

DISEÑO SISMICO POR CAPACIDAD PARA EDIFICIOS DE VARIOS NIVELES. ANÁLISIS DEL MODELO TIPO PANEL-VIGA-NUDO

RESOLUCIÓN NUMÉRICA DE PÓRTICOS ROTULADOS-PROCEDIMIENTO APROXIMADO

Ing Civil L. H. Noguera.-Prof. Dpto. Aplicadas UNLaRioja -FAUDI y FCEfyN-UNCba.-

Arq. Alejandra Palmieri.- Prof. FAUDI-UNCba.-

RESUMEN

El presente trabajo es continuidad de uno anterior (Jornadas IXX AIE-2008-Trabajo 36) donde se analizaron las columnas extremas. El procedimiento a emplear y desarrollar será similar a aquel análogo para tener unidad en el tratamiento general de estos elementos estructurales. Anteriormente se propuso un procedimiento rápido para obtener las solicitaciones últimas empleadas en el diseño por capacidad en zona sísmica partiendo de un ejemplo práctico de un edificio de arquitectura al cual se le planteó un esquema estructural para poder cuantificar con el procedimiento propuesto y así al final poder comparar resultados mediante elementos finitos (considerados exactos). Idénticamente se propone en esta oportunidad la misma metodología y tratamiento.-

Se presenta un proceso aproximado para resolver numéricamente pórticos rotulados y manualmente que se estima será útil en la etapa del predimensionado estructural.

ABSTRACT

The present document is the continuation of a previous one (J IXX AIE-2008-Document 36) where the extreme columns were analyzed. Therefore the procedure to use and develop will be similar to the document named above to have unity in the general treatment of these structured elements. Recently proposed a rapid method to obtain the latest solicitations employed in the capacity design in seismic zone based on a practical example of architectural building which was proposed a structural scheme to quantify the proposed procedure and thus the end to compare results using finite element (considered accurate). Identically proposed in this opportunity the same methodology and treatment.- We present an approximate process to solve numerically frames with plastic rotations and manually that is expected to be useful in structural predimensioning stage.

Teniendo en cuenta:

1- Colapso y mecanismos de colapso

Atento al aspecto del colapso que presentan los pórticos rotulados (figura 1)



Figura 1

- Tales como son esquematizados en la Figura 2 a, Figura 2c, Figura 3a y Figura 3b (Figura 3a y 3b corresponden a caso práctico de aplicación)

