + 0.5 * g5) / (sqrt(II))
smd(j, 3, 4) = -smd(j, 3, 1)
smd(j, 3, 5) = -smd(j, 3, 2)
smd(j, 3, 6) = 2 * a5 * (1 - g5) / (sqrt(II))
smd(j, 4, 1) = smd(j, 1, 4)
smd(j, 4, 2) = smd(j, 2, 4)
smd(j, 4, 3) = smd(j, 3, 4)
smd(j, 4, 4) = smd(j, 1, 1)
smd(j, 4, 5) = smd(j, 2, 1)
smd(j, 4, 6) = smd(j, 4, 3)
smd(j, 5, 1) = smd(j, 1, 5)
smd(j, 5, 2) = smd(j, 2, 5)
smd(j, 5, 3) = smd(j, 3, 5)
smd(j, 5, 4) = smd(j, 4, 5)
smd(j, 5, 5) = -smd(j, 5, 2)
smd(j, 5, 6) = smd(j, 5, 3)
smd(j, 6, 1) = smd(j, 1, 6)
smd(j, 6, 2) = smd(j, 2, 6)
smd(j, 6, 3) = smd(j, 3, 6)
smd(j, 6, 4) = smd(j, 4, 6)
smd(j, 6, 5) = smd(j, 5, 6)
smd(j, 6, 6) = smd(j, 3, 3)

```

!matriz de rigidez total

```

IF (jj(i) .eq. 1) then
  GOTO 210
ELSE
  GOTO 220
endif
210 p1 = 1
  GOTO 230
220 p1 = 1
  do 225 l=1, jj(i) - 1
    p1 = p1 + 3
225 continue
230 IF (kk(i) .eq. 1) then
  GOTO 240

```

```

        ELSE
        GOTO 250
    endif
240  p2 = 1
    GOTO 260
250  p2 = 1
    do 255 l=1,kk(i) - 1
        p2 = p2 + 3
255  continue

260  sj(j, p1, p1) = smd(j, 1, 1) + sj(j, p1, p1)
    sj(j, p1, p1 + 1) = smd(j, 1, 2) + sj(j, p1, p1 + 1)
    sj(j, p1, p1 + 2) = smd(j, 1, 3) + sj(j, p1, p1 + 2)
    sj(j, p1, p2) = smd(j, 1, 4) + sj(j, p1, p2)
    sj(j, p1, p2 + 1) = smd(j, 1, 5) + sj(j, p1, p2 + 1)
    sj(j, p1, p2 + 2) = smd(j, 1, 6) + sj(j, p1, p2 + 2)
    sj(j, p1 + 1, p1) = smd(j, 2, 1) + sj(j, p1 + 1, p1)
    sj(j, p1 + 1, p1 + 1) = smd(j, 2, 2) + sj(j, p1 + 1, p1 + 1)
    sj(j, p1 + 1, p1 + 2) = smd(j, 2, 3) + sj(j, p1 + 1, p1 + 2)
    sj(j, p1 + 1, p2) = smd(j, 2, 4) + sj(j, p1 + 1, p2)
    sj(j, p1 + 1, p2 + 1) = smd(j, 2, 5) + sj(j, p1 + 1, p2 + 1)
    sj(j, p1 + 1, p2 + 2) = smd(j, 2, 6) + sj(j, p1 + 1, p2 + 2)
    sj(j, p1 + 2, p1) = smd(j, 3, 1) + sj(j, p1 + 2, p1)
    sj(j, p1 + 2, p1 + 1) = smd(j, 3, 2) + sj(j, p1 + 2, p1 + 1)
    sj(j, p1 + 2, p1 + 2) = smd(j, 3, 3) + sj(j, p1 + 2, p1 + 2)
    sj(j, p1 + 2, p2) = smd(j, 3, 4) + sj(j, p1 + 2, p2)
    sj(j, p1 + 2, p2 + 1) = smd(j, 3, 5) + sj(j, p1 + 2, p2 + 1)
    sj(j, p1 + 2, p2 + 2) = smd(j, 3, 6) + sj(j, p1 + 2, p2 + 2)
    sj(j, p2, p1) = smd(j, 4, 1) + sj(j, p2, p1)
    sj(j, p2, p1 + 1) = smd(j, 4, 2) + sj(j, p2, p1 + 1)
    sj(j, p2, p1 + 2) = smd(j, 4, 3) + sj(j, p2, p1 + 2)
    sj(j, p2, p2) = smd(j, 4, 4) + sj(j, p2, p2)
    sj(j, p2, p2 + 1) = smd(j, 4, 5) + sj(j, p2, p2 + 1)
    sj(j, p2, p2 + 2) = smd(j, 4, 6) + sj(j, p2, p2 + 2)
    sj(j, p2 + 1, p1) = smd(j, 5, 1) + sj(j, p2 + 1, p1)
    sj(j, p2 + 1, p1 + 1) = smd(j, 5, 2) + sj(j, p2 + 1, p1 + 1)
    sj(j, p2 + 1, p1 + 2) = smd(j, 5, 3) + sj(j, p2 + 1, p1 + 2)
    sj(j, p2 + 1, p2) = smd(j, 5, 4) + sj(j, p2 + 1, p2)
    sj(j, p2 + 1, p2 + 1) = smd(j, 5, 5) + sj(j, p2 + 1, p2 + 1)
    sj(j, p2 + 1, p2 + 2) = smd(j, 5, 6) + sj(j, p2 + 1, p2 + 2)
    sj(j, p2 + 2, p1) = smd(j, 6, 1) + sj(j, p2 + 2, p1)
    sj(j, p2 + 2, p1 + 1) = smd(j, 6, 2) + sj(j, p2 + 2, p1 + 1)
    sj(j, p2 + 2, p1 + 2) = smd(j, 6, 3) + sj(j, p2 + 2, p1 + 2)
    sj(j, p2 + 2, p2) = smd(j, 6, 4) + sj(j, p2 + 2, p2)
    sj(j, p2 + 2, p2 + 1) = smd(j, 6, 5) + sj(j, p2 + 2, p2 + 1)
    sj(j, p2 + 2, p2 + 2) = smd(j, 6, 6) + sj(j, p2 + 2, p2 + 2)

270  continue
280  continue

```

Vector de acciones externas en los nudos

```

do 330 j=1,np
do 320 i=1,nnce
IF (nnn(j, i) .eq. 1) THEN
    GOTO 290
ELSE
    GOTO 300
endif
290 p1 = 1
    GOTO 310
300 p1 = 1
    do 305 l=1,nnn(j, i) - 1
        p1 = p1 + 3
305 continue
310 AE(j, p1) = Fxe(j, i)
    AE(j, p1 + 1) = Fye(j, i)
    AE(j, p1 + 2) = Mze(j, i)
320 continue
330 continue

```

!Vector de Acciones Combinadas

```

do 360 j=1,np
do 350 i=1,3 * nn
AC(j, i) = AE(j, i)
350 continue
360 continue

```

!matriz de rigidez reducida

```

do 390 k=1,np
do 380 i=1,3 * nn - 3 * nemp
do 370 j=1,3 * nn - 3 * nemp
b(k, i, j) = sj(k, i, j)
370 continue
380 continue
390 continue

```

!matriz identidad

```

do 410 j=1,np
do 400 i=1,3 * nn - 3 * nemp
ID(j, i, i) = 1
400 continue
410 continue

```

! REM'inversa de la matriz reducida

```

do 440 k=1,np
do 420 l=1,(3 * nn - 3 * nemp)
p = b(k, l, l)
do 412 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
b(k, l, j) = b(k, l, j) / p
ID(k, l, j) = ID(k, l, j) / p

```

```

412 continue
  IF (l .eq. (3 * nn - 3 * nemp)) THEN
    GOTO 420
  endif
  do 416 i=1,(3 * nn - 3 * nemp - l)
    p = -b(k, i + l, l)
    do 414 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
      b(k, i + l, j) = p * b(k, l, j) + b(k, i + l, j)
      ID(k, i + l, j) = p * ID(k, l, j) + ID(k, i + l, j)
414 continue
416 continue
420 continue

```

```

  p1 = 0
  do 430 l=(3 * nn - 3 * nemp),1, -1
    IF (l .eq. 1) THEN
      GOTO 430
    endif
    p1 = p1 + 1
    do 428 i=(3 * nn - 3 * nemp - p1),1, -1
      p = -b(k, i, l)
      do 426 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
        b(k, i, j) = p * b(k, l, j) + b(k, i, j)
        ID(k, i, j) = p * ID(k, l, j) + ID(k, i, j)
426 continue
428 continue
430 continue
440 continue

```

!desplazamientos de los nudos no empotrados

```

  do 450 j=1,np
    do 445 i=1,3 * nn
      DP(j, i) = 0
445 continue
450 continue

```

```

  do 465 k=1,np
    do 460 i=1,(3 * nn - 3 * nemp)
      do 455 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
        DP(k, i) = ID(k, i, j) * AC(k, j) + DP(k, i)
455 continue
460 continue
465 continue

```

! "desplazamientos de los nudos no empotrados"

```

  do 467 j=1,np
    do 466 i=1,(3 * nn - 3 * nemp)
      DP(j,i) = 0

```

```

466 continue
467 continue

      do 470 k=1,np
do 469 i=1,(3 * nn - 3 * nemp)
do 468 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
DP(k,i) = ID(k,i, j) * AC(k,j) + DP(k,i)
468 continue
469 continue
470 continue

```

!reacciones de los nudos empotrados

```

do 479 j=1,np
do 478 i=1,3 * nn
R(j, i) = 0
478 continue
479 continue

do 482 k=1,np
do 481 i=(3 * nn - 3 * nemp + 1),3 * nn
do 480 j=1,3 * nn
R(k, i) = sj(k, i, j) * DP(k, j) + R(k, i)
480 continue
481 continue
482 continue

```

!acciones de extremo en las vigas para ejes del elemento

