

UNA APLICACION DEL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS (MEF) EN LA
PREDICION DEL COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE UNA ESTRUCTURA
DE H2A2, MEDIANTE UN ANALISIS LINEAL PASO A PASO

Carlos R. Llopiz *, Rosana R. Fonte †, Oscar A. Fruitos †
Laboratorio De Matemática Aplicada, Universidad Tecnológica
Nacional, Facultad Regional Mendoza, Rodriguez 273
Mendoza, Argentina¹

RESUMEN

Para llevar a cabo un análisis sísmico completo y racional es necesario predecir la respuesta no lineal bajo terremotos severos. Debido a consideraciones económicas a los edificios les es permitido responder más allá de sus límites de comportamiento elástico.

Este trabajo presenta un proceso simple para predecir la respuesta carga-deformación lateral completa de un pórtico a través de la aplicación sucesiva de análisis lineales.

ABSTRACT

Prediction of the non-linear response of structures under severe earthquakes are necessary to carry out a comprehensive seismic design. Due to economical considerations buildings are allowed to behave beyond their elastic limit.

This paper presents a simple process to predict the overall Force-lateral displacement response of a frame structure by means of a step-by-step application of a linear elastic analysis.

INTRODUCCION

La experiencia de terremotos pasados demuestra que dentro del proceso de diseño-modelación-análisis de edificios a ser construídos en zonas sísmicas, es necesario incorporar métodos que sean capaces de predecir el comportamiento no lineal ante excitaciones extremas. Los parámetros de la respuesta no-lineal que es necesario predecir son, en referencia al comportamiento global del edificio, la resistencia y el desplazamiento lateral máximo que la estructura es capaz de sobrellevar ante un sismo severo.

A los efectos de determinar la máxima resistencia es posible la aplicación de, por ejemplo, el Análisis Plástico Simple [1]. Sin embargo este método no provee información directa sobre las deformaciones de los edificios. Una alternativa es la aplicación directa de programas de análisis no lineal [2],[3] o, de no contar con estas herramientas

* Director del Lab. de Matemática Aplicada (LAMA)-UTN FRM
† Integrante del Lab. de Matemática Aplicada (LAMA)-UTN FRM

analíticas, el estudio se podría llevar a cabo mediante la aplicación reiterativa de un código computacional de análisis lineal.

Tal es el caso que en particular, a modo de método didáctico, se aplica en este trabajo.

La correcta modelación matemática a todo nivel, material, sección, elemento estructural y configuración estructural es de fundamental importancia para lograr una buena predicción.

El diseño estructural de un edificio exige el cumplimiento de tres requisitos básicos: funcionalidad, economía y seguridad. Si dicho edificio debe construirse en una zona de alto riesgo sísmico, aquellos requerimientos imponen un proceso de diseño y análisis más complejo con respecto al que sería necesario llevar a cabo cuando las excitaciones proviene solamente de acciones verticales.

La ecuación básica de diseño está dada por (1)

$$\text{DEMANDA} \leq \text{SUMINISTRO} \quad (1)$$

Aunque se debe reconocer que en ambos términos de dicha ecuación están involucrados no solamente condiciones de resistencia, sino también de rigidez, estabilidad (local y global), capacidad de absorción y de disipación de energía (ductilidad).

En este trabajo se presenta el análisis de una estructura simple la cual es sometida a una carga lateral que demandará las máximas condiciones de resistencia y deformabilidad. El análisis se hace desde carga cero hasta la rotura, definiendo a esta carga como la carga para la cual se agota la capacidad de rotación de algún elemento estructural en su zona crítica.

OBJETIVOS

El objetivo básico del trabajo es demostrar la forma en que, un programa de elementos finitos de análisis lineal puede ser utilizado para predecir una respuesta no lineal.

Es claro que sería mucho mas sensato la aplicación directa de un programa con posibilidades de incursión en el rango no lineal. Sin embargo, a los efectos de la comprensión del trabajo 'NO LINEAL' de la estructura en particular de la formación y migración de rótulas plásticas dentro de la estructura, este método resuelto paso a paso es de gran utilidad y persigue en definitiva un fin didáctico mas que de aplicación práctica.

ALCANCE DE ESTA PRESENTACION

A los efectos de cumplimentar los objetivos propuestos y desarrollar el trabajo en forma completa se establece el siguiente orden:

- a: Presentación de la estructura a analizar, geometría y topología.
- b: Identificación de secciones críticas (zonas potenciales de rotulación plástica).
- c: Reconocimiento de las armaduras en vigas y columnas - ubicación y cantidad de armaduras longitudinales en las secciones transversales.