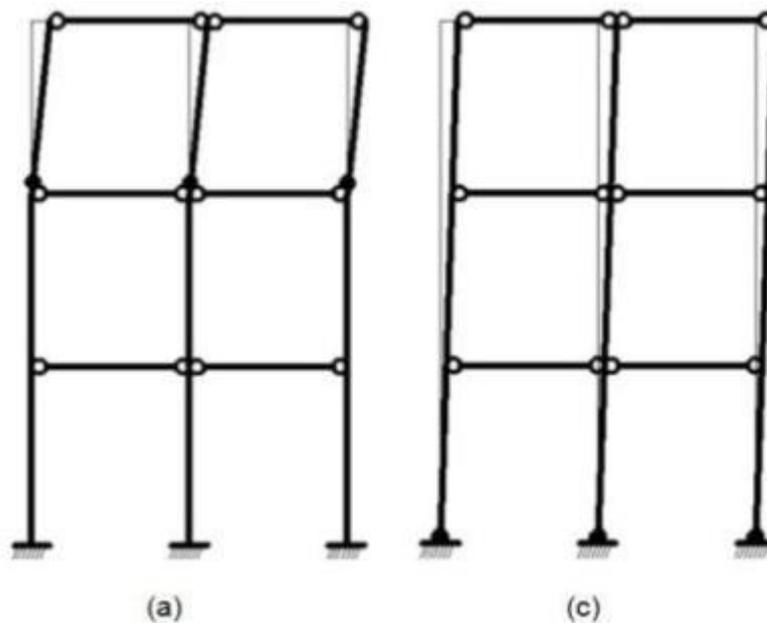


Figura 2

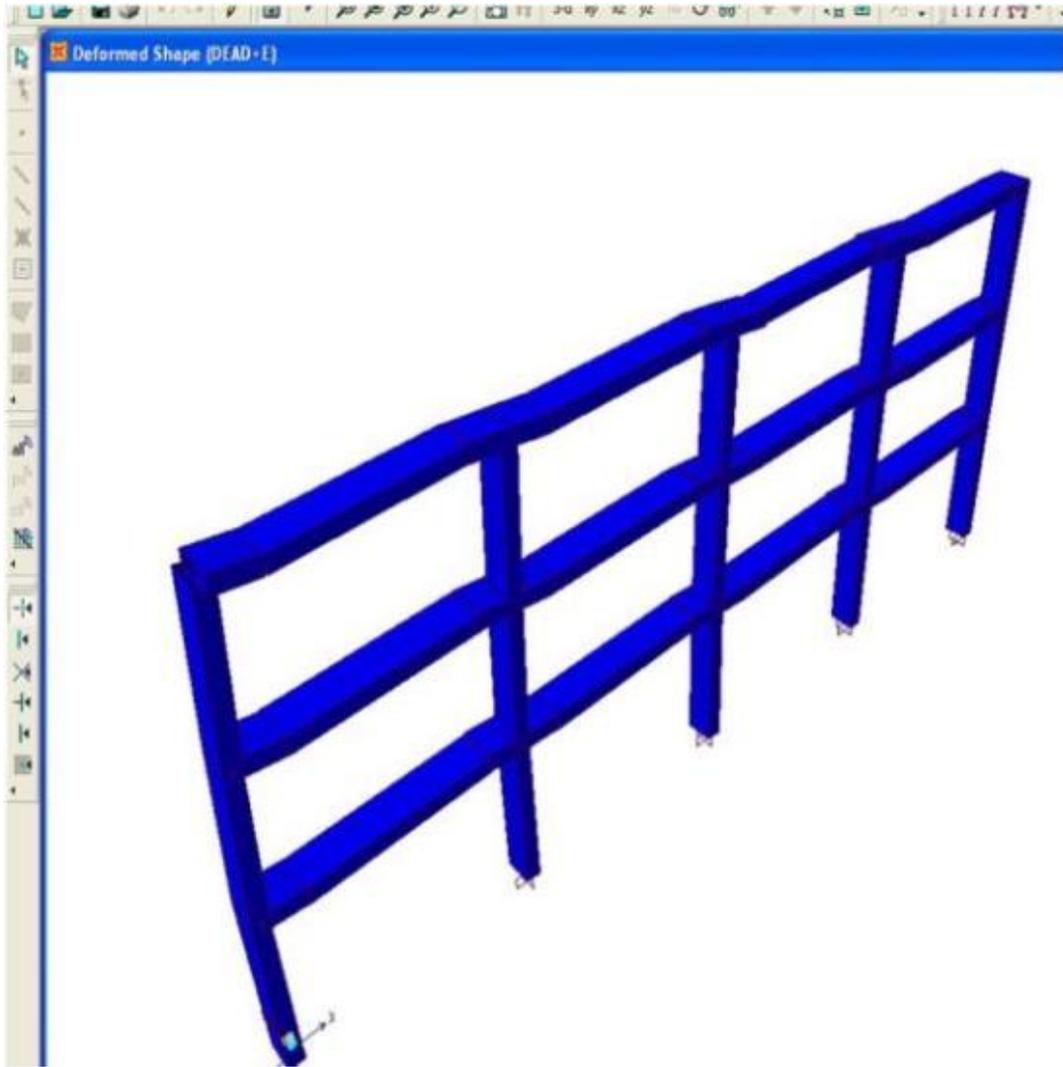


Figura 3a

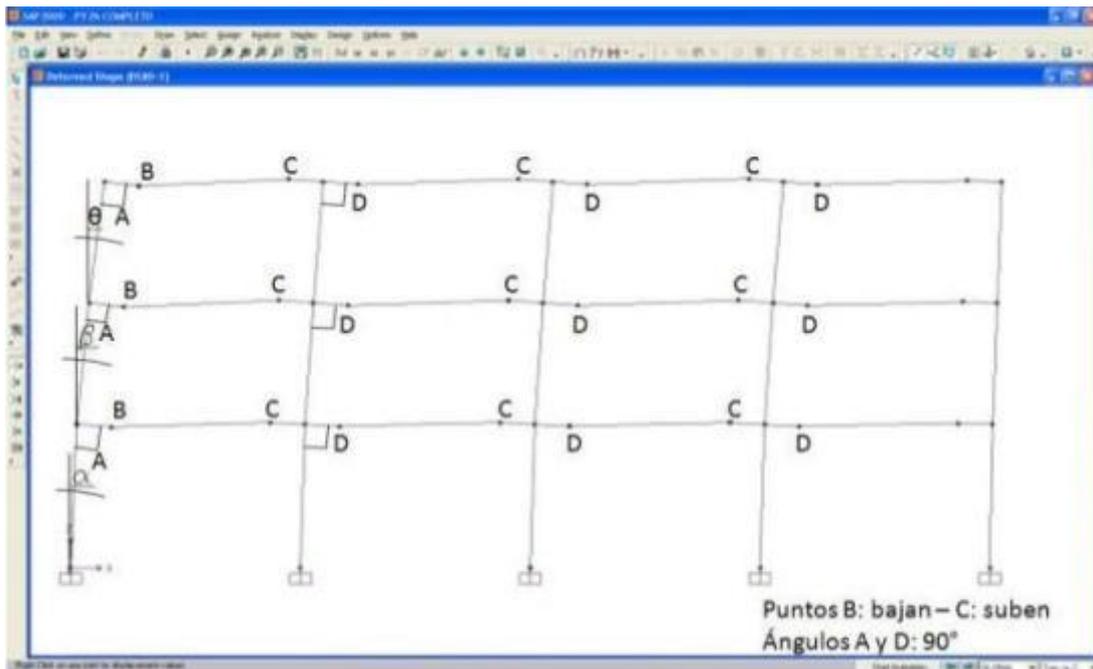


Figura 3b

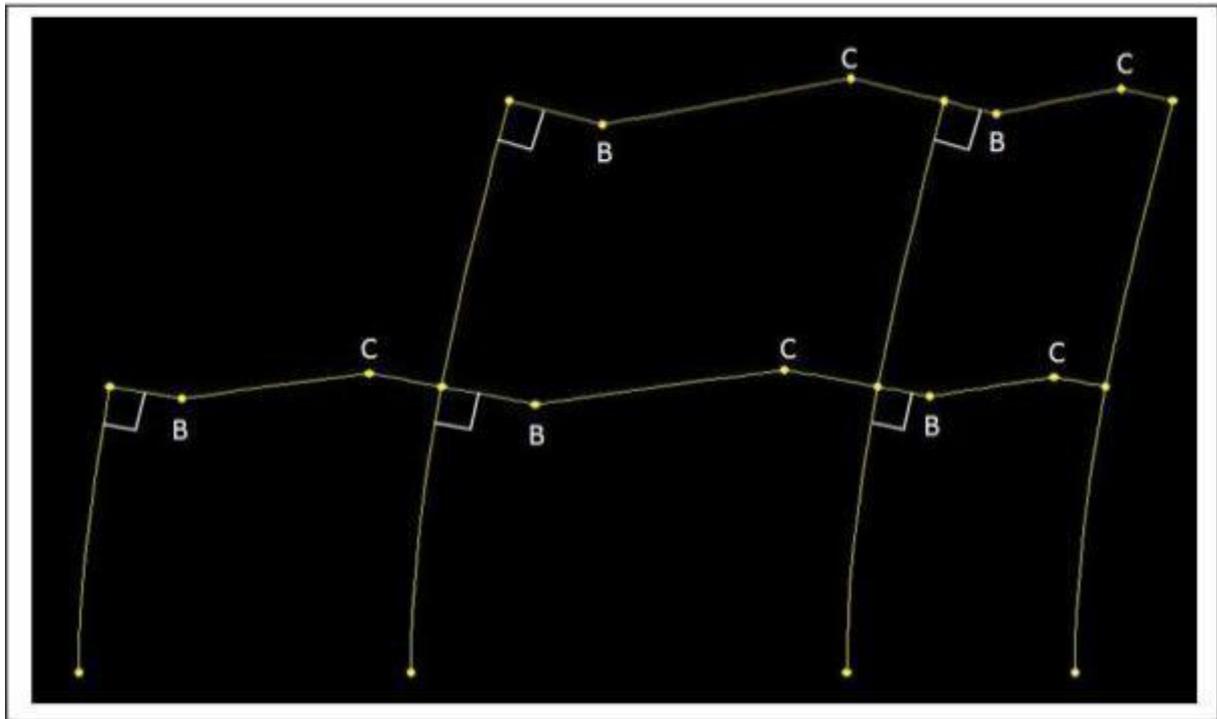


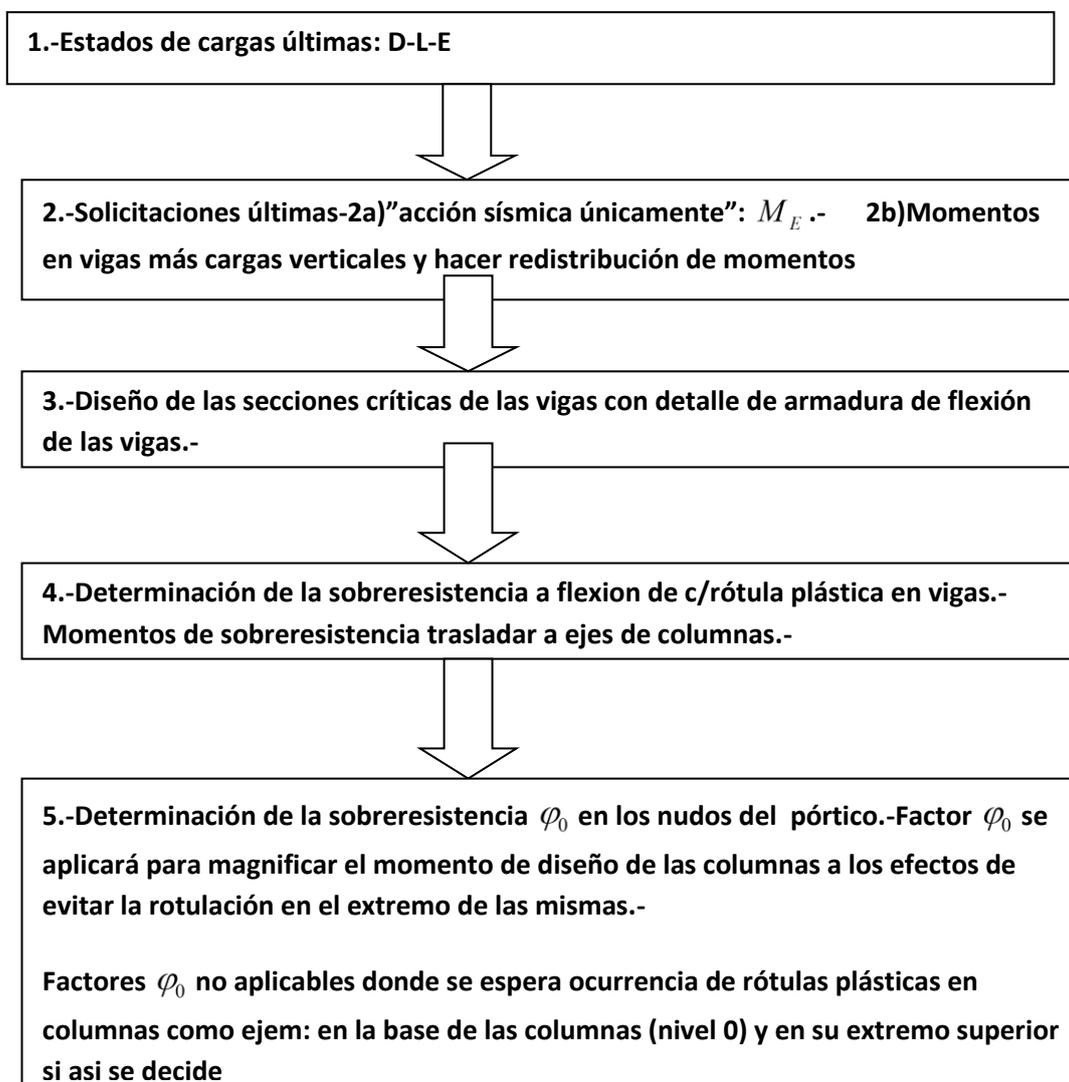
Figura 4

Teniendo en cuenta que por lo general las estructuras de los edificios tienen grandes deformaciones plásticas y que siempre se movilizará la capacidad flexional de las vigas que concurren a un nudo ante el terremoto que se tome de diseño y que por lo tanto esa capacidad flexional de las vigas deberán ser absorbidas por las secciones superior e inferior de las columnas, es que se elabora lo que se conoce como diseño por capacidad.-

Reconociendo que el diseño por capacidad es un método o proceso de diseño, de verificación y donde el diseño preliminar (predimensionado) debe ser tenido en cuenta para que el desarrollo del mismo no sea extenso: se entiende que puede considerarse desde el inicio los mecanismos de redistribución de momentos comentado, con una aproximación más real y simple del problema.-

El problema será analizado tomando como hipótesis de partida las deformadas en vigas anteriormente presentadas.

Es conocido que el proceso se inicia y desarrolla con un análisis que el siguiente esquema pretende sintetizar y hasta el alcance de éste trabajo



El presente trabajo va a actuar en el bloque 2 del proceso anterior y se lo va a considerar como si fuera un predimensionado directo y ejecutado de manera manual (mediante trabajo virtual). Luego se verá que el mismo tendrá como fundamento el hecho de que tendrá en cuenta la formación de las rótulas en vigas.- Los momentos producidos por Dy L se obtuvieron por coeficientes del ACI.

2- La observación de las deformadas (Figura 3 y Figura 4)

En donde se reconoce que puntos del pórtico como los "B" bajan y los "C" suben, además de que se tiene en todos los niveles el giro θ , por lo que se analizará las deformadas:

2.1-“Tipo panel” (para todo el pórtico).-Asociado al giro θ y el corrimiento delta (Figura 5a)