```

do 502 j=1, np

do 501 i=1, necr

IF (jj(i) .eq. 1) THEN
GOTO 483
ELSE
GOTO 484
endif
483 p1 = 1
GOTO 486
484 p1 = 1
do 485 l=1,jj(i) - 1
p1 = p1 + 3
485 continue
486 IF (kk(i) .eq. 1) THEN
GOTO 487
ELSE
GOTO 488

```



```

        endif
487 p2 = 1
    GOTO 500
488 p2 = 1
    do 489 l=1,kk(i) - 1
        p2 = p2 + 3
489 continue

500 ll= (x(kk(i)) - x(jj(i)))**2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))**2
    G4= E(j, i) / (2 * (1 + 0.2))
    g5= 36 * E(j, i) * ii(j, i) / (5 * G4 * a(j, i) * ll)
    a5= E(j, i) * ii(j, i) / (1 + 2 * g5)

    AM(j, i, 1) = (E(j, i) * a(j, i) / (sqrt(ll))) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) + (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cy(i))
    AM(j, i, 2) = (12 * a5 / (sqrt(ll))**3) * (-(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cx(i)) + (6 * a5 / ll) * (DP(j, p1 + 2) + DP(j, p2 + 2))
    AM(j, i, 3) = (6 * a5 / ll) * (-(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) - DP(j, p2 + 1)) *
cx(i)) + (4 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 + 0.5 * g5) * DP(j,p1 + 2) + (2 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 - g5) *
DP(j,p2 + 2)
    AM(j, i, 4) = (E(j, i) * a(j, i) / (sqrt(ll))) * (-(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) - (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cy(i))
    AM(j, i, 5) = (12 * a5 / (sqrt(ll))**3) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) - (DP(j, p1 + 1) - DP(j,
p2 + 1)) * cx(i)) - (6 * a5 / ll) * (DP(j, p1 + 2) + DP(j, p2 + 2))
    AM(j, i, 6) = (6 * a5 / ll) * (-(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) - DP(j, p2 + 1)) *
cx(i)) + (4 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 + .5 * g5) * DP(j,p2 + 2) + (2 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 - g5) *
DP(j,p1 + 2)

501 continue
502 continue

!acciones de extremo en las columnas para ejes del elemento

do 512 j=1,np

    do 511 i=necr + 1,ne

        IF (jj(i) .eq. 1) THEN
            GOTO 503
        ELSE
            GOTO 504
        endif
503 p1 = 1
        GOTO 506
504 p1 = 1
        do 505 l=1,jj(i) - 1
            p1 = p1 + 3
505 continue
506 IF (kk(i) .eq. 1) THEN

```

```

GOTO 507
  ELSE
    GOTO 508
  endif
507 p2 = 1
  GOTO 510
508 p2 = 1
  do 509 l=1,kk(i) - 1
    p2 = p2 + 3
  509 continue

510 ll= (x(kk(i)) - x(jj(i)))**2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))**2
      G4= E(j, i) / (2 * (1 + 0.2))
      g5= 36 * E(j, i) * ii(j, i) / (5 * G4 * a(j, i) * ll)
      a5= E(j, i) * ii(j, i) / (1 + 2 * g5)

      AM(j, i, 1) = (E(j, i) * a(j, i) / (sqrt(ll))) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) + (DP(j, p1 + 1) -
      DP(j, p2 + 1)) * cy(i))
      AM(j, i, 2) = (12 * a5 / (sqrt(ll)**3) * -(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) -
      DP(j, p2 + 1)) * cx(i) + (6 * a5 / ll) * (DP(j, p1 + 2) + DP(j, p2 + 2))
      AM(j, i, 3) = (6 * a5 / ll) * -(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) - DP(j, p2 + 1)) *
      cx(i) + (4 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 + 0.5 * g5) * DP(j,p1 + 2) + (2 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 - g5) *
      DP(j,p2 + 2)
      AM(j, i, 4) = (E(j, i) * a(j, i) / (sqrt(ll))) * -(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) - (DP(j, p1 + 1) -
      DP(j, p2 + 1)) * cy(i))
      AM(j, i, 5) = (12 * a5 / (sqrt(ll)**3) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) - (DP(j, p1 + 1) - DP(j,
      p2 + 1)) * cx(i)) - (6 * a5 / ll) * (DP(j, p1 + 2) + DP(j, p2 + 2))
      AM(j, i, 6) = (6 * a5 / ll) * -(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) - DP(j, p2 + 1)) *
      cx(i) + (4 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 + .5 * g5) * DP(j,p2 + 2) + (2 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 - g5) *
      DP(j,p1 + 2)

511 continue
512 continue

      aaaa=0

540 aaaa=1

```

!ANÁLISIS PLÁSTICO

!*** Conjunto de Rótulas Plásticas No 1 ***

!hallamos lambda mínimo lamb#, pórtico j, elemen b y extrem c\$

```

do 595 j=1,np
  qq=0
  do 590 i=1,ne
    lambdaj(j, i) = Mpj(j, i) / ABS(AM(j, i, 3))
    lambdak(j, i) = Mpk(j, i) / ABS(AM(j, i, 6))
  
```

```

      IF (lambdaj(j, i) .lt. lambdak(j, i)) THEN
        GOTO 550
      ELSE
        GOTO 560
      endif
550  qq = lambdaj(j, i)
     b$ = "j"
     GOTO 570
560  qq = lambdak(j, i)
     b$ = "k"
     GOTO 570
570  IF (i .eq. 1) THEN
     lamb(j) = qq
     bb(j) = i
     c$(j) = b$
     GOTO 590
     ELSE
     GOTO 580
     endif

```

```

580  IF (qq .lt. lamb(j)) THEN
     lamb(j) = qq
     c$(j) = b$
     bb(j) = i

     ELSE
     GOTO 590
     endif

```

```
590  continue
```

```
595  continue
```

!hallamos el lambda minimo de todos los lamb# minimos de los pórticos

```

do 620 j=1,np
  IF (j .eq. 1) THEN
    GOTO 600
  ELSE
    GOTO 610
  endif
600  qq = lamb(j)
     h = j
     GOTO 620
610  IF (lamb(j) .gt. qq) THEN
     GOTO 620
     endif
     qq = lamb(j)
     h = j
620  continue

```

!portico= h: elemento= bb(h): extremo= c\$(h): lambda min= lamb#(h)

```

IF (c$(h) .eq. "j") THEN
  cej(h, bb(h)) = 1
endif
IF (c$(h) .eq. "k") THEN
  cek(h, bb(h)) = 1
endif

do 690 j=1,np
do 680 i=1,ne
IF (dj$(j, i) .eq. "fluencia") THEN
  GOTO 650
endif
IF (lambdaj(j, i) .eq. qq) THEN
  GOTO 630
ELSE
  GOTO 640
endif
630  cej(j, i) = 1
     dj$(j, i) = "fluencia"
     GOTO 650
640  dj$(j, i) = "elástico"
     cek(j, i) = 0
650  IF (dk$(j, i) .eq. "fluencia") THEN
     GOTO 680
     endif
     IF (lambdak(j, i) .eq. qq) THEN
     GOTO 660
     ELSE
     GOTO 670
     endif
660  cek(j, i) = 1
     dk$(j, i) = "fluencia"
     GOTO 680
670  dk$(j, i) = "elástico"
     cek(j, i) = 0
680  continue
690  continue

```

!multiplicación de los desplazamientos y las acciones de extremo de los elementos, por lambda mínimo

```

do 714 j=1,np
do 712 i=1,3 * nn
DPP(j, i) = DP(j, i) * lamb(h)
712 continue
714 continue

```

```
DT(1) = abs(DPP(npdt, 1 + (nndt - 1) * 3))
```

```
do 730 j=1,np
do 720 i=1,ne
AMP(j, i, 1) = AM(j, i, 1) * lamb(h)
AMP(j, i, 2) = AM(j, i, 2) * lamb(h)
AMP(j, i, 3) = AM(j, i, 3) * lamb(h)
AMP(j, i, 4) = AM(j, i, 4) * lamb(h)
AMP(j, i, 5) = AM(j, i, 5) * lamb(h)
AMP(j, i, 6) = AM(j, i, 6) * lamb(h)
720 continue
730 continue
```

!multiplicación de las reacciones por lambda minimo

```
do 895 j=1,np
do 890 i=(3 * nn - 3 * nemp + 1),3 * nn
RP(j, i) = R(j, i) * lamb(h)
890 continue
895 continue
```

!multiplicación de las acciones externas, por lambda mínimo

```
CB(1) = 0
do 915 j=1,np
do 910 i=1,3 * nn
AEP(j, i) = AE(j, i) * lamb(h)
CB(1) = CB(1) + abs(AEP(j, i))
910 continue
915 continue
```

```
do 938 k=1,np
cpr(k)=0
938 continue
cpr =0
```

```
do 1655 g=1,2 * ne * np + 1
```

j "***** una estructura nueva No", g, "*****"
!se hace un nuevo e iterativo análisis para encontrar la ubicación de las rótulas plásticas"

!hallamos la matriz de rigidez total para las sucesivas nuevas estructuras con rótulas

```
do 950 k=1,np
do 945 i=1,3 * nn
do 940 j=1,3 * nn
sj(k, i, j) = 0
940 continue
```

```
945 continue
950 continue

do 1030 j=1,np

    if (cpr(j) .eq. 1) then
        goto 1030
    endif

    do 1025 i=1,ne

IF (cej(j, i) + cek(j, i) .eq. 6) THEN
    GOTO 975
endif

IF (cej(j, i) + cek(j, i) .eq. 4) THEN

    if (cej(j, i) .eq. 3) then
        GOTO 960
    else
        goto 970
    endif
endif