- d: Presentación de las relaciones constitutivas de los materiales, Hormigón y Acero (H^2, A^2), utilizados en el análisis.
- e: Obtención de diagrama momento - curvatura ($M - \phi$) para las secciones críticas en vigas y además, diagramas de interacción ($M - N$) en columnas.
- f: Modelación matemática de la estructura a través de elementos finitos, uso de 'Beam Elements'. Densificación en zonas críticas.
- g: Aplicación del programa Mc-Beam [4] para predecir la respuesta lineal paso a paso.
- h: Presentación de la respuesta global. Identificación de rigidez, resistencia, ductilidad, deformabilidad y factor de ductilidad global.
- i: Cuantificación de requerimientos de ductilidad local en zonas críticas.

DESARROLLO

Estructura a analizar

Se presenta la estructura de un pórtico simple de $H^2 A^2$, de un vano y dos niveles construido en escala reducida. Las vigas tienen una luz libre de 1.7 m, el primer nivel una altura libre de 1.245 m, el segundo nivel una altura libre de 1.095 m, las secciones en vigas y columnas son de 30.0 * 17.5 [cm] y recubrimiento de 1.5 cm.

Se tendrá en cuenta que el pórtico tiene refuerzos de armadura en pie y cabeza de las columnas y en los extremos de viga superior, y que está empotrado en una viga inferior de fundación.

La respuesta que se busca al estudiar esta estructura queda reflejada en una curva carga-deformación ($P-\delta$), donde claramente se observa el comportamiento lineal al comienzo y después una franca respuesta no lineal. Más adelante se hará referencia a este resultado. De esta curva se obtendrán los suministros de: RIGIDEZ - RESISTENCIA y DUCTILIDAD.

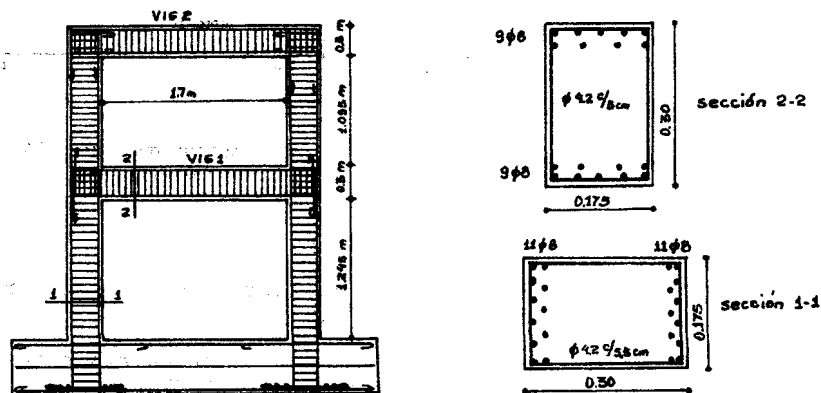


figura 1 - pórtico - dimensiones

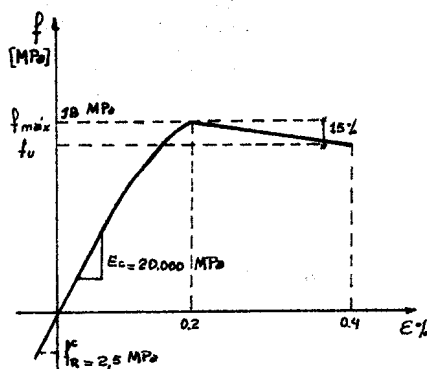
Materiales

Es usual que el ensayo de los materiales arroje gran dispersión en los valores característicos que definen su ley constitutiva.

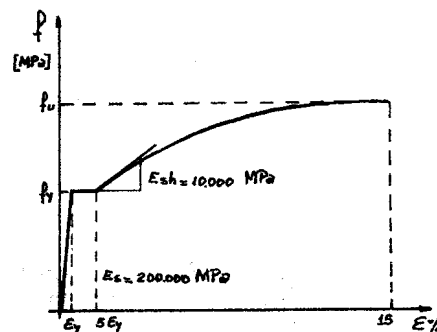
El primer paso necesario fue modelar los materiales H² y A² mediante sus curvas σ - ϵ , utilizando los valores que se juzgaron como mas representativos.