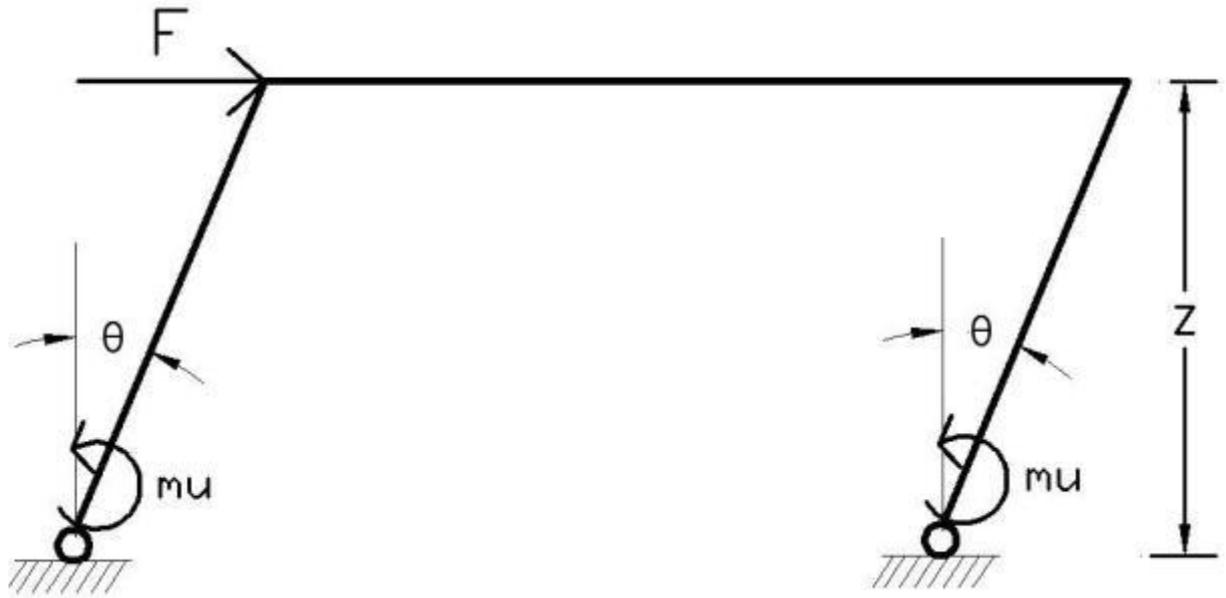


Figura 5a Mecanismo tipo panel

Se destaca el principio de los trabajos virtuales para este caso es:

$$2 m_u \cdot \theta = F \cdot \Delta$$

$$2 m_u \cdot \theta = F \cdot \theta \cdot Z$$

$$m_u = \frac{F \cdot Z}{2} \tag{1}$$

2.2.-“Tipo viga” para las vigas que conforman el pórtico: donde y como antes se dijo hay rótulas que “bajan” (descienden) y otras que “suben” (ascienden). Figura 5b y Figura 5c.

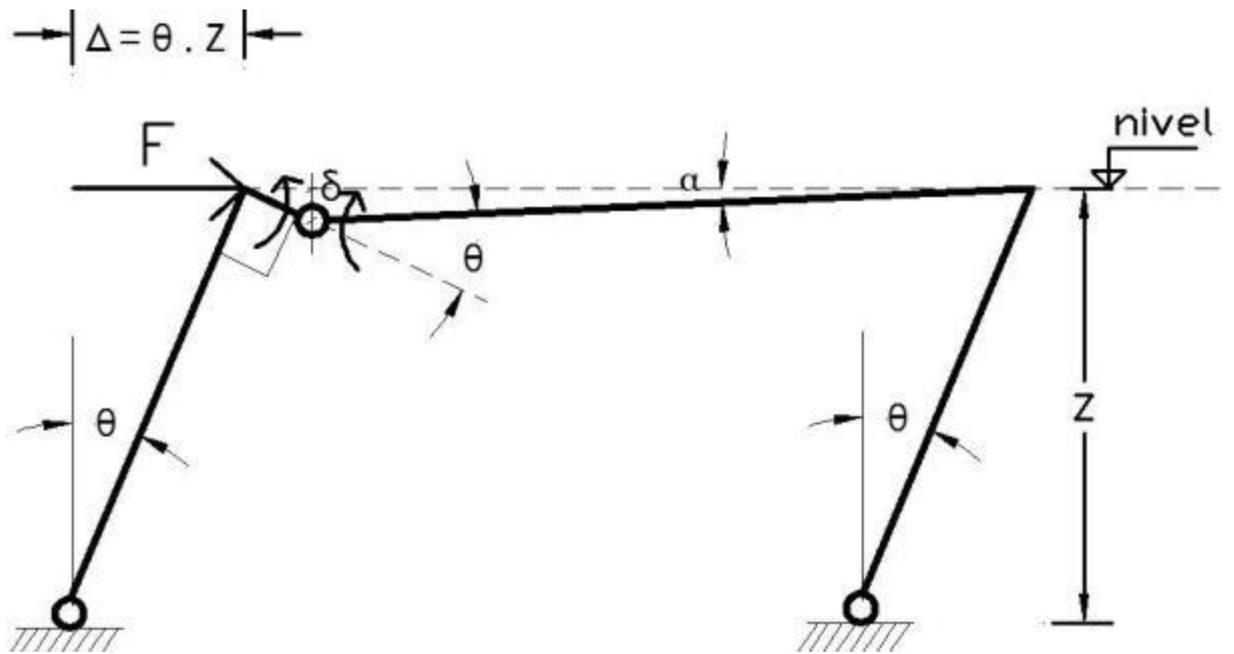


Figura 5b. Mecanismo de panel y viga 1

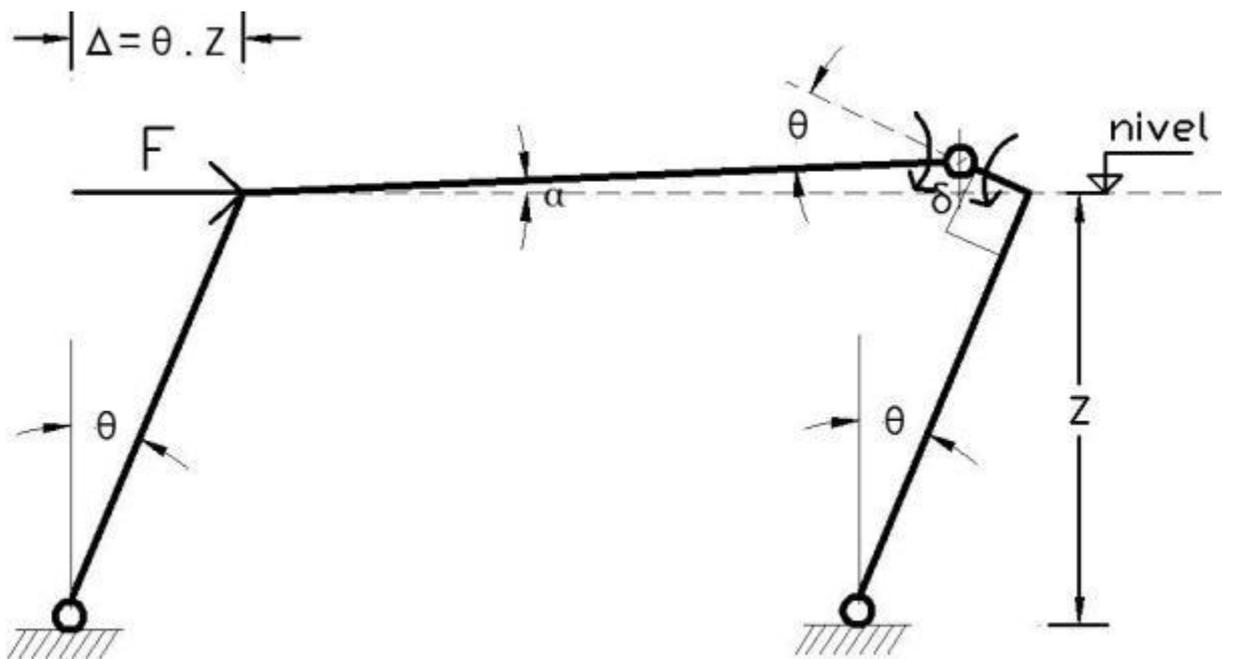


Figura 5c. Mecanismo de panel y viga 2

2.3.-"Tipo combinado" o "compuesto" (Figura 5d)

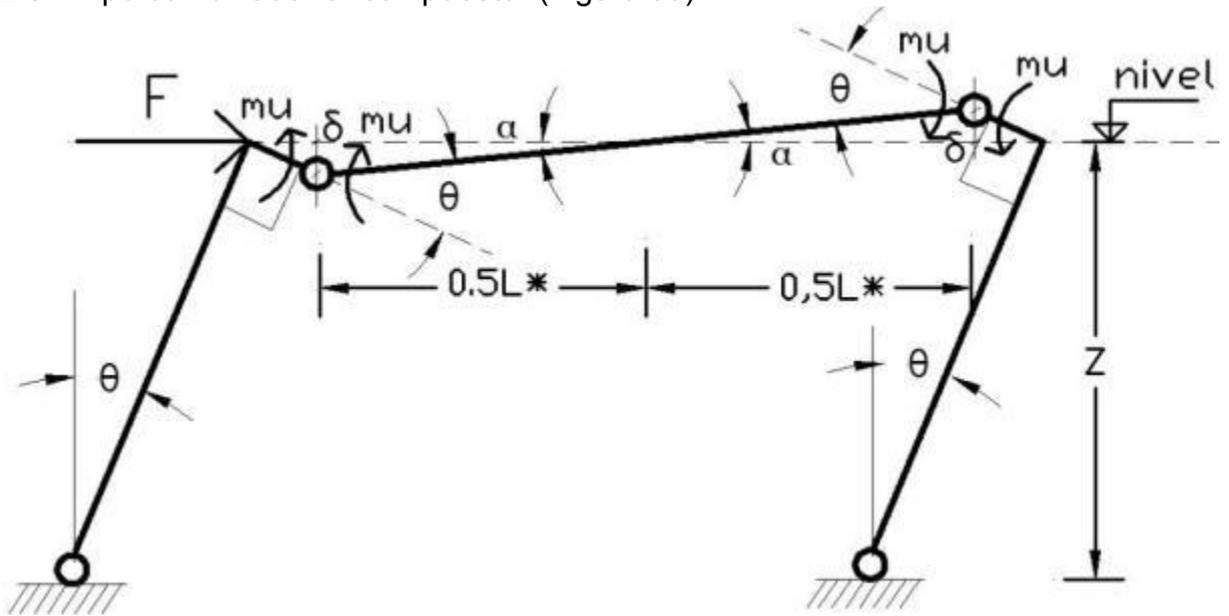


Figura 5d. Mecanismo compuesto o combinado (a aplicar)

Reconocer que el comportamiento de la estructura luego de la formación de las rótulas plásticas en las secciones de las vigas donde las mismas se encuentran (ahora ya conocidas en las estructuras de hormigón armado y según prescripta por la reglamentación CIRSOC) puede analizarse directamente suponiendo los momentos plásticos que denominaremos

μ_u (extremos izquierdos y derechos de vigas)

actuantes en los extremos donde concurren los nudos rotulados y para el caso propuesto de pórticos regulares como el que se analizará como ejemplo a medida que se avance en éste trabajo

El cálculo de los momentos últimos μ_u , o también denominados momentos plásticos, se hará por trabajos virtuales ya que dado lo anterior (conocimiento donde se van a formar las rótulas plásticas) resulta muy simple su determinación dando un desplazamiento (descenso y giro) virtual, y en el comportamiento de cuerpo rígido al mecanismo formado por las rótulas que estarán en equilibrio a través del momento plástico.-

Por todo y según lo anterior se tendrá una deformada o mecanismo combinado: panel-viga (Figura 5d) que sirve como de hipótesis a aplicar.