IF (cej(j, i) + cek(j, i) .eq. 3) THEN
    if (cej(j, i) .eq. 3) then
        GOTO 960
    else
        goto 970
    endif
endif

IF (cej(j, i) + cek(j, i) .eq. 2) THEN
    GOTO 980
endif

IF (cej(j, i) + cek(j, i) .eq. 1) THEN

    GOTO 980

endif
```

!matriz de rigidez del elemento i con rótula en el extremo j, para ejes de la estructura

```
960 If (cek(j, i) .eq. 1) then

    EE= pend(j, i)*E(j, i)
    goto 961
endif
```

$$EE = E(j, i)$$

$$961 \quad ll = (x(kk(i)) - x(jj(i)))^2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))^2$$

$$G4 = EE / (2 * (1 + 0.2))$$

$$g5 = 36 * EE * ii(j, i) / (5 * G4 * a(j, i) * ll)$$

$$a5 = EE * ii(j, i) / (1 + 2 * g5)$$

$$smd(j, 1, 1) = (EE * a(j, i) * cx(i)^2) / (\text{sqrt}(ll)) + (3 * a5 * cy(i)^2) / ((\text{sqrt}(ll))^3)$$

$$smd(j, 1, 2) = ((EE * a(j, i)) / (\text{sqrt}(ll)) - (3 * a5) / ((\text{sqrt}(ll))^3)) * (cx(i) * cy(i))$$

$$smd(j, 1, 3) = 0$$

$$smd(j, 1, 4) = -smd(j, 1, 1)$$

$$smd(j, 1, 5) = -smd(j, 1, 2)$$

$$smd(j, 1, 6) = -3 * a5 * cy(i) / ll$$

$$smd(j, 2, 1) = smd(j, 1, 2)$$

$$smd(j, 2, 2) = (EE * a(j, i) * cy(i)^2) / (\text{sqrt}(ll)) + (3 * a5 * cx(i)^2) / ((\text{sqrt}(ll))^3)$$

$$smd(j, 2, 3) = 0$$

$$smd(j, 2, 4) = smd(j, 1, 5)$$

$$smd(j, 2, 5) = -smd(j, 2, 2)$$

$$smd(j, 2, 6) = 3 * a5 * cx(i) / ll$$

$$smd(j, 3, 1) = 0$$

$$smd(j, 3, 2) = 0$$

$$smd(j, 3, 3) = 0$$

$$smd(j, 3, 4) = 0$$

$$smd(j, 3, 5) = 0$$

$$smd(j, 3, 6) = 0$$

$$smd(j, 4, 1) = smd(j, 1, 4)$$

$$smd(j, 4, 2) = smd(j, 2, 4)$$

$$smd(j, 4, 3) = smd(j, 3, 4)$$

$$smd(j, 4, 4) = smd(j, 1, 1)$$

$$smd(j, 4, 5) = smd(j, 2, 1)$$

$$smd(j, 4, 6) = -smd(j, 1, 6)$$

$$smd(j, 5, 1) = smd(j, 1, 5)$$

$$smd(j, 5, 2) = smd(j, 2, 5)$$

$$smd(j, 5, 3) = smd(j, 3, 5)$$

$$smd(j, 5, 4) = smd(j, 4, 5)$$

$$smd(j, 5, 5) = -smd(j, 5, 2)$$

$$smd(j, 5, 6) = -smd(j, 2, 6)$$

$$smd(j, 6, 1) = smd(j, 1, 6)$$

$$smd(j, 6, 2) = smd(j, 2, 6)$$

$$smd(j, 6, 3) = smd(j, 3, 6)$$

$$smd(j, 6, 4) = smd(j, 4, 6)$$

$$smd(j, 6, 5) = smd(j, 5, 6)$$

$$smd(j, 6, 6) = 3 * a5 * (1 + .5 * g5) / (\text{sqrt}(ll))$$

GOTO 985

!matriz de rigidez del elemento i con rotula en el extremo k, para ejes de la estructura

970 if (cej(j, i) .eq. 1) then

$$EE = \text{pend}(j, i) * E(j, i)$$

```

    goto 971
endif

EE = E(j, i)

971  ll= (x(kk(i)) - x(jj(i)))**2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))**2
      G4 = EE / (2 * (1 + 0.2))
      g5 = 36 * EE * ii(j, i) / (5 * G4 * a(j, i) * ll)
      a5 = EE * ii(j, i) / (1 + 2 * g5)

      smd(j, 1, 1) = (EE * a(j, i) * cx(i)**2) / (sqrt(ll)) + (3 * a5 * cy(i)**2) / ((sqrt(ll))**3)
      smd(j, 1, 2) = ((EE * a(j, i)) / (sqrt(ll)) - (3 * a5) / ((sqrt(ll))**3)) * (cx(i) * cy(i))
      smd(j, 1, 3) = -3 * a5 * cy(i) / ll
      smd(j, 1, 4) = -smd(j, 1, 1)
      smd(j, 1, 5) = -smd(j, 1, 2)
      smd(j, 1, 6) = 0
      smd(j, 2, 1) = smd(j, 1, 2)
      smd(j, 2, 2) = (EE * a(j, i) * cy(i)**2) / (sqrt(ll)) + (3 * a5 * cx(i)**2) / ((sqrt(ll))**3)
      smd(j, 2, 3) = 3 * a5 * cx(i) / ll
      smd(j, 2, 4) = smd(j, 1, 5)
      smd(j, 2, 5) = -smd(j, 2, 2)
      smd(j, 2, 6) = 0
      smd(j, 3, 1) = smd(j, 1, 3)
      smd(j, 3, 2) = smd(j, 2, 3)
      smd(j, 3, 3) = 3 * a5 * (1 + .5 * g5) / (sqrt(ll))
      smd(j, 3, 4) = -smd(j, 3, 1)
      smd(j, 3, 5) = -smd(j, 3, 2)
      smd(j, 3, 6) = 0
      smd(j, 4, 1) = smd(j, 1, 4)
      smd(j, 4, 2) = smd(j, 2, 4)
      smd(j, 4, 3) = smd(j, 3, 4)
      smd(j, 4, 4) = smd(j, 1, 1)
      smd(j, 4, 5) = smd(j, 2, 1)
      smd(j, 4, 6) = 0
      smd(j, 5, 1) = smd(j, 1, 5)
      smd(j, 5, 2) = smd(j, 2, 5)
      smd(j, 5, 3) = smd(j, 3, 5)
      smd(j, 5, 4) = smd(j, 4, 5)
      smd(j, 5, 5) = -smd(j, 5, 2)
      smd(j, 5, 6) = 0
      smd(j, 6, 1) = 0
      smd(j, 6, 2) = 0
      smd(j, 6, 3) = 0
      smd(j, 6, 4) = 0
      smd(j, 6, 5) = 0
      smd(j, 6, 6) = 0

GOTO 985

```

!matriz de rigidez del elemento i con rótula en ambos extremos, para ejes de la estructura


```

975 ll= (x(kk(i)) - x(jj(i)))**2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))**2
      G4 = E(j, i) / (2 * (1 + 0.2))
      g5 = 36 * E(j, i) * ii(j, i) / (5 * G4 * a(j, i) * ll)
      a5 = E(j, i) * ii(j, i) / (1 + 2 * g5)

      smd(j, 1, 1) = (E(j, i) * a(j, i) * cx(i)**2) / (sqrt(ll))
      smd(j, 1, 2) = (E(j, i) * a(j, i) * cx(i) * cy(i)) / (sqrt(ll))
      smd(j, 1, 3) = 0
      smd(j, 1, 4) = -smd(j, 1, 1)
      smd(j, 1, 5) = -smd(j, 1, 2)
      smd(j, 1, 6) = 0
      smd(j, 2, 1) = smd(j, 1, 2)
      smd(j, 2, 2) = (E(j, i) * a(j, i) * cy(i)**2) / (sqrt(ll))
      smd(j, 2, 3) = 0
      smd(j, 2, 4) = smd(j, 1, 5)
      smd(j, 2, 5) = -smd(j, 2, 2)
      smd(j, 2, 6) = 0
      smd(j, 3, 1) = 0
      smd(j, 3, 2) = 0
      smd(j, 3, 3) = 0
      smd(j, 3, 4) = 0
      smd(j, 3, 5) = 0
      smd(j, 3, 6) = 0
      smd(j, 4, 1) = smd(j, 1, 4)
      smd(j, 4, 2) = smd(j, 2, 4)
      smd(j, 4, 3) = 0
      smd(j, 4, 4) = smd(j, 1, 1)
      smd(j, 4, 5) = smd(j, 2, 1)
      smd(j, 4, 6) = 0
      smd(j, 5, 1) = smd(j, 1, 5)
      smd(j, 5, 2) = smd(j, 2, 5)
      smd(j, 5, 3) = 0
      smd(j, 5, 4) = smd(j, 4, 5)
      smd(j, 5, 5) = -smd(j, 5, 2)
      smd(j, 5, 6) = 0
      smd(j, 6, 1) = 0
      smd(j, 6, 2) = 0
      smd(j, 6, 3) = 0
      smd(j, 6, 4) = 0
      smd(j, 6, 5) = 0
      smd(j, 6, 6) = 0

```

GOTO 985

!matriz de rigidez del elemento i sin rótula, para ejes de la estructura

980 if (cej(j, i) .eq. 1) then

```

      EE = pend(j, i)*E(j, i)
      goto 981

```

```

endif

If (cek(j, i) .eq. 1) then

EE = pend(j, i)*E(j, i)
goto 981
endif

EE= E(j, i)