Para el hormigón (H²) se propuso la curva que propone Hognestad [5], es decir parabólica hasta ϵ_0 y luego una rama lineal descendente hasta ϵ_u con disminución del 15% del valor de tensión respecto de la tensión máxima. Siendo ϵ_0 la deformación correspondiente a la tensión máxima. (figura 2-a)

Para el acero (A²), en base a los ensayos se adoptó una ley lineal hasta una deformación de 0.002, luego una meseta de fluencia de 550 MPa y aproximadamente cinco veces la deformación elástica y luego una deformación máxima de 940 MPa. (figura 2-b) [5].



curva σ - ϵ del H²
figura 2-a

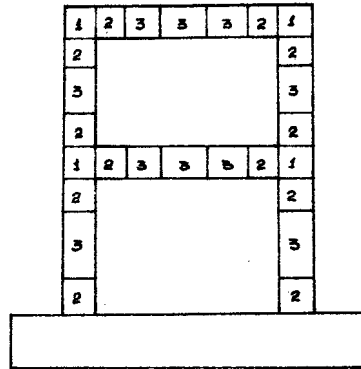


curva σ - ϵ del A²
figura 2-b

Secciones críticas

La figura 1 muestra la distribución de armadura en los miembros cuyos extremos han sido reforzados.

La discretización por elementos finitos tiene en cuenta esta particularidad. Los nudos se modelaron con elementos de gran rigidez, mientras que los 'beam elements' se extienden a lo largo de la longitud potencial de rótula plástica en los extremos de miembros. Por último se ubicaron los elementos intermedios de viga de comportamiento prácticamente elástico. (figura 3)



1 elemento de nodo
 2 elem. de posible rótula plástica
 3 elem. de comportamiento prácticamente elástico

justificación de la discretización
 figura 3

Análisis seccionales

A nivel de secciones, la ley constitutiva se establece entre la variable estática: Momento [M] y la variable cinemática: Curvatura [φ] (rotación por unidad de longitud).

Para el análisis se utilizó el código computacional SECAN [6], que permite la modelación de los materiales según se explicitó antes.

El resultado de los análisis de las secciones de H² A² permite graficar diagramas de: (i) momento-curvatura (M - φ) en vigas a través de una curva trilineal obteniendo los coeficientes de ductilidad seccional (figura 4-a), (ii) diagrama de interacción (M - N) y la relación de ductilidad en columnas (figura 4b). (iii) A nivel de resistencia es posible dibujar sobre cada elemento estructural las capacidades de flexión a nivel de fluencia y de rotura del H² por compresión (se muestra solamente el caso de vigas para facilitar su interpretación) (figura 5).

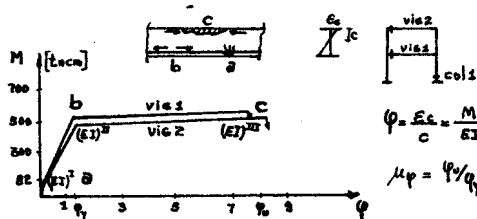


diagrama momento-curvatura
 figura 4-a

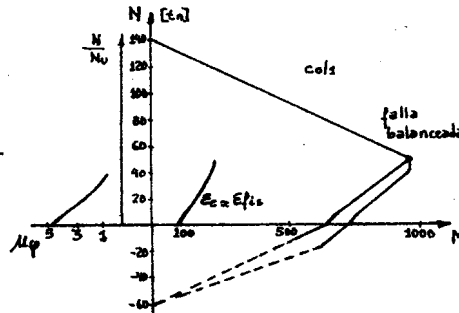


diagrama de interacción
 figura 4-b

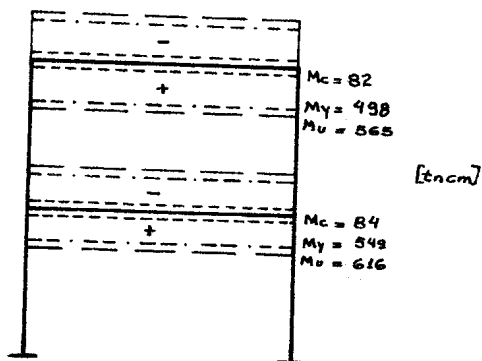


diagrama de suministro de resistencia en vigas
figura 5

Tabla I - Valores de suministros en vigas

	M_c	ϕ_c	M_y	ϕ_y	M_u	ϕ_u
vig2	82	.000008	498	.000143	565	.000784
vig1	84	.000008	549	.000146	616	.000742

Para aproximar el comportamiento no lineal con análisis lineal paso a paso, se procedió a comparar las solicitaciones (demandas) con los suministros y se colocó una rótula plástica por vez al alcanzar la plastificación de una sección crítica (figura 6).