3- Para el mecanismo "tipo combinado" general del pórtico múltiple (Figura 3b).

Se tiene el giro θ que nivel a nivel da los correspondientes desplazamientos $(\theta \cdot Z_i)$.

4- Para el mecanismo “tipo combinado” (Figura 6)

Se tiene la ubicación de las rótulas plásticas en vigas como luego se indicará.
 Se pretende obtener el Momento último plástico (μu) mediante trabajos virtuales.

La geometría y las cargas

Como se dijo para el mecanismo combinado panel viga se tendrá: (Figura 6)

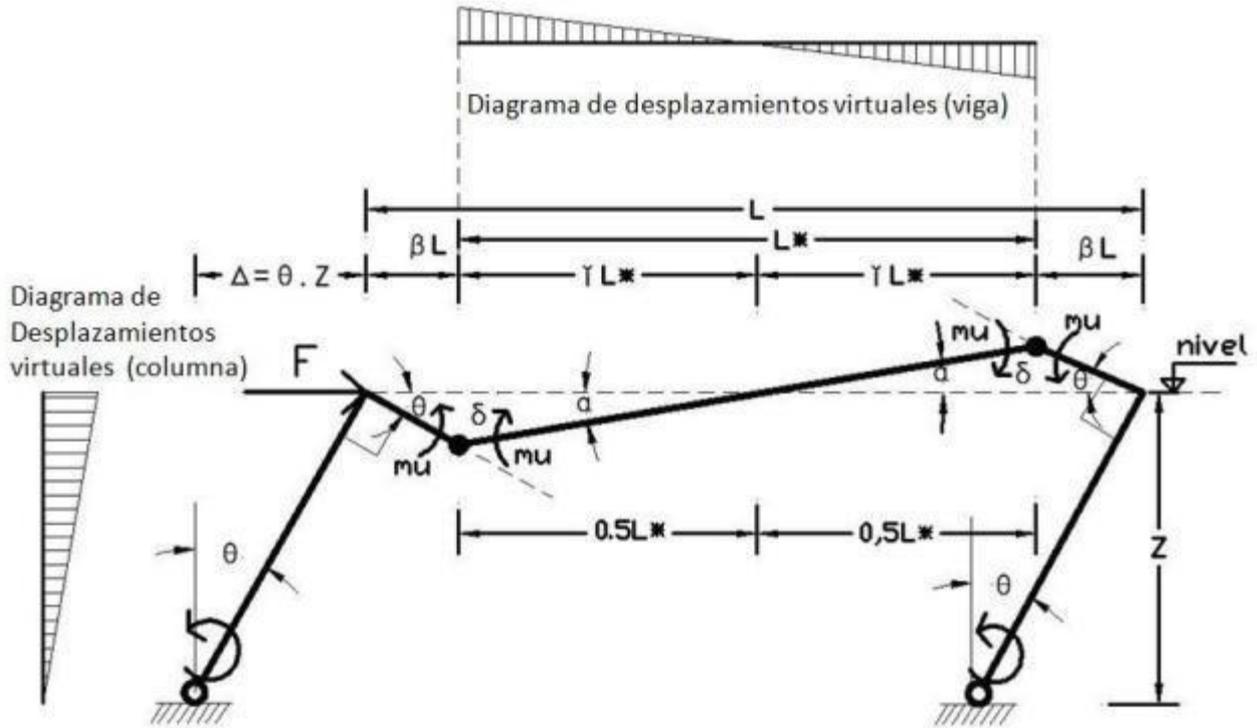


Figura 6

Caso del Ejemplo de aplicación propuesto (Figura 3a-Figura 3b) se obtiene:

L (m)	L* (m)	m = L/L*	0,5L* (m)	0,15L (m)	0,7L (m)
5,00	3,50	1,43	1,75	0,75	3,50

Tabla 1

Relaciones geométricas:

$$a = \frac{\delta}{0,35 \cdot L} ; \theta = \frac{\delta}{0,15 \cdot L} ; \theta = \frac{\Delta}{Z} \quad (2)$$

Reconocer que punto A “baja” y punto C “sube”

Adoptar : β entre 0,15 y 0,20 L. En el ejemplo propuesto $\beta = 0,15 L$; $L^*=3,50m$

y en el ejemplo propuesto $0,35 L=0,35 \cdot 5,00=1,75$; $m=L/L^*=5,00/3,50=1,43$

5- La metodología de análisis propuesta (Figura 7a y Figura 7b). Caso de pórticos múltiples.

Para un pórtico rotulado, como el que luego se usará como ejemplo, los esquemas que siguen pretenden indicar el procedimiento a seguir.

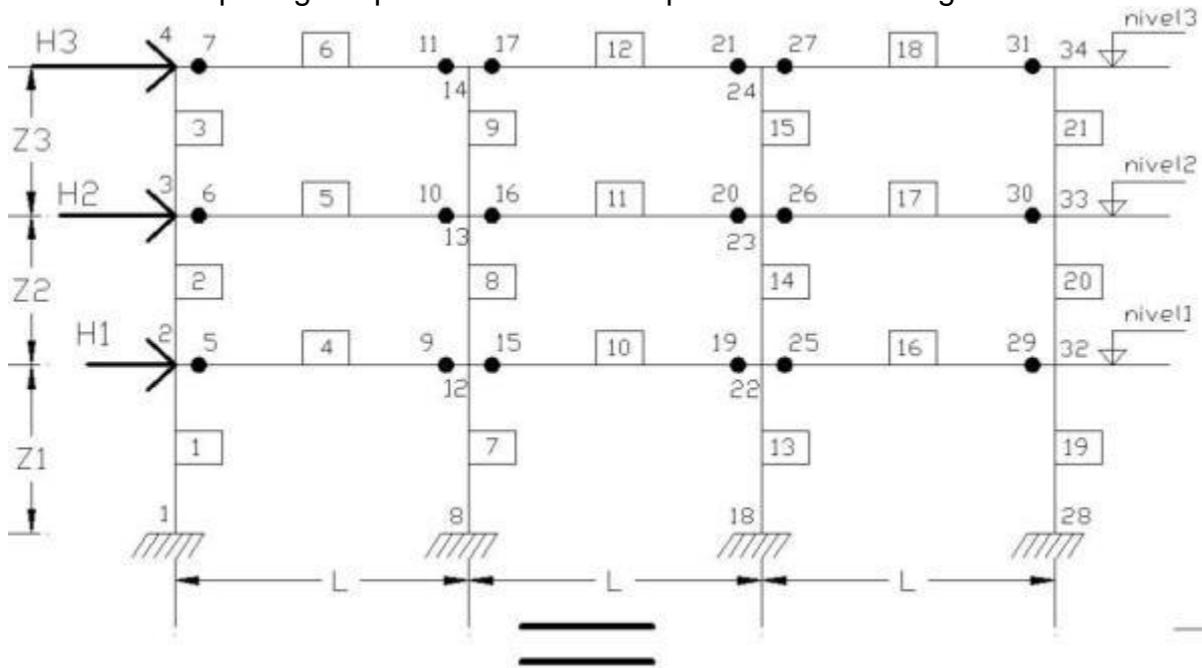
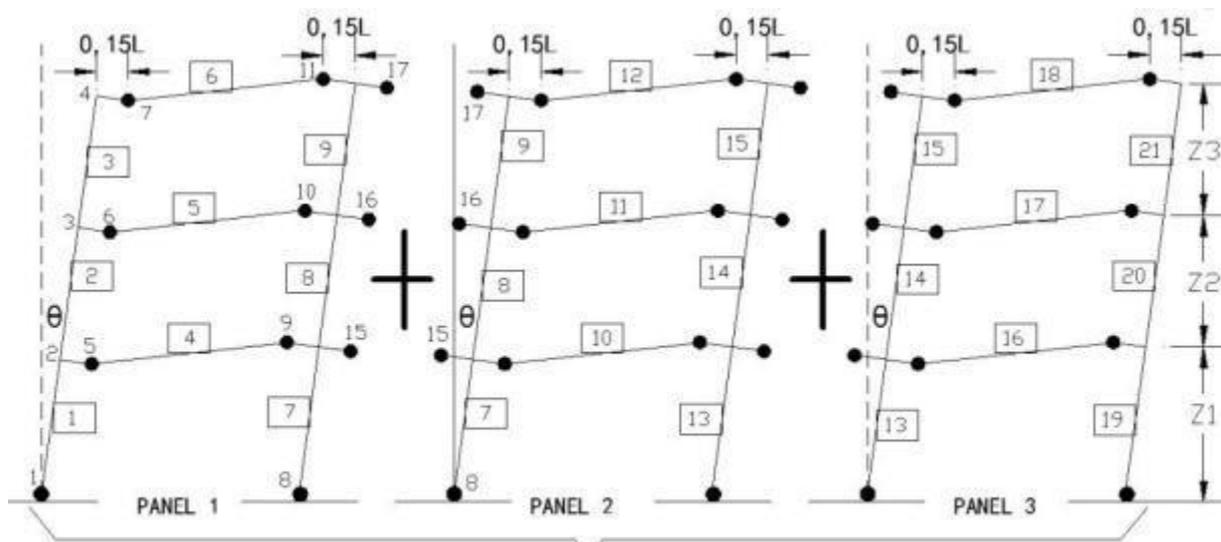


Figura 7a



Tres (3) paneles en tres niveles cada uno
Figura 7b

En donde

5.1- Las rótulas en vigas exteriores e interiores se ubican a (0,15 - 0,20) de la luz (L) a partir del extremo exterior como antes se indicó. Caso de aplicación a 0,15L.