981 ll = (x(kk(i)) - x(jj(i)))**2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))**2
      G4 = EE / (2 * (1 + 0.2))
      g5 = 36 * EE * ii(j, i) / (5 * G4 * a(j, i) * ll)
      a5 = EE * ii(j, i) / (1 + 2 * g5)

smd(j, 1, 1) = (EE * a(j, i) * cx(i)**2) / (sqrt(ll)) + (12 * a5 * cy(i)**2) / ((sqrt(ll))**3)
smd(j, 1, 2) = ((EE * a(j, i)) / (sqrt(ll)) - (12 * a5) / ((sqrt(ll))**3)) * (cx(i) * cy(i))
smd(j, 1, 3) = -6 * a5 * cy(i) / ll
smd(j, 1, 4) = -smd(j, 1, 1)
smd(j, 1, 5) = -smd(j, 1, 2)
smd(j, 1, 6) = smd(j, 1, 3)
smd(j, 2, 1) = smd(j, 1, 2)
smd(j, 2, 2) = (EE * a(j, i) * cy(i)**2) / (sqrt(ll)) + (12 * a5 * cx(i)**2) / ((sqrt(ll))**3)
smd(j, 2, 3) = 6 * a5 * cx(i) / ll
smd(j, 2, 4) = smd(j, 1, 5)
smd(j, 2, 5) = -smd(j, 2, 2)
smd(j, 2, 6) = smd(j, 2, 3)
smd(j, 3, 1) = smd(j, 1, 3)
smd(j, 3, 2) = smd(j, 2, 3)
smd(j, 3, 3) = 4 * a5 * (1 + .5 * g5) / (sqrt(ll))
smd(j, 3, 4) = -smd(j, 3, 1)
smd(j, 3, 5) = -smd(j, 3, 2)
smd(j, 3, 6) = 2 * a5 * (1 - g5) / (sqrt(ll))
smd(j, 4, 1) = smd(j, 1, 4)
smd(j, 4, 2) = smd(j, 2, 4)
smd(j, 4, 3) = smd(j, 3, 4)
smd(j, 4, 4) = smd(j, 1, 1)
smd(j, 4, 5) = smd(j, 2, 1)
smd(j, 4, 6) = smd(j, 4, 3)
smd(j, 5, 1) = smd(j, 1, 5)
smd(j, 5, 2) = smd(j, 2, 5)
smd(j, 5, 3) = smd(j, 3, 5)
smd(j, 5, 4) = smd(j, 4, 5)
smd(j, 5, 5) = -smd(j, 5, 2)
smd(j, 5, 6) = smd(j, 5, 3)
smd(j, 6, 1) = smd(j, 1, 6)
smd(j, 6, 2) = smd(j, 2, 6)
smd(j, 6, 3) = smd(j, 3, 6)
smd(j, 6, 4) = smd(j, 4, 6)
smd(j, 6, 5) = smd(j, 5, 6)
smd(j, 6, 6) = smd(j, 3, 3)

```

```

! matriz de rigidez total
985 IF (jj(i) .eq. 1) THEN
    GOTO 990
    ELSE
    GOTO 995
    endif
990  p1 = 1
    GOTO 1000
995  p1 = 1
    do 997 l=1,jj(i) - 1
    p1 = p1 + 3
997  continue
1000 IF (kk(i) .eq. 1) THEN
    GOTO 1005
    ELSE
    GOTO 1010
    endif
1005 p2 = 1
    GOTO 1020
1010 p2 = 1
    do 1015 l=1,kk(i) - 1
    p2 = p2 + 3
1015 continue

1020 sj(j, p1, p1) = smd(j, 1, 1) + sj(j, p1, p1)
    sj(j, p1, p1 + 1) = smd(j, 1, 2) + sj(j, p1, p1 + 1)
    sj(j, p1, p1 + 2) = smd(j, 1, 3) + sj(j, p1, p1 + 2)
    sj(j, p1, p2) = smd(j, 1, 4) + sj(j, p1, p2)
    sj(j, p1, p2 + 1) = smd(j, 1, 5) + sj(j, p1, p2 + 1)
    sj(j, p1, p2 + 2) = smd(j, 1, 6) + sj(j, p1, p2 + 2)
    sj(j, p1 + 1, p1) = smd(j, 2, 1) + sj(j, p1 + 1, p1)
    sj(j, p1 + 1, p1 + 1) = smd(j, 2, 2) + sj(j, p1 + 1, p1 + 1)
    sj(j, p1 + 1, p1 + 2) = smd(j, 2, 3) + sj(j, p1 + 1, p1 + 2)
    sj(j, p1 + 1, p2) = smd(j, 2, 4) + sj(j, p1 + 1, p2)
    sj(j, p1 + 1, p2 + 1) = smd(j, 2, 5) + sj(j, p1 + 1, p2 + 1)
    sj(j, p1 + 1, p2 + 2) = smd(j, 2, 6) + sj(j, p1 + 1, p2 + 2)
    sj(j, p1 + 2, p1) = smd(j, 3, 1) + sj(j, p1 + 2, p1)
    sj(j, p1 + 2, p1 + 1) = smd(j, 3, 2) + sj(j, p1 + 2, p1 + 1)
    sj(j, p1 + 2, p1 + 2) = smd(j, 3, 3) + sj(j, p1 + 2, p1 + 2)
    sj(j, p1 + 2, p2) = smd(j, 3, 4) + sj(j, p1 + 2, p2)
    sj(j, p1 + 2, p2 + 1) = smd(j, 3, 5) + sj(j, p1 + 2, p2 + 1)
    sj(j, p1 + 2, p2 + 2) = smd(j, 3, 6) + sj(j, p1 + 2, p2 + 2)
    sj(j, p2, p1) = smd(j, 4, 1) + sj(j, p2, p1)
    sj(j, p2, p1 + 1) = smd(j, 4, 2) + sj(j, p2, p1 + 1)
    sj(j, p2, p1 + 2) = smd(j, 4, 3) + sj(j, p2, p1 + 2)
    sj(j, p2, p2) = smd(j, 4, 4) + sj(j, p2, p2)
    sj(j, p2, p2 + 1) = smd(j, 4, 5) + sj(j, p2, p2 + 1)
    sj(j, p2, p2 + 2) = smd(j, 4, 6) + sj(j, p2, p2 + 2)
    sj(j, p2 + 1, p1) = smd(j, 5, 1) + sj(j, p2 + 1, p1)

```

```

sj(j, p2 + 1, p1 + 1) = smd(j, 5, 2) + sj(j, p2 + 1, p1 + 1)
sj(j, p2 + 1, p1 + 2) = smd(j, 5, 3) + sj(j, p2 + 1, p1 + 2)
sj(j, p2 + 1, p2) = smd(j, 5, 4) + sj(j, p2 + 1, p2)
sj(j, p2 + 1, p2 + 1) = smd(j, 5, 5) + sj(j, p2 + 1, p2 + 1)
sj(j, p2 + 1, p2 + 2) = smd(j, 5, 6) + sj(j, p2 + 1, p2 + 2)
sj(j, p2 + 2, p1) = smd(j, 6, 1) + sj(j, p2 + 2, p1)
sj(j, p2 + 2, p1 + 1) = smd(j, 6, 2) + sj(j, p2 + 2, p1 + 1)
sj(j, p2 + 2, p1 + 2) = smd(j, 6, 3) + sj(j, p2 + 2, p1 + 2)
sj(j, p2 + 2, p2) = smd(j, 6, 4) + sj(j, p2 + 2, p2)
sj(j, p2 + 2, p2 + 1) = smd(j, 6, 5) + sj(j, p2 + 2, p2 + 1)
sj(j, p2 + 2, p2 + 2) = smd(j, 6, 6) + sj(j, p2 + 2, p2 + 2)

```

1025 continue

1030 continue

!matriz de rigidez reducida

```

do 1045 k=1,np
do 1040 i=1,3 * nn - 3 * nemp
do 1035 j=1,3 * nn - 3 * nemp
b(k, i, j) = sj(k, i, j)
1035 continue
1040 continue
1045 continue

```

!matriz identidad

```

do 1060 k=1,np
do 1055 i=1,(3 * nn - 3 * nemp)
do 1050 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
ID(k, i, j) = 0
1050 continue
1055 continue
1060 continue

```

```

do 1070 j=1,np
do 1065 i=1,3 * nn - 3 * nemp
ID(j, i, i) = 1
1065 continue
1070 continue

```

!inversa de la matriz reducida

```

do 1110 k=1,np
do 1090 l=1,(3 * nn - 3 * nemp)
p = b(k, l, l)
IF (p .eq. 0) THEN

```

```

GOTO 2000
endif

```

```

        do 1075 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
          b(k, l, j) = b(k, l, j) / p
          ID(k, l, j) = ID(k, l, j) / p
1075 continue
          IF (l .eq. (3 * nn - 3 * nemp)) THEN
            GOTO 1090
          endif
          do 1085 i=1,(3 * nn - 3 * nemp - l)
            p = -b(k, i + l, l)
            do 1080 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
              b(k, i + l, j) = p * b(k, l, j) + b(k, i + l, j)
              ID(k, i + l, j) = p * ID(k, l, j) + ID(k, i + l, j)
1080 continue
1085 continue
1090 continue

```

```

          p1 = 0
          do 1105 l=(3 * nn - 3 * nemp),1,-1
            IF (l .eq. 1) THEN
              GOTO 1105
            endif
            p1 = p1 + 1
            do 1100 i=(3 * nn - 3 * nemp - p1),1,-1
              p = -b(k, i, l)
              do 1095 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
                b(k, i, j) = p * b(k, l, j) + b(k, i, j)
                ID(k, i, j) = p * ID(k, l, j) + ID(k, i, j)
1095 continue
1100 continue
1105 continue
1110 continue

```

!vector de acciones combinadas

```

          do 1112 k=1,np
            do 1111 i=1,3 * nn
              AC(k, i) = AE(k, i)
1111 continue
1112 continue

```

! "desplazamientos de los nudos no empotrados"