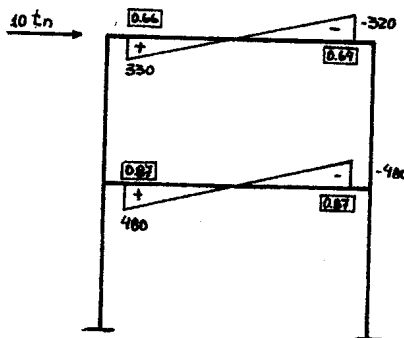


diagrama de demanda en vigas
figura 6

Tabla II - Valores de demanda para $P = 10$ tn y relación D/S

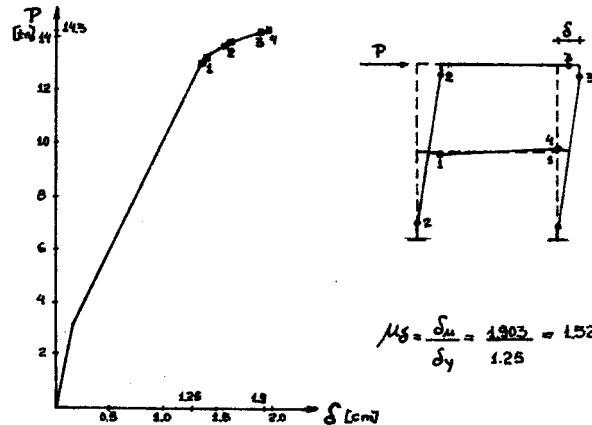
vig1-MI	D/S	vig1-MD	D/S	vig2-MI	D/S	vig2-MD	D/S
480	.87	480	.87	330	.66	320	.64

Respuesta global

Por último se procede a graficar la curva carga-deformación (P- δ), que muestra el comportamiento no lineal de la estructura.

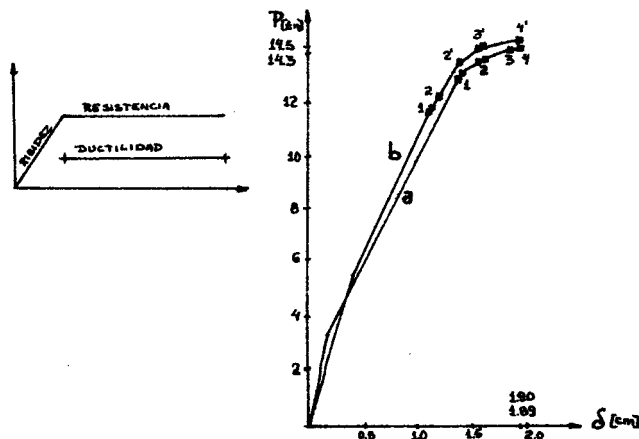
La curva de respuesta global permite evaluar no solamente si los requisitos de rigidez y resistencia han sido satisfechos, sino también la capacidad de la estructura de disipar energía a través de deformaciones inelásticas.

Este último parámetro es generalmente cuantificado a través del factor de ductilidad de desplazamientos, $\mu\delta = \delta_u / \delta_y$ (figura 7).



curva carga-deformación
figura 7

El resultado del análisis lineal paso a paso se comparó con el obtenido a través de un programa de análisis no lineal [3]. Ambas respuestas se muestran en la figura 8.



curvas P- δ (a:LAMA, b:VILLAFANE-CRISAFULLI)
figura 8

CONCLUSIONES

- 1- Ambas curvas muestran suministros similares de rigidez -resistencia y ductilidad.
- 2- La secuencia de formación de rótulas plásticas es prácticamente la misma.
- 3- La ductilidad global de la estructura tal cual fue diseñada y construída es bastante baja en relación a los requisitos generalmente especificados para estas tipologías estructurales.

REFERENCIAS

- [1] "UTILIZACION DEL ANALISIS PLASTICO PARA SATISFACER REQUERIMIENTOS DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE" C. R. Llopiz, E. Villafañe, J. Camps-VIII Jornadas de Ingeniería Estructural. Tomo II. Pág. 49-69. Bs. As. 1988.
 - [2] "DRAIN-2D A General Purpose Computer Program for Dynamic Analysis of Planar Structures". Kaanan and Powel. Report Nº UCB-EERC-80-03. Univesidad de California, Berkeley.
 - [3] "ANALISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS" Elvio Villafañe, Francisco Crisafulli. En preparación para su publicación.
 - [4] "MC-BEAM" Programa de Análisis Lineal por Elementos Finitos. Gustavo Sanchez Sarmiento. Argentina.
 - [5] "Reinforced Concrete Structures" R. Park & T. Pauly. Jhon Wiley and Sons., 1975.
 - [6] "SECAN Análisis de sección de H² A²". C.R.Llopiz. En preparación para su publicación.
-