5.2- La fuerza cortante de cada entpiso es la correspondiente al nivel dividido el número de paneles considerados.

5.3- Nivel a nivel y panel por panel se plantea la ecuación de trabajos virtuales señalada anteriormente.

5.4- Cálculo del momento último en rótulas plásticas por Trabajos Virtuales (Figura 6)

Conociendo el lugar donde se posicionan las rótulas es simple determinar el momento último dando en desplazamiento virtual, como se hizo, de cuerpo rígido al mecanismo formado por las rótulas y en equilibrio a través de los momentos plásticos (o últimos) y mediante la ecuación de Trabajos virtuales y como sigue.

$$2m_u \cdot \alpha = F \cdot \Delta \quad (3)$$

Teniendo en cuenta las relaciones geométricas (1)

$$2 m_u \cdot \frac{\delta}{0,35 \cdot L} = F \cdot \Delta \quad (4)$$

$$2 m_u \phi \cdot \frac{0,15 \cdot L}{0,35 \cdot L} = F \cdot \phi \cdot Z \quad (5)$$

$$m_u = \frac{F \cdot Z}{0,43} \quad (6)$$

Donde F es la fuerza de corte del panel y Z la altura del nivel correspondiente.

Vigas- Síntesis de valores obtenidos para la expresión (6) en Tabla 2.

Se tiene el panel 1 y para los niveles (1-2-3) del ejemplo analizado

Nivel	Corte F (Tn)	Altura Z (m)	F . Z (Tnm)	Barra	Nudo	m_u (Tnm)	s/SAP (Tnm)	$\frac{m_u}{Ms/SAP}$ (Tnm)	$\frac{Ms/SAP}{m_u}$ (Tnm)
3	1,30	2,70	3,51	6	7	8,20	5,30	1,5	0,65
					11		5,33	1,5	0,65
2	2,40	2,70	6,48	5	6	15,07	11,65	1,3	0,73
					10		10,70	1,4	0,71
1	3,00	3,20	9,60	4	5	22,32	18,80	1,2	0,84
					9		16,70	1,3	0,75

Tabla 2

Nota: los valores indicados como s/SAP (sismo): corresponden a “acción sísmica solamente” indicada por CIRSOC (Figura 7)

Para el caso propuesto se ejemplifica y se compara resultados para las vigas en Tabla 2.

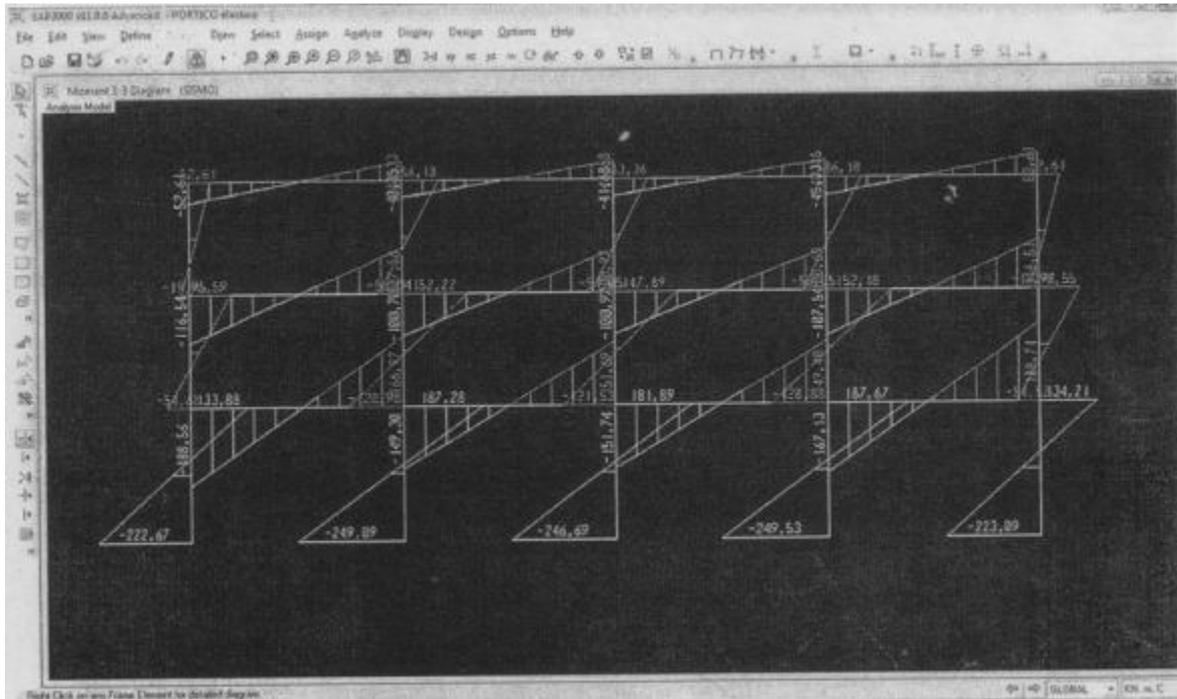


Figura 7. Diagrama de momentos s/ SAP 2000 M_E^b “acción sísmica solamente”