```

          !desplazamientos de los nudos no empotrados,para ejes de la estructura
          do 1116 k=1,np
            do 1113 i=1,3 * nn
              DP(k, i) = 0
1113 continue
            do 1115 i=1,(3 * nn - 3 * nemp)
              do 1114 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
                DP(k, i) = ID(k, i, j) * AC(k, j) + DP(k, i)
1114 continue

```

ANEXO

```
1115 continue
1116 continue
```

!reacciones de los nudos empotrados, para ejes de la estructura

```
!1143 do 1160 k=1,np
1117 do 1160 k=1,np
    if (cpr(k) .eq. 1) then
        goto 1160
    endif

        do 1145 i=1,3 * nn
            R(k, i) = 0
1145 continue
            do 1155 i=(3 * nn - 3 * nemp + 1),3 * nn
                do 1150 j=1,3 * nn
                    R(k, i) = sj(k, i, j) * DP(k, j) + R(k, i)
1150 continue
1155 continue
1160 continue
```

!acciones de extremo en las vigas y columnas, para ejes del elemento

```
do 1305 j=1,np

IF (cpr(j) .eq. 1) then
    goto 1305
endif

do 1300 i=1,ne

IF (cej(j, i) + cek(j, i) .eq. 6) THEN
    GOTO 1195
endif

IF (cej(j, i) + cek(j, i) .eq. 4) THEN

    if (cej(j, i) .eq. 3) then
        GOTO 1230
    else
        goto 1265
    endif
endif

IF (cej(j, i) + cek(j, i) .eq. 3) THEN
    if (cej(j, i) .eq. 3) then
        GOTO 1230
    else
        goto 1265
    endif
```

```

endif
endif

IF (cej(j, i) + cek(j, i) .eq. 2) THEN
  GOTO 1164
endif

IF (cej(j, i) + cek(j, i) .eq. 1) THEN

  GOTO 1164

endif

```

!acciones de extremo del elemento sin rótula

```

1164 IF (jj(i) .eq. 1) THEN
  GOTO 1165
  ELSE
  GOTO 1170
endif
1165 p1 = 1
  GOTO 1175
1170 p1 = 1
  do 1173 l=1,jj(i) - 1
  p1 = p1 + 3
1173 continue
1175 IF (kk(i) .eq. 1) THEN
  GOTO 1180
  ELSE
  GOTO 1185
endif
1180 p2 = 1
  GOTO 1190
1185 p2 = 1
  do 1187 l=1,kk(i) - 1
  p2 = p2 + 3
1187 continue

1190 if (cej(j, i) .eq. 1) then

  EE= pend(j, i)*E(j, i)
  goto 1191
endif

If (cek(j, i) .eq. 1) then

  EE= pend(j, i)*E(j, i)
  goto 1191
endif

EE= E(j, i)

```

```

1191 ll= (x(kk(i)) - x(jj(i)))**2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))**2
      G4 = EE / (2 * (1 + 0.2))
      g5 = 36 * EE * ii(j, i) / (5 * G4 * a(j, i) * ll)
      a5 = EE * ii(j, i) / (1 + 2 * g5)

```

```

      AM(j, i, 1) = (EE * a(j, i) / (sqrt(ll))) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) + (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cy(i))

```

```

      AM(j, i, 2) = (12 * a5 / (sqrt(ll))**3) * (-(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cx(i)) + (6 * a5 / ll) * (DP(j, p1 + 2) + DP(j, p2 + 2))

```

```

      AM(j, i, 3) = (6 * a5 / ll) * (-(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) - DP(j, p2 + 1))
* cx(i)) + (4 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 + 0.5 * g5) * DP(j,p1 + 2) + (2 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 - g5) *
DP(j,p2 + 2)

```

```

      AM(j, i, 4) = (EE * a(j, i) / (sqrt(ll))) * (-(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) - (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cy(i))

```

```

      AM(j, i, 5) = (12 * a5 / (sqrt(ll))**3) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) - (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cx(i)) - (6 * a5 / ll) * (DP(j, p1 + 2) + DP(j, p2 + 2))

```

```

      AM(j, i, 6) = (6 * a5 / ll) * (-(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) - DP(j, p2 + 1))
* cx(i)) + (4 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 + .5 * g5) * DP(j,p2 + 2) + (2 * a5 / (SQRT(ll))) * (1 - g5) *
DP(j,p1 + 2)

```

GOTO 1300

!acciones de extremo del elemento con dos rótulas

```

1195 IF (jj(i) .eq. 1) THEN
      GOTO 1200
      ELSE
      GOTO 1205
      endif

```

```

1200 p1 = 1
      GOTO 1210

```

```

1205 p1 = 1
      do 1207 l=1, jj(i) - 1
      p1 = p1 + 3

```

```

1207 continue
1210 IF (kk(i) .eq. 1) THEN
      GOTO 1215

```

```

      ELSE
      GOTO 1220
      endif

```

```

1215 p2 = 1
      GOTO 1225

```

```

1220 p2 = 1
      do 1223 l=1, kk(i) - 1
      p2 = p2 + 3

```

```

1223 continue

```

```

1225 AM(j, i, 1) = (E(j, i) * a(j, i) / (sqrt(ll))) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) + (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cy(i))

```

```

      AM(j, i, 2) = 0

```



```

      AM(j, i, 3) = 0
      AM(j, i, 4) = (E(j, i) * a(j, i) / (sqrt(II))) * -(DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) - (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cy(i)
      AM(j, i, 5) = 0
      AM(j, i, 6) = 0

```

```

      GOTO 1300

```

!acciones de extremo del elemento con rótula en el extremo j

```

1230 IF (jj(i) .eq. 1) THEN
      GOTO 1235
      ELSE
      GOTO 1240
      endif
1235 p1 = 1
      GOTO 1245
1240 p1 = 1
      do 1243 l=1, jj(i) - 1
      p1 = p1 + 3
1243 continue
1245 IF (kk(i) .eq. 1) THEN
      GOTO 1250
      ELSE
      GOTO 1255
      endif
1250 p2 = 1
      GOTO 1260
1255 p2 = 1
      do 1258 l=1, kk(i) - 1
      p2 = p2 + 3
1258 continue

1260 If (cek(j, i) .eq. 1) then

      EE= pend(j, i)*E(j, i)
      goto 1261
      endif

      EE= E(j, i)

1261 ll= (x(kk(i)) - x(jj(i)))**2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))**2
      G4 = EE / (2 * (1 + 0.2))
      g5 = 36 * EE * ii(j, i) / (5 * G4 * a(j, i) * ll)
      a5 = EE * ii(j, i) / (1 + 2 * g5)

      AM(j, i, 1) = (EE * a(j, i) / (sqrt(II))) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) + (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cy(i))

```

$$\begin{aligned}
 AM(j, i, 2) &= (3 * a5 / (\text{sqrt}(ll))^{**3}) * ((-DP(j, p1) + DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) \\
 &- DP(j, p2 + 1)) * cx(i)) + (3 * a5 / ll) * DP(j, p2 + 2) \\
 AM(j, i, 3) &= 0 \\
 AM(j, i, 4) &= (EE * a(j, i) / (\text{sqrt}(ll))) * (-DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) - (DP(j, p1 + 1) \\
 &- DP(j, p2 + 1)) * cy(i) \\
 AM(j, i, 5) &= (3 * a5 / (\text{sqrt}(ll))^{**3}) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (-DP(j, p1 + 1) \\
 &+ DP(j, p2 + 1)) * cx(i)) - (3 * a5 / ll) * DP(j, p2 + 2) \\
 AM(j, i, 6) &= (3 * a5 / ll) * ((-DP(j, p1) + DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) - DP(j, p2 + \\
 &1)) * cx(i)) + (3 * a5 / (\text{sqrt}(ll))) * (1 + 0.5 * g5) * DP(j, p2 + 2)
 \end{aligned}$$

GOTO 1300

!acciones de extremo del elemento con rótula en el extremo k

```

1265 IF (jj(i) .eq. 1) THEN
      GOTO 1270
      ELSE
      GOTO 1275
      endif
1270 p1 = 1
      GOTO 1280
1275 p1 = 1
      do 1278 l=1, jj(i) - 1
         p1 = p1 + 3
1278 continue
1280 IF (kk(i) .eq. 1) THEN
      GOTO 1285
      ELSE
      GOTO 1290
      endif
1285 p2 = 1
      GOTO 1295
1290 p2 = 1
      do 1293 l=1, kk(i) - 1
         p2 = p2 + 3
1293 continue

1295 if (cej(j, i) .eq. 1) then

      EE= pend(j, i)*E(j, i)
      goto 1296
      endif

      EE= E(j, i)

1296 ll= (x(kk(i)) - x(jj(i)))**2 + (y(kk(i)) - y(jj(i)))**2
      G4 = EE / (2 * (1 + 0.2))
      g5 = 36 * EE * ii(j, i) / (5 * G4 * a(j, i) * ll)
      a5 = EE * ii(j, i) / (1 + 2 * g5)

```

```

      AM(j, i, 1) = (EE * a(j, i) / (sqrt(l))) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cx(i) + (DP(j, p1 + 1)
- DP(j, p2 + 1)) * cy(i))
      AM(j, i, 2) = (3 * a5 / (sqrt(l)**3)) * ((-DP(j, p1) + DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) -
DP(j, p2 + 1)) * cx(i)) + (3 * a5 / l) * DP(j, p1 + 2)
      AM(j, i, 3) = (3 * a5 / l) * ((-DP(j, p1) + DP(j, p2)) * cy(i) + (DP(j, p1 + 1) - DP(j, p2
+ 1)) * cx(i)) + (3 * a5 / (SQRT(l))) * (1 + 0.5 * g5) * DP(j, p1 + 2)
      AM(j, i, 4) = (EE * a(j, i) / (sqrt(l))) * ((-DP(j, p1) + DP(j, p2)) * cx(i) + (-DP(j, p1 + 1) +
DP(j, p2 + 1)) * cy(i))
      AM(j, i, 5) = (3 * a5 / (sqrt(l)**3)) * ((DP(j, p1) - DP(j, p2)) * cy(i) + (-DP(j, p1 + 1) +
DP(j, p2 + 1)) * cx(i)) - (3 * a5 / l) * DP(j, p1 + 2)
      AM(j, i, 6) = 0

```

1300 continue

1305 continue

!*** Conjunto de Rótulas Plásticas No", g + 1, "****"

qq=0

!hallamos el factor de carga lambda mínimo

do 1365 k=1,np