Solicitaciones últimas. Momentos flectores. Viga-Barra 4

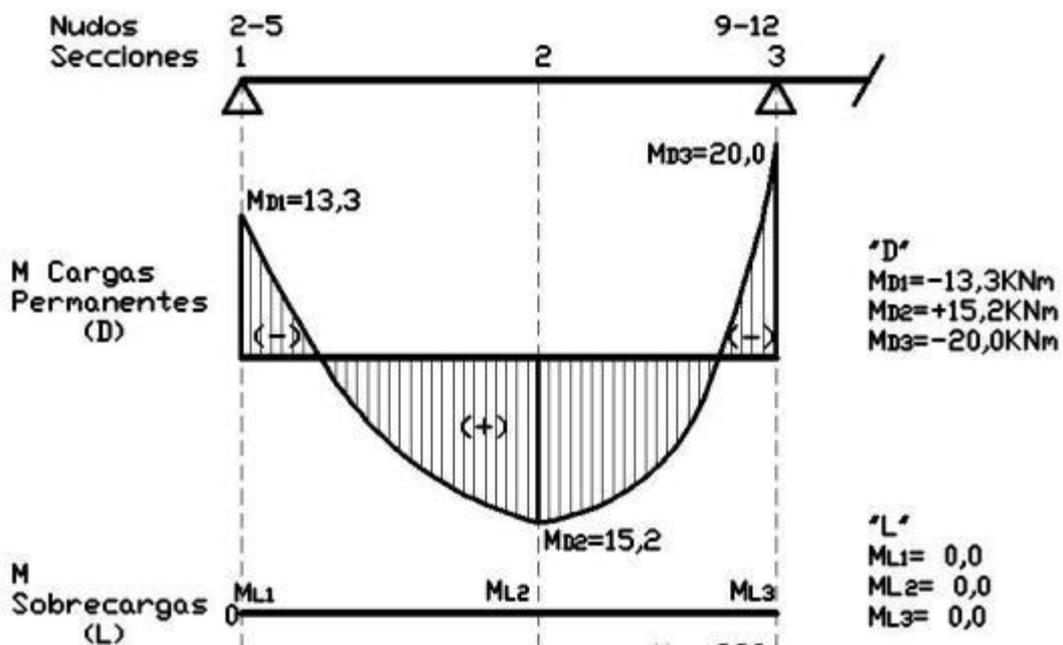


Figura 8a

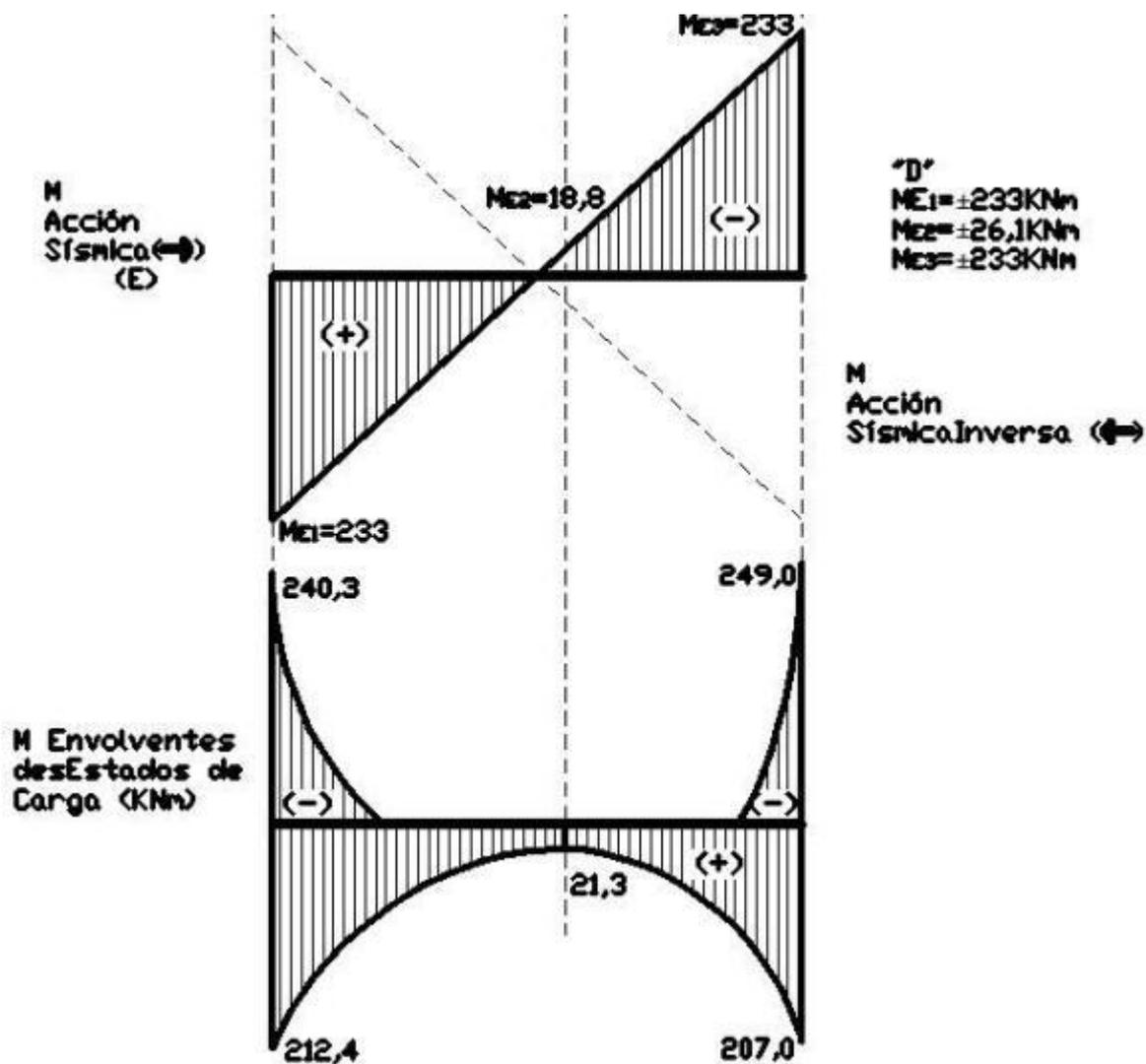


Figura 8b

Solicitaciones últimas. Momentos Flectores

Sección	Tracción	combinación	Mu (KNm)	Mu (KNm)
1	Superior	$1,302D + 0,50L + E_H$ $1,40D$ $1,20D + 1,60L$	$1,302x(-13,3) + 0,50x(0) + (-223)$ $1,40x(-13,3)$ $1,20x(-13,3) + 1,60x(0)$	-240,3 -18,6 -16
	Inferior	$0,798D + E_H$	$0,798x(-13,3) + 223$	+212,4
2	Inferior	$1,40D$ $1,20D + 1,60L$	$1,40x(15,2)$ $1,20x(13,3) + 1,60x(0)$	+21,3 +16
3	Superior	$1,302D + 0,50L + E_H$ $1,40D$ $1,20D + 1,60L$	$1,302x(-20) + 0,50x(0) + (-223)$ $1,40x(-20)$ $1,20x(-20) + 1,60x(0)$	-249 -28 -24
	inferior	$0,798D + E_H$	$0,798x(-20) + (223)$	+207

Tabla 3

Solicitaciones últimas. Momentos Flectores

En el predimensionado de la estructura se adoptó: $b=0,75m$; $h=0,35m$; $d=0,30m$; suponiendo H25 $\rightarrow f'c=25MPa$, sintetizando valores en Tabla4.

Sección	Armadura	Mu (KNm)	Kr	Kz	Φ	A° (cm ²)	ρ
1	Superior	-240,3	0,140	0,894	0,90	24,3	1,08
	Inferior	+212,4	0,125	0,915	0,90	19,3	0,86
2	Inferior	+21,3	0,013	0,966	0,90	7,65	0,34
3	Superior	-249	0,147	0,894	0,90	24,3	1,08
	inferior	+207	0,123	0,945	0,90	19,35	0,86

Tabla 4

Diseño sismorresistente de Viga4. Esquema de la armadura. Figura 9a y 9b.

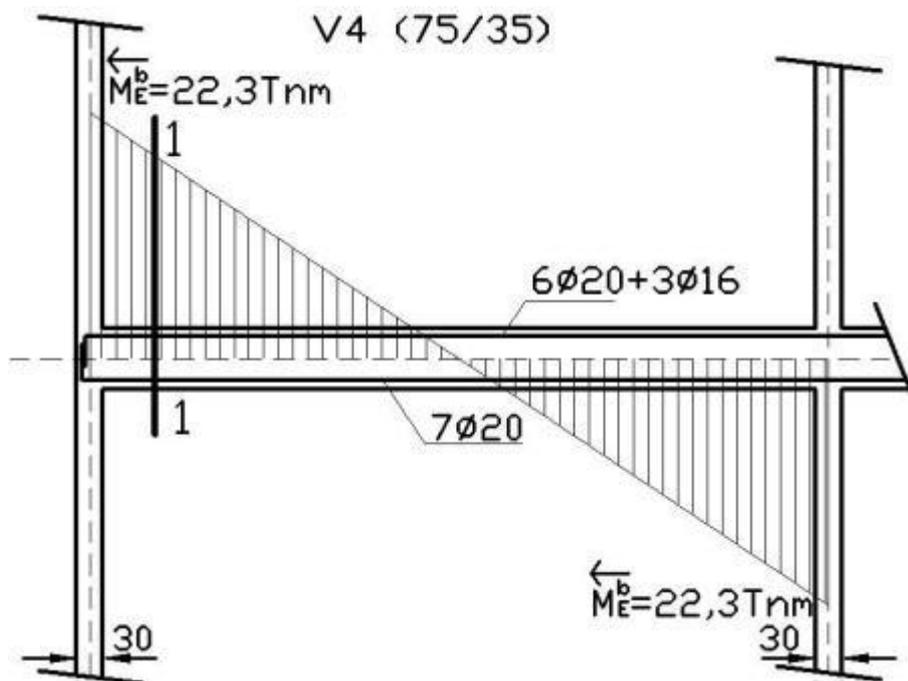


Figura 9a

. Nota: se asumió momentos iguales para ambos nudos.

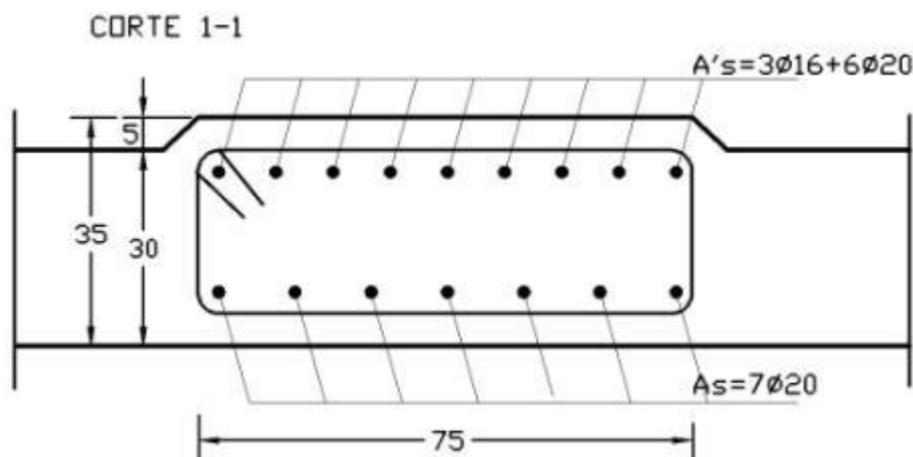


Figura 9b

5.6 Capacidad de la viga referida al eje de la columna y para el caso de aplicación de desarrollo.

$$A's = c \cdot A_s \cdot f_y \cdot (1,4)$$

$$A's = 0,30m \cdot 24,9cm^2 \cdot 4,2T/cm^2 \cdot 1,4 = 43,92Tnm$$

5.7 Amplificación de los momentos en la columna debido a la sobrerresistencia flexional de las vigas.

$$\text{Nudo extremo izq.: } \varphi_b^0 = \frac{\sum b}{\sum Eb} = \frac{43.92Tnm}{22.3Tnm} = 1,969 \quad (7)$$

A lo cual se aplicará

$$M_c = \varphi_b^0 M_E^0 \quad (8)$$

6.- COLUMNAS-Esquemas síntesis y para el caso de aplicación propuesto.

6.1.- Panel 1 - Nivel 2 – Nudo 13. Momentos asumidos para los nudos extremos (rígidos): mu (plásticos) obtenidos. Figura 10.

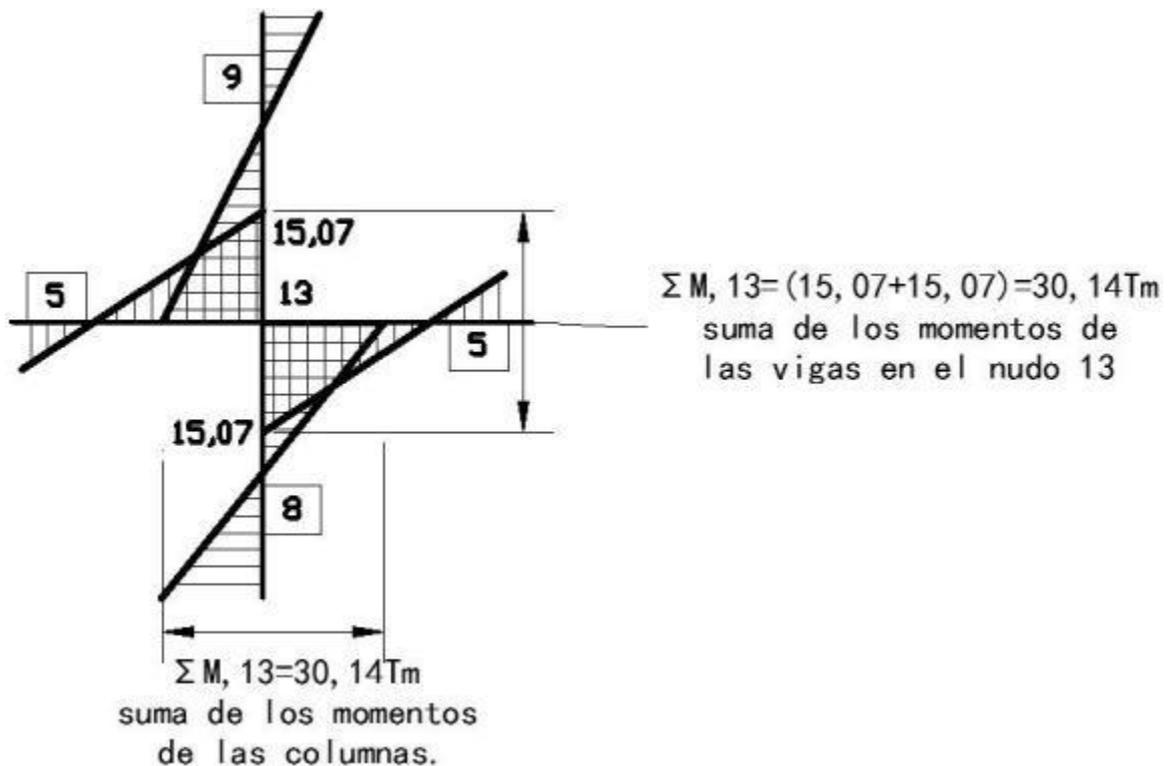


Figura 10

6.2.- Panel 1 - Nivel 1 – Nudo 12. Momentos asumidos para nudos mu y en las mismas hipótesis que el anterior. Figura 11.

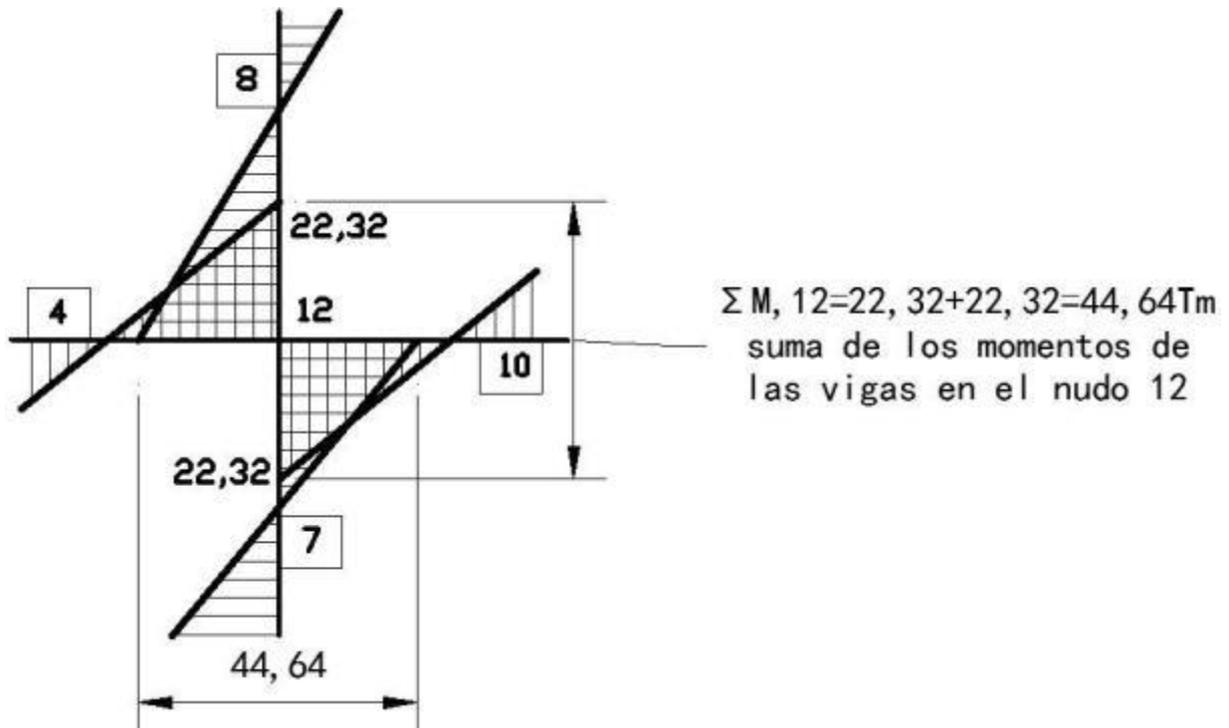


Figura 11

6.3 Síntesis Nudos 12 y 13. Ver Figura 12

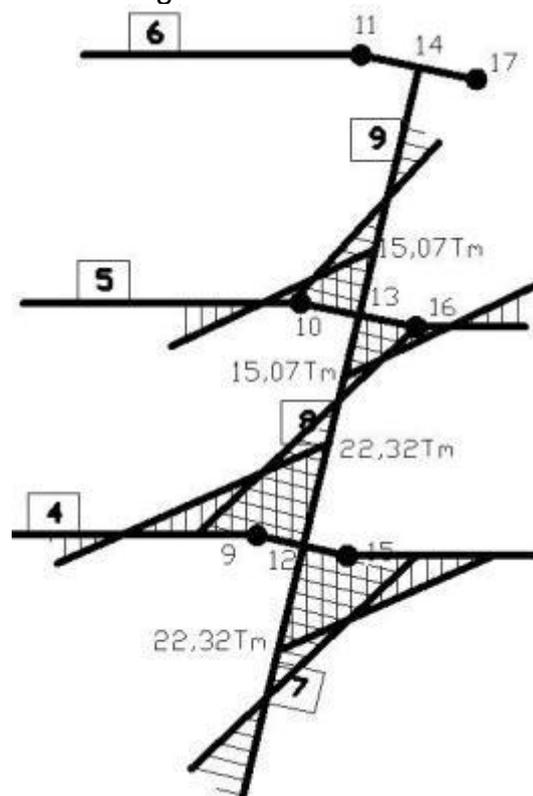


Figura 12. Esquema

7.-Solución numérica de pórticos rotulados.-Procedimiento aproximado

Sintéticamente ordenamos los pasos como siguen:

1.-Verificar nivel a nivel:

$$\frac{\sum Kc}{\sum Kb} = \frac{\text{sumatorio - rigideces - columnas}}{\text{sumatoria - rigideces - vigas}} \leq 5$$

2.-Distribuir el esfuerzo de corte en la altura del edificio y obtener el diagrama de corte total.

3.-Ubicar rótulas en vigas de acuerdo a lo especificado por la Norma.

4.-Obtener los momentos plásticos en las rótulas formadas en las vigas y hacerlos igual a los momentos en nudos rígidos (debido a la proximidad entre los mismos).

5.-Obtener las secciones de cruce del diagrama de momentos en columnas comenzando por el primer nudo superior.

6.-Obtener momentos y corte en vigas.

7.-Con lo obtenido en el punto anterior determinar las cargas en columnas.

8.-Con lo anterior construir los diagramas respectivos.

Las figuras 13-Tabla 5-Figura 14-Figura 15- Figura 16- Figura 17-esquemas y formulaciones siguientes permiten ilustrar el proceso propuesto para el panel 1 y distintos niveles del caso de aplicación que se desarrolla.