```

      If (cpr(k) .eq. 1) then
      goto 1365
      endif

```

do 1360 i=1,ne

```

      IF (AM(k, i, 3) .eq. 0) THEN
      GOTO 1310
      endif

```

```

      IF (dj$(k, i) .eq. "falla") THEN
      GOTO 1310
      endif

```

```

      if (dj$(k, i) .eq. "fluencia") then
      goto 1308
      endif

```

```

      lambdaj(k, i) = (Mpj(k, i) - ABS(AMP(k, i, 3))) / ABS(AM(k, i, 3))
      goto 1315

```

1308 lambdaj(k, i) = (Mfj(k, i) - ABS(AMP(k, i, 3))) / ABS(AM(k, i, 3))

goto 1315

1310 lambdaj(k, i) = 1E+30

ANEXO

```
1315  if (AM(k, i, 6) .eq. 0) THEN
      GOTO 1320
      endif

      IF (dk$(k, i) .eq. "falla") THEN

          GOTO 1320
          endif

      if (dk$(k, i) .eq. "fluencia") then

          goto 1317
          endif

      lambdak(k, i) = (Mpk(k, i) - ABS(AMP(k, i, 6))) / ABS(AM(k, i, 6))
      goto 1325

1317  lambdak(k, i) = (Mfk(k, i) - ABS(AMP(k, i, 6))) / ABS(AM(k, i, 6))

      goto 1325

1320  lambdak(k, i) = 1E+30

1325  IF (lambdaj(k, i) .lt. lambdak(k, i)) THEN

      GOTO 1330
      ELSE
      GOTO 1335
      endif

1330  qq = lambdaj(k, i)
      b$ = "j"

      GOTO 1340
1335  qq = lambdak(k, i)
      b$ = "k"

      GOTO 1340
1340  IF (i .eq. 1) THEN

      lamb(k)= qq
      bb(k) = i
      c$(k) = b$

      GOTO 1360

      endif

1345  IF (qq .lt. lamb(k)) THEN

      lamb(k) = qq
```

ANEXO

```
        c$(k) = b$  
        bb(k) = i  
    endif
```

```
1360 continue  
1365 continue
```

!hallamos el lambda mínimo de todos los lamb# mínimos de los pórticos

```
    a10 = 0  
    do 1383 j=1,np  
  
        if (cpr(j) .eq. 1) then  
            goto 1383  
        endif  
  
        a10 = a10 + 1  
  
        IF (a10 .eq. 1) THEN  
            GOTO 1370  
        ELSE  
            GOTO 1375  
        endif  
1370 qq = lamb(j)  
    h = j  
        GOTO 1383  
1375 IF (lamb(j) .gt. qq) THEN  
    GOTO 1383  
        endif  
        qq = lamb(j)  
        h = j  
1383 continue  
    a10 = 0
```

!pórtico= h: elemento= bb(h): extremo= c\$(h): lambda min= lamb(h)

```
    do 1394 j=1,np  
  
        if (cpr(j) .eq. 1) then  
            goto 1394  
        endif  
  
    do 1393 i=1,ne  
  
        IF (dj$(j, i) .eq. "falla") THEN  
            GOTO 1388  
        endif  
        if (dj$(j, i) .eq. "fluencia") THEN
```

```
        goto 1386
      endif

      if (lambdaj(j, i) .eq. qq) THEN
        GOTO 1384
      ELSE
        GOTO 1385
      endif

1384  dj$(j, i) = "fluencia"
      cej(j, i) = 1
      goto 1388

1385  dj$(j, i) = "elástico"
      cej(j, i) = 0
      goto 1388

1386  if (lambdaj(j, i) .eq. qq) THEN
        GOTO 1387
      ELSE
        GOTO 1388
      endif

1387  dj$(j, i) = "falla"
      cej(j, i) = 3

1388  IF (dk$(j, i) .eq. "falla") THEN
        GOTO 1393
      endif
      if (dk$(j, i) .eq. "fluencia") THEN
        goto 1391
      endif

      if (lambdak(j, i) .eq. qq) THEN
        GOTO 1389
      ELSE
        GOTO 1390
      endif

1389  dk$(j, i) = "fluencia"
      cek(j, i) = 1
      goto 1393

1390  dk$(j, i) = "elástico"
      cek(j, i) = 0
      goto 1393
```

```

1391  if (lambdak(j, i) .eq. qq) THEN
      GOTO 1392
      ELSE
      GOTO 1393
      endif

```

```

1392  dk$(j, i) = "falla"
      cek(j, i) = 3

```

```

1393  continue
1394  continue

```

! "desplazamientos, multiplicados por lambda minimo"

```

do 1435 k=1,np

      if (cpr(k) .eq. 1) then
      goto 1435
      endif

      do 1430 i=1,3 * nn
      DPP1(k, i) = DP(k, i) * lamb(h)
1430 continue
1435 continue

do 1450 k=1,np

      if (cpr(k) .eq. 1) then
      goto 1450
      endif

do 1445 i=(3 * nn - 3 * nemp + 1),3 * nn
do 1440 j=1,3 * nn
RP1(k, i) = R(k, i) * lamb(h)
1440 continue
1445 continue
1450 continue

```

! "acciones de extremo multiplicadas por lambda min"

```

do 1460 k=1,np

      if (cpr(k) .eq. 1) then
      goto 1460
      endif

```

```

!write(2,*) "***pórtico No**",k
do 1455 i=1,ne
AMP1(k, i, 1) = AM(k, i, 1) * lamb(h)
AMP1(k, i, 2) = AM(k, i, 2) * lamb(h)
AMP1(k, i, 3) = AM(k, i, 3) * lamb(h)

```

```

AMP1(k, i, 4) = AM(k, i, 4) * lamb(h)
AMP1(k, i, 5) = AM(k, i, 5) * lamb(h)
AMP1(k, i, 6) = AM(k, i, 6) * lamb(h)

```

```

1455 continue
1460 continue

```

```

a10 = 0

```

```

!vector de acciones externas, multiplicadas por lambda minimo
do 1470 k=1,np

```

```

    if (cpr(k) .eq. 1) then
        goto 1470
    endif

```

```

do 1465 i=1,3 * nn
    AEP1(k, i) = AE(k, i) * lamb(h)
    a10 = AEP1(k, i) + a10

```

```

1465 continue
1470 continue

```

```

    !La cortante basal es acumulada y guardada

```

```

    CB(g + 1) = CB(g) + a10

```

```

!calculo de valores acumulados No g

```

```

do 1480 k=1,np

```

```

    if (cpr(k) .eq. 1) then
        goto 1480
    endif

```

```

do 1475 i=1,3 * nn
    DP(k, i) = DPP1(k, i) + DPP(k, i)
1475 continue
1480 continue

```

```

do 1490 k=1,np

```

```

    if (cpr(k) .eq. 1) then
        goto 1490
    endif

```

```

do 1485 i=1,ne
    AM(k, i, 1) = AMP(k, i, 1) + AMP1(k, i, 1)
    AM(k, i, 2) = AMP(k, i, 2) + AMP1(k, i, 2)
    AM(k, i, 3) = AMP(k, i, 3) + AMP1(k, i, 3)
    AM(k, i, 4) = AMP(k, i, 4) + AMP1(k, i, 4)

```



```

    AM(k, i, 5) = AMP(k, i, 5) + AMP1(k, i, 5)
    AM(k, i, 6) = AMP(k, i, 6) + AMP1(k, i, 6)
1485 continue
1490 continue

```

!cambio de posición de los valores acumulados, desplaz y acciones externas

```

do 1504 k=1,np

    if (cpr(k) .eq. 1) then
        goto 1504
    endif

    do 1503 i=1,3 * nn
        DPP(k, i) = DP(k, i)
1503 continue
1504 continue

```

!El desplazamiento del techo es guardado

```

    DT(g + 1) = abs(DPP(npdt, 1 + (nndt - 1) * 3))

do 1510 k=1,np

    if (cpr(k) .eq. 1) then
        goto 1510
    endif

do 1505 i=1,ne
    AMP(k, i, 1) = AM(k, i, 1)
    AMP(k, i, 2) = AM(k, i, 2)
    AMP(k, i, 3) = AM(k, i, 3)
    AMP(k, i, 4) = AM(k, i, 4)
    AMP(k, i, 5) = AM(k, i, 5)
    AMP(k, i, 6) = AM(k, i, 6)
1505 continue
1510 continue

```

!reacciones acumulados, para ejes de la estructura No",g

```

do 1535 k=1,np

    if (cpr(k) .eq. 1) then
        goto 1535
    endif

do 1530 i=(3 * nn - 3 * nemp + 1),3 * nn
do 1525 j=1,3 * nn
    R(k, i) = RP(k, i) + RP1(k, i)
1525 continue
1530 continue
1535 continue

```

!cambio de valores de las reacciones acumuladas

```
do 1545 k=1,np  
  
    if (cpr(k) .eq. 1) then  
        goto 1545  
    endif  
  
    do 1540 i=1,3 * nn  
        RP(k, i) = R(k, i)  
1540 continue  
1545 continue
```

!vector de cargas horizontales acumulados

```
do 1640 k=1,np  
  
    if (cpr(k) .eq. 1) then  
        goto 1640  
    endif  
  
    do 1637 i=1,3 * nn  
        AE(k, i) = AEP(k, i) + AEP1(k, i)  
  
1637 continue  
1640 continue
```

!cambio de valores de las reacciones acumuladas

```
do 1642 k=1,np  
  
    if (cpr(k) .eq. 1) then  
        goto 1642  
    endif  
  
    do 1641 i=1,3 * nn  
        AEP(k, i) = AE(k, i)  
1641 continue  
1642 continue
```

qq = 0

zz = g + 1

!se veirfica si el desplazamiento deseado es rebazado

```
if ( DT(g + 1).gt. dhtd) then  
    goto 2155  
endif  
  
1655 continue
```

1660 GOTO 2155

2000 do 2152 k=1,np

```

    if (cpr(k) .eq. 1) then
      goto 2152
    endif

```

!identificación de los nudos con giro cero

do 2020 i=3,(3 * nn - 3 * nemp),3

IF (sj(k, i, i) .eq. 0) THEN

GOTO 2005

ELSE

GOTO 2020

endif

2005 do 2010 l=1,(3 * nn - 3 * nemp)

IF (sj(k, l, i) .eq. 0) THEN

GOTO 2010

ELSE

GOTO 2020

endif

2010 continue

do 2015 l=1,(3 * nn - 3 * nemp)

IF (sj(k, i, l) .eq. 0) THEN

GOTO 2015

ELSE

GOTO 2020

endif

2015 continue

gc(k, i) = 1

2020 continue

!hallamos el número de nudos con giro cero

gcc(k) = 0

do 2030 i=3,(3 * nn - 3 * nemp),3

IF (gc(k, i) .eq. 1) THEN

GOTO 2025

ELSE

GOTO 2030

endif

2025 gcc(k) = gcc(k) + 1

2030 continue

!un nuevo arreglo de la matriz de rigidez reducida

a8 = 0

a1 = 0

a2 = 0

f = 0

do 2060 i=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))

```

IF (a2 .eq. 1) THEN
  GOTO 2045
endif
IF (gc(k, i) .eq. 1) THEN
  GOTO 2045
endif
do 2040 j=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))
IF (a1 .eq. 1) THEN
  GOTO 2035
endif
IF (gc(k, j) .eq. 1) THEN
  GOTO 2035
endif
b(k, i, j) = sj(k, i, j)
  GOTO 2040
2035 a8 = a8 + gc(k, j)
  b(k, i, j) = sj(k, i, j + a8)
  a1 = 1
2040 continue
  a1 = 0
  a8 = 0

  GOTO 2060

2045 f = f + gc(k, i)
do 2055 j=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))
IF (a1 .eq. 1) THEN
  GOTO 2050
endif
IF (gc(k, j) .eq. 1) THEN
  GOTO 2050
endif
b(k, i, j) = sj(k, i + f, j)
  GOTO 2055
2050 a8 = a8 + gc(k, j)
  b(k, i, j) = sj(k, i + f, j + a8)
  a1 = 1

2055 continue
  a8 = 0
  a1 = 0
  a2 = 1

2060 continue

!matriz identidad
do 2070 i=1,(3 * nn - 3 * nemp)
do 2065 j=1,(3 * nn - 3 * nemp)
  ID(k, i, j) = 0
2065 continue

```

2070 continue

```

do 2075 i=1,(3 * nn - 3 * nemp)
  ID(k, i, i) = 1
2075 continue

```

! inversa de la matriz reducida

```

do 2090 l=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))
  p = b(k, l, l)
  IF (p .eq. 0) THEN
    GOTO 2080
  ELSE
    GOTO 2085
  endif
2080 cpr(k) = 1

    GOTO 2150
2085 do 2081 j=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))
  b(k, l, j) = b(k, l, j) / p
  ID(k, l, j) = ID(k, l, j) / p
2081 continue
  IF (l .eq. (3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))) THEN
    GOTO 2090
  endif
do 2083 i=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k) - l)
  p = -b(k, i + l, l)
do 2082 j=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))
  b(k, i + l, j) = p * b(k, l, j) + b(k, i + l, j)
  ID(k, i + l, j) = p * ID(k, l, j) + ID(k, i + l, j)
2082 continue
2083 continue
2090 continue

```

```

p1 = 0
do 2105 l=(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k)),1,-1
  IF (l .eq. 1) THEN
    GOTO 2105
  endif
  p1 = p1 + 1
do 2100 i=(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k) - p1),1,-1
  p = -b(k, i, l)
do 2095 j=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))
  b(k, i, j) = p * b(k, l, j) + b(k, i, j)
  ID(k, i, j) = p * ID(k, l, j) + ID(k, i, j)
2095 continue
2100 continue
2105 continue

```

! un nuevo arreglo del vector de acciones externas en los nudos

```

a8 = 0
  a1 = 0
do 2115 j=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))
IF (a1 .eq. 1) THEN
  GOTO 2110
endif
IF (gc(k, j) .eq. 1) THEN
  GOTO 2110
endif
AC1(k, j) = AE(k, j)
  GOTO 2115
2110 a8 = a8 + gc(k, j)
  AC1(k, j) = AE(k, j + a8)
  a1 = 1
2115 continue

```

!desplazamientos de los nudos no empotrados en el nuevo arreglo

```

do 2120 i=1,3 * nn
DP2(k, i) = 0
2120 continue
do 2130 i=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))
do 2125 j=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))
DP2(k, i) = ID(k, i, j) * AC1(k, j) + DP2(k, i)
2125 continue
2130 continue

```

!desplazamientos de los nudos no empotrados en su posicion original

```

do 2135 i=1,3 * nn
DP(k, i) = 0
2135 continue

```

```

a8 = 0
do 2145 i=1,(3 * nn - 3 * nemp - gcc(k))

IF (a1 .eq. 1) THEN
  GOTO 2140
endif
IF (gc(k, i) .eq. 1) THEN
  GOTO 2140
endif

DP(k, i) = DP2(k, i)
  GOTO 2145
2140 a8 = a8 + gc(k, i)
  DP(k, i + a8) = DP2(k, i)
  a1 = 1
2145 continue

2150 cpr = 0
do 2151 xx = 1,np

```

ANEXO

```
2151   cpr = cpr(xx) + cpr  
      continue
```

```
      if (cpr .eq. np) then  
        goto 2155  
      endif
```

```
2152 continue
```

```
      GOTO 1117
```

Impresión de los resultados

```
2155 write(2,*) " "  
      write(2,*) "-----"  
      write(2,*) "Datos Para la Curva Pushover"  
      write(2,*) "-----"  
      write(2,*) "Desplazamiento del Techo (cm)"
```