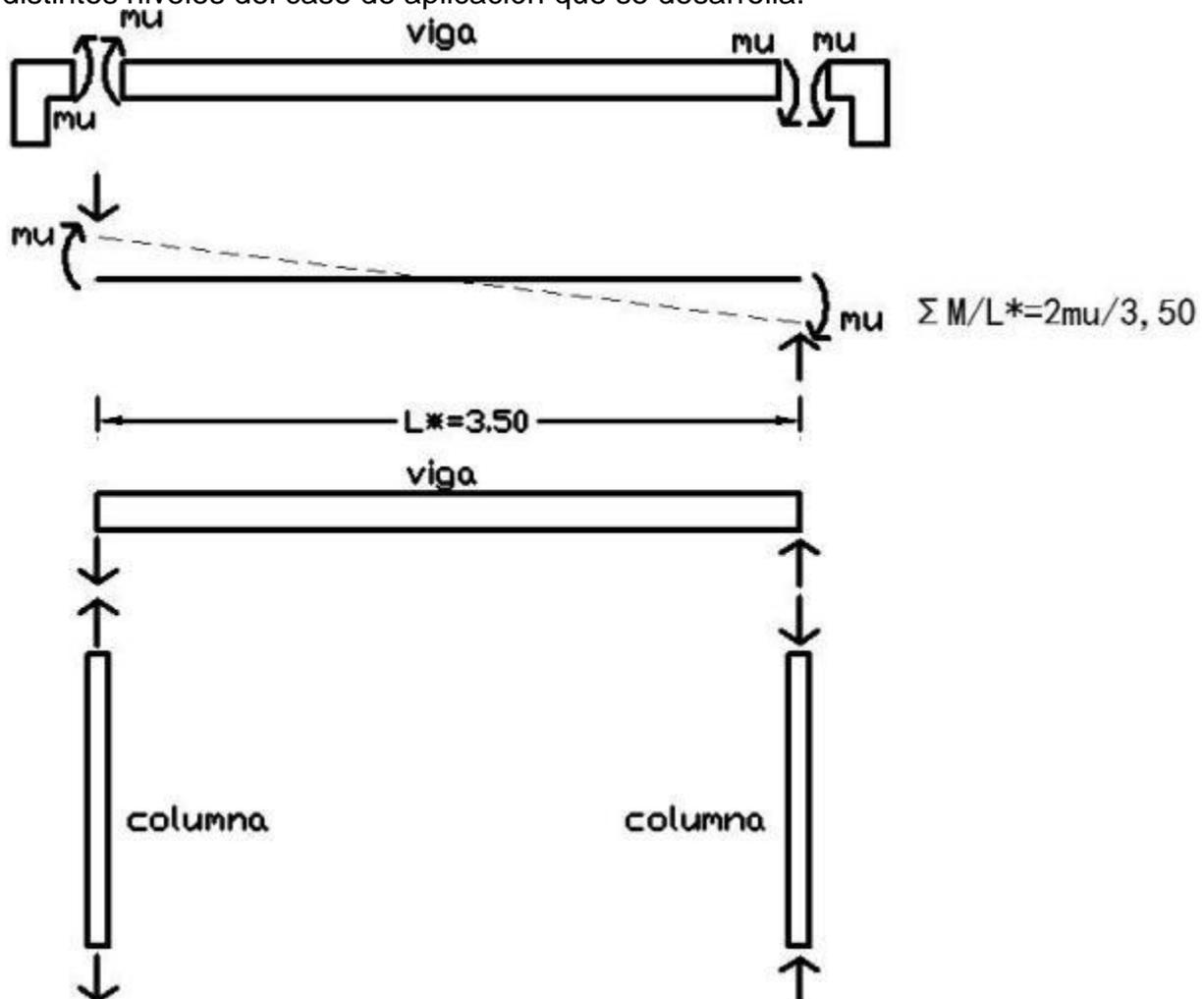


Figura 13. Esfuerzos de corte en vigas y esfuerzos axiales en columnas producidos por μu .

Nivel	mu (Tnm)	2mu (Tnm)	$\frac{2mu}{L^*} = \frac{2mu}{3,50}$ (Tn)	Acumulado (Tn)
3	8,20	16,40	4,70	4,70
2	15,07	30,14	8,61	13,31
1	22,32	44,64	12,75	22,06

Tabla 5

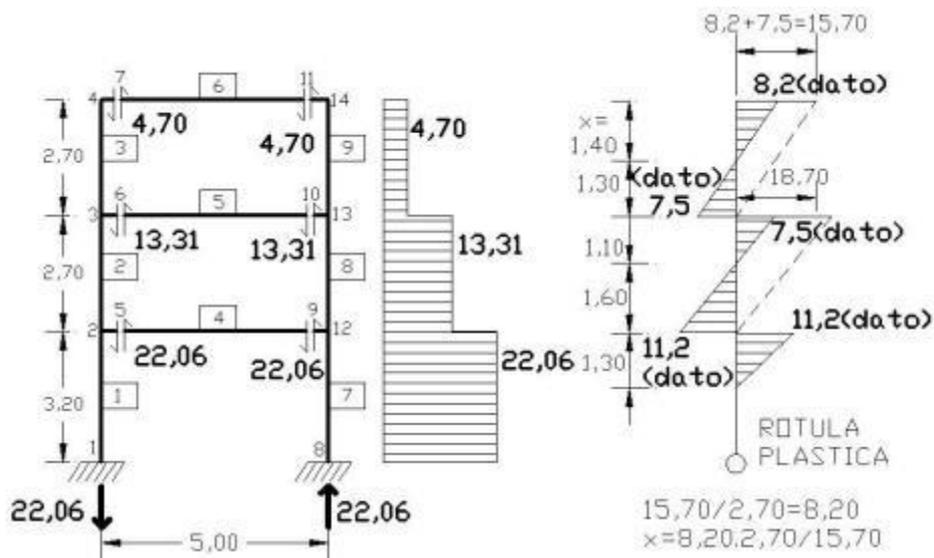


Figura 14

7.1.- Panel 1. Nivel 3. Ver Figura 15

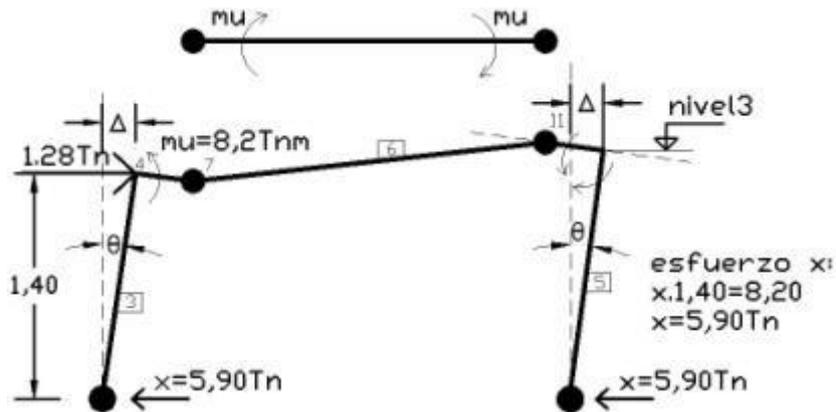


Figura 15. Equilibrio cuerpo rígido.

7.2.- Panel 1. Nivel 2. Ver Figura 16.

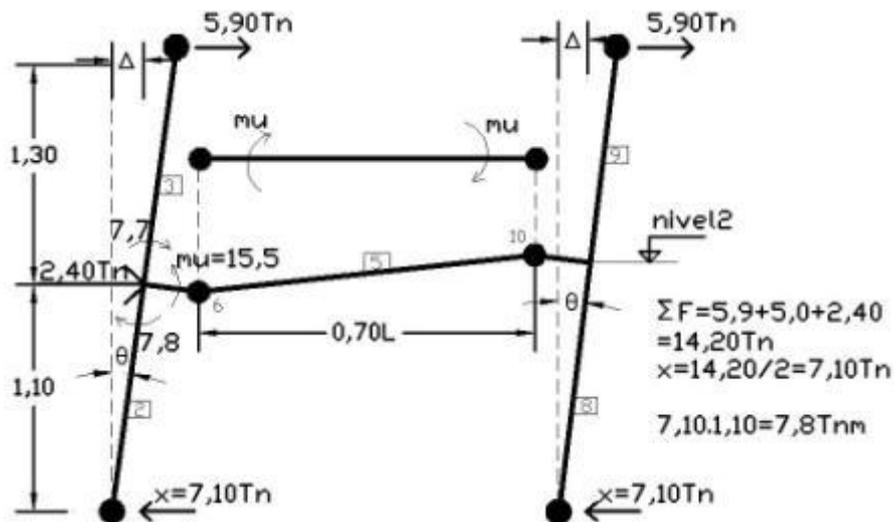


Figura16. Equilibrio cuerpo rígido.

7.3.- Panel 1. Nivel 1. Ver Figura 17.

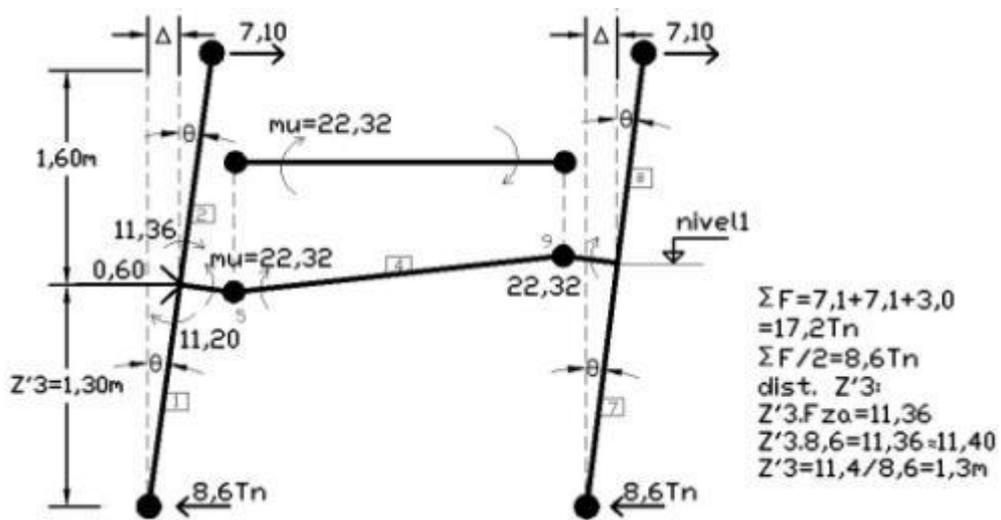


Figura 17 .Equilibrio cuerpo rígido.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la valiosa colaboración del Ing. Civil Rafael Coppari – Profesor de la UNLaR (Universidad Nacional de La Rioja)-Carreras de Ingeniería Civil-Arquitectura en cuanto a sus aportes en opinión al trabajo a medida que el mismo se desarrollaba y en la aplicación del software empleado (SAP 2000) para el ejemplo de aplicación que se usó como comparación.-

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Noguera, L. y Palmieri, A. (2008) Diseño sísmico por capacidad para edificios de varios niveles. Análisis de las columnas en el modelo tipo panel. Trabajo N°: 035 XX Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural.
- 2- Tae-Sung Eam, Jae-Yo Kim, Hong-Gun Park (2012) Building qualysos for inelastic earthquabe design of regular moment frames and dual systems addressing momento redintribution . Engineering Structures 34 p.147a154.
- 3- Cudmani, R. (2007) Teoría y práctica de las estructuras de barras. Cap. 10: Cálculo plástico de estructuras.
- 4- Argüelles Alvares, R. (1987)- La estructura metálica hoy. Tomo I- Cap X. Introducción al cálculo plastic aplicado a las estructuras metálicas.
- 5- Prato,C y Massa, J. (2008) Análisis de Estructuras de Barras. ACDEC (Asociación Coop. del Departamento de Estructuras. FCEFYN- UNC). Cálculo de la carga última para trabajos virtuales. Jorge Sarmiento Editor. Universitas. Córdoba.