```
      do 2160 i=1,zz  
        write(2,*) DT(i)  
2160 continue
```

```
      write(2,*) "Cortante Basal (ton)"
```

```
      do 2165 i=1,zz  
        write(2,*) CB(i)/1000  
2165 continue  
22000 end
```

ANEXO

! MOMENTO - GIRO PARA SECCIONES DE CONCRETO ARMADO

! unidades: kg-cm

! Declaración y dimensionamiento de las variables

integer nc, g, ww, ss

real(8) alfa, gamma, a, bb, kd(15000), esy, esi(60), ecm, Fsi(60), Si(60), R, PP(15000), e,

f, MM, MMM, M(50), fi(50)

real(8) ff, tt, di(60), Asi(60), d, b, Fsy, Fc, eco, ecu, h, P, lp

! Inicio de la lectura de datos

open(1,FILE='momcur1.dat')

!ingreso del número de capas de acero

read(1,*) nc

!ingreso de los di del las capas de acero

do 10 i=1, nc

read (1,*) di(i)

10 continue

!ingreso de las áreas de acero de las diferentes capas

do 20 i=1, nc

read (1,*) Asi(i)

20 continue

!ingreso de: d, b (ancho de la viga), h, Fsy (esfuerzo de fluencia del acero), esy, Fc (f'c),

eco, ecu

read(1,*) d, b, h, Fsy, esy, Fc, eco, ecu

ANEXO

!ingreso de la carga axial P

read(1,*) P

!ingreso de la longitud de la rótula lp

read(1,*) lp

!Fin de ingreso de datos e inicio de los cálculos

open(2,FILE='momcur1.out')

write (2,*) " "

write (2,*) "=====

write (2,*) " Momento - Giro de Secciones de Concreto Armado "

write (2,*) " por: Ing. Julio Edwin Delgadillo Alanya "

write (2,*) " Universidad Nacional de Ingeniería "

write (2,*) " 2005 "

write (2,*) "=====

a = ecu / 50

ww = 0

do 300 i = 1 , 50

ww = 1 + ww

ff = ff + a

ecm = ff

if (ecm .gt. eco) then

goto 1040

else

goto 40

ANEXO

end if

40 $\text{alfa} = \text{ecm}/\text{eco} - (\text{ecm}^{**2})/(\text{3}*(\text{eco}^{**2}))$

$\text{gamma} = 1 - ((2*(\text{ecm}^{**3})/(\text{3}*\text{eco})) - ((\text{ecm}^{**4})/(\text{4}*(\text{eco}^{**2})))) / (((\text{ecm}^{**3}) / \text{eco}) - ((\text{ecm}^{**4})/(\text{3}*(\text{eco}^{**2}))))$

!valores tentativos para kd

$\text{bb} = \text{d} / 15000$

$\text{tt} = 0$

$\text{ss} = 0$

do 200 j = 1, 15000

$\text{tt} = \text{tt} + \text{bb}$

$\text{ss} = 1 + \text{ss}$

$\text{kd}(\text{ss}) = \text{tt}$

!hallamos esfuerzos Fsi de los aceros en todas las capas

do 80 k = 1, nc

if (di(k) .lt. kd(ss)) then

$\text{esi}(\text{k}) = - \text{ecm} * (\text{kd}(\text{ss}) - \text{di}(\text{k})) / (\text{kd}(\text{ss}))$

else

$\text{esi}(\text{k}) = + \text{ecm} * (\text{di}(\text{k}) - \text{kd}(\text{ss})) / (\text{kd}(\text{ss}))$

end if

60 if (abs(esi(k)) .gt. esy) then

if (esi(k) .gt. 0) then

$\text{Fsi}(\text{k}) = \text{Fsy}$

else

$\text{Fsi}(\text{k}) = - \text{Fsy}$

end if

ANEXO

else

$F_{si}(k) = F_{sy} * \epsilon_{si}(k) / \epsilon_{sy}$

end if

80 continue

!hallamos las fuerzas en los aceros de las diferentes capas

do 90 k = 1, nc

$S_i(k) = F_{si}(k) * A_{si}(k)$

90 continue

!hallamos la resultante de fuerzas

$R = 0$

do 100 k = 1, nc

$R = R + S_i(k)$

100 continue

$PP(ss) = -\alpha * F_c * b * k_d(ss) + R$

200 continue

!hallamos el kd correcto

do 210 k = 1, 15000

$e = \text{abs}(P - PP(k))$

if (k .eq. 1) then

f = e

g = k

else

if (e .lt. f) then

f = e

g = k

ANEXO

end if

end if

210 continue

!hallamos esfuerzos Fsi de los aceros en todas las capas, para kd correcto

do 220 k = 1, nc

if (di(k) .lt. kd(g)) then

esi(k) = - ecm * (kd(g) - di(k)) / (kd(g))

else

esi(k) = + ecm * (di(k)-kd(g)) / (kd(g))

end if

if (abs(esi(k)) .gt. esy) then

if (esi(k) .gt. 0) then

Fsi(k) = Fsy

else

Fsi(k) = - Fsy

end if

else

Fsi(k) = Fsy * esi(k) / esy

end if

220 continue

!hallamos momento para kd hallado

MMM = 0

do 240 k = 1 , nc

if (h/2 .gt. di(k)) then

MM = abs(Fsi(k)*Asi(k))*(h/2 - di(k))

MMM = MM + MMM

ANEXO

else

$MM = \text{abs}(F_{si}(k) * A_{si}(k)) * (d_i(k) - h/2)$

$MMM = MM + MMM$

end if

240 continue

$M(w_w) = \alpha * F_c * b * k_d(g) * (h/2 - \gamma * k_d(g)) + MMM$

!hallamos giro

$f_i(w_w) = (e_{cm} / k_d(g)) * I_p$

300 continue

goto 2000

1040 $\alpha = (1/e_{cm}) * (-e_{co}/3 + e_{cm} - 50 * (e_{cm}^{**2}) + 100 * e_{co} * e_{cm} - 50 * (e_{co}^{**2}))$

$\gamma = 1 - ((-1/12) * (e_{co}^{**2}) + 0.5 * (e_{cm}^{**2}) - (100/3) * (e_{cm}^{**3}) + 50 * e_{co} * (e_{cm}^{**2}) - (50/3) * (e_{co}^{**3})) / (e_{cm} * e_{co}^{**2}/3 + e_{cm} * (e_{cm} - 50 * (e_{cm}^{**2}) + 100 * e_{co} * e_{cm} - e_{co} - 50 * (e_{co}^{**2})))$

!valores tentativos para kd

$bb = d / 15000$

$tt = 0$

$ss = 0$

do 1200 j = 1, 15000

$tt = tt + bb$

$ss = 1 + ss$

$k_d(ss) = tt$

!hallamos esfuerzos Fsi de los aceros en todas las capas

do 1080 k = 1, nc

if (d_i(k) .lt. k_d(ss)) then

ANEXO

$esi(k) = - ecm * (kd(ss) - di(k)) / (kd(ss))$

else

$esi(k) = + ecm * (di(k) - kd(ss)) / (kd(ss))$

end if

1060 if (abs(esi(k)) .gt. esy) then

if (esi(k) .gt. 0) then

$Fsi(k) = Fsy$

else

$Fsi(k) = - Fsy$

end if

else

$Fsi(k) = Fsy * esi(k) / esy$

end if

1080 continue

!hallamos las fuerzas en los aceros de las diferentes capas

do 1090 k = 1, nc

$Si(k) = Fsi(k) * Asi(k)$

1090 continue

!hallamos la resultante de fuerzas

$R = 0$

do 1100 k = 1, nc

$R = R + Si(k)$

1100 continue

$PP(ss) = -alfa * Fc * b * kd(ss) + R$

1200 continue

!hallamos el kd correcto

```
do 1210 k = 1, 15000
```

```
e = abs(P - PP(k))
```

```
if (k .eq. 1) then
```

```
f = e
```

```
g = k
```

```
else
```

```
if (e .lt. f) then
```

```
f = e
```

```
g = k
```

```
end if
```

```
end if
```

```
1210 continue
```

!imprimimos la carga axial para kd hallado

```
write (2,*) " "
```

```
write (2,*) "carga axial PP ", ww
```

```
write (2,*) PP(g)
```

!hallamos esfuerzos Fsi de los aceros en todas las capas, para kd correcto

```
do 1220 k = 1, nc
```

```
if (di(k) .lt. kd(g)) then
```

```
esi(k) = - ecm * (kd(g) - di(k)) / (kd(g))
```

```
else
```

```
esi(k) = + ecm * (di(k)-kd(g)) / (kd(g))
```

```
end if
```

ANEXO

if (abs(esi(k)) .gt. esy) then

if (esi(k) .gt. 0) then

Fsi(k) = Fsy

else

Fsi(k) = - Fsy

end if

else

Fsi(k) = Fsy * esi(k) / esy

end if

1220 continue

!hallamos momento para kd hallado

MMM = 0

do 1240 k = 1 , nc

if (h/2 .gt. di(k)) then

MM = abs(Fsi(k)*Asi(k))*(h/2 - di(k))

MMM = MM + MMM

else

MM = abs(Fsi(k)*Asi(k))*(di(k) - h/2)

MMM = MM + MMM

end if

1240 continue

M(ww) = alfa * Fc * b * kd(g) * (h/2 - gamma * kd(g)) + MMM

!hallamos giro

fi(ww) = (ecm / kd(g)) * lp

1300 goto 300


```
2000 write (2,*) " "  
    write (2,*) "===== "  
    write (2,*) " Momento - Giro  "  
    write (2,*) "===== "  
    write (2,*) " "  
    write (2,*) "Momento (Ton - m)"  
    write (2,*) " "  
do 2010 i = 1, 50  
    write (2,*) M(i)/100000  
2010 continue  
    write (2,*) " "  
    write (2,*) "Giro (rad)"  
    write (2,*) " "  
    do 2020 i = 1, 50  
        write (2,*) fi(i)  
2020 continue  
2050 end
```

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI-PERU “Norma Peruana de Estructuras”, Capítulo Peruano del American Concrete Institute -Segunda Edición 2001
2. ATC 40, “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, by Applied Technology Council – California. 1996.
3. Bazzurro, P. “Probabilistic Seismic Demand Analysis”, tesis PhD en la Universidad de Universidad de Stanford –setiembre 1998
4. Clough, R. W.; Penzien, J. “Dinamics of Structures”, McGraw-Hill 1975, printed in the United States of America
5. FEMA 356 , “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, by American Society of Civil Engineers, Washington, D.C. 2000.
6. Hamburger, R. O. “A Framework For Performanced Based Earthquake Resistive Design “, Journal of Structural Engineering, ASCE,1999
7. Harmsen, T. E. “Diseño de Estructuras de Concreto Armado”, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. 1997.
8. Nilesh Shome. “Probabilistic Seismic Demand Análisis of Nonlinear Structures”, tesis PhD en la Universidad de Stanford –marzo 1999
9. Paulay, T. “Seismic Design of Concrete Structures ,The Present Need of Societies”, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering , New Zealand 1996.
10. Paz, M. “Dinámica Estructural”, Editorial Reverté S.A. 1992 , impreso en México.
11. Priestley, M. J. N. “Performance Based Seismic Design”, Journal of Structural Engineering, ASCE,2000
12. SEAOC (1995), “Performance Based Seismic Engineering of Buildings”, tomo I y II, preparado por la Asociación de Ingenieros estructurales de California, comité Visión 2000
13. Vamvatsikos, D. Cornell, C. A. “Incremental Dinamic Análisis”, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, CA 94305-4020, U.S.A.
14. Vasquez Chicata, L. “Análisis y Diseño Inelástico de Estructuras Aporticadas”, Centro Peruano Japonés de Investigaciones sísmicas y Mitigación de Desastres. 1998
15. Williams, M. S.; Villemure, I., and Sexsmith, R. G., “Evaluation of Seismic Damage Indices for Concrete Element”, Journal of Structural Engineering, ASCE,1997
- 16 Chen, W. F.; Sohal, I. “Plastic Desing and Second-Order Analysis of Steel Frames”.

17 Gere, J. M. "Análisis de Estructuras Aporticadas". Compañía editorial Continental S. A. Quinta impresión, mayo de 1976, México.

18 Kardestuncer, H. "Introducción al Análisis Estructural con Matrices". McGraw Hill de México S. A. 1974

19. Bertero, R. D. "Diseño Sismorresistente Basado en la Performance"

20. Guía del usuario del IDARC 2D (Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Structures

21. Sencico, "Norma Técnica de Edificación E-030" – Lima 02 de abril del 2003

Las láminas A-01 y E-01 del proyecto "Edificio destinados a departamentos" están disponibles en el formato físico de la tesis.