

ESTUDIO COMPUTACIONAL DE LOS EFECTOS
NOLINEALES EN ESTRUCTURAS SOMETIDAS A UN SISMO

Gabriel E. Barrientos

Universidad del Biobío
Concepción - Chile

Mansour Sedaghat

Departamento Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería.
Universidad de Concepción
Concepción - Chile

RESUMEN

El presente trabajo, está orientado a encontrar las diferencias que se producen en una estructura que es afectada por un sismo, cuando dicho estudio se realiza considerando efectos no lineales.

Se estudia un marco plano de tres pisos, con ayuda de dos programas computacionales : uno de análisis lineal y otro de análisis no lineal.

ABSTRACT

This paper deals with the study of differences produced in a structure affected by earthquake, considering non-linear effects.

A three - story plane frame with two different computer programs: one for linear elastic analysis, and the other, for non-linear analysis.

INTRODUCCION.

Es común que el proyectista se pregunte : ¿Cómo afecta a un diseño el considerar o no los efectos no lineales?. Cuando se realiza un análisis estático, las ecuaciones que resuelven el problema no lineal, se complican, por lo que generalmente se utilizan métodos numéricos para su aproximación. Cuando el problema es dinámico, la complejidad de la solución se hace aún mayor, existiendo varios programas computacionales [1], que fundamentalmente se diferencian en la forma de resolver las ecuaciones (diferentes métodos numéricos, criterios de convergencia, algoritmos de cálculos, etc.).

Sabemos que los problemas no lineales se dividen en dos grandes grupos : No linealidades geométricas y No linealidades materiales. En general los programas computacionales están estructurados para resolver problemas en que se combinan ambos casos.

Aún cuando los programas de análisis no lineales consideran términos no lineales en las deformaciones, al desarrollar las ecuaciones del movimiento, éstas se hacen despreciables si las deformaciones producidas son pequeñas. Es por ello, que si la sollicitación de la estructura no produce grandes deformaciones, la respuesta obtenida al usar los programas computacionales SAPIV [2], y el ANSR [3], deben coincidir.

El presente trabajo, se centró en comparar los resultados obtenidos por ambos programas, considerando la influencia de la no linealidad del material en el resultado de los desplazamientos y esfuerzos que se producen cuando actúa un sismo.

Un programa de análisis lineal no debe ser usado para resolver problemas en que existan no linealidades de cualquier tipo, no obstante, siempre es recomendable realizar un preestudio lineal con el objeto de ir cuantificando la influencia con que las no linealidades repercuten en la respuesta [4].

ANALISIS NOLINEAL

Aplicando el Principio de los Desplazamientos virtuales en el desarrollo de las ecuaciones del movimiento, se obtiene la ecuación incremental [3-5], la cual considera los términos de orden superior en las deformaciones. Esto origina las no linealidades geométricas, que consideramos de dos formas : a) cuando se producen grandes desplazamientos y pequeñas deformaciones y, b) en el caso que se produzcan grandes desplazamientos y grandes deformaciones. Las no linealidades del material se incluyen en la correspondiente relación esfuerzo-deformación.

Utilizando elementos isoparamétricos se obtiene la formulación de las ecuaciones del movimiento asociados al método numérico de elementos finitos. Por último, utilizando los métodos tradicionales de ensamble [6], se obtiene la ecuación incremental de la estructura para un análisis dinámico :

$$M \ddot{u} + C \dot{u} + K u = R(t) \quad (1)$$

donde M es la matriz de masa, C la matriz de amortiguamiento, K la matriz de rigidez y $R(t)$ es un vector de cargas variables en el tiempo, o de cargas efectivas que resulten del movimiento de la base. Nuestro caso, corresponde a una estructura expuesta a aceleraciones en la base \ddot{u}_g , esto es :

$$M \ddot{u}_r + C \dot{u}_r + K u_r = -M \ddot{u}_g \quad (2)$$

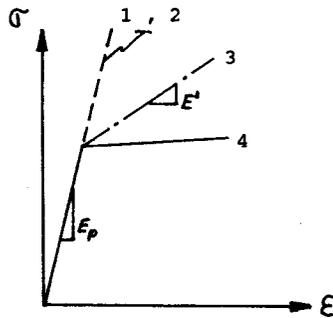
donde u_r es el incremento del desplazamiento relativo con respecto a u_g , es decir :

$$u_r = u - u_g \quad (3)$$

Los resultados obtenidos con el SAPIV se realizaron utilizando la alternativa de superposición modal, mientras que el ANSR integra las ecuaciones directamente (método paso a paso). En el caso no lineal de integración directa, se utilizó al procedimiento iterativo de Newton-Raphson, con reformulación de la rigidez en cada paso, asociado al algoritmo de Newmark β - γ - δ . Se consideró $\beta = 1/4$, $\gamma = 1/2$ y $\delta = 0$.

EJEMPLO DE APLICACION

Centraremos nuestra atención en la diferencia que se produce cuando se considera una no linealidad del material. Tomamos como modelo una relación esfuerzo-deformación bilineal, caracterizada por la razón E'/E_p (ver figura 1).



Gráfica	Programa
1	SAPIV
2	ANSR $E/E_p = 1.$
3	ANSR " = 0.5
4	ANSR " = 0.2

Fig. 1 Curvas de comportamiento inelástico bilineal.

El marco analizado y el sismo aplicado en la dirección XX, se muestran en la figura 2.

Se consideró que la formación de rótulas plásticas, sólo eran afectadas por el momento flector, es decir, se utilizó la superficie de interacción de fluencia mostrada en la figura 3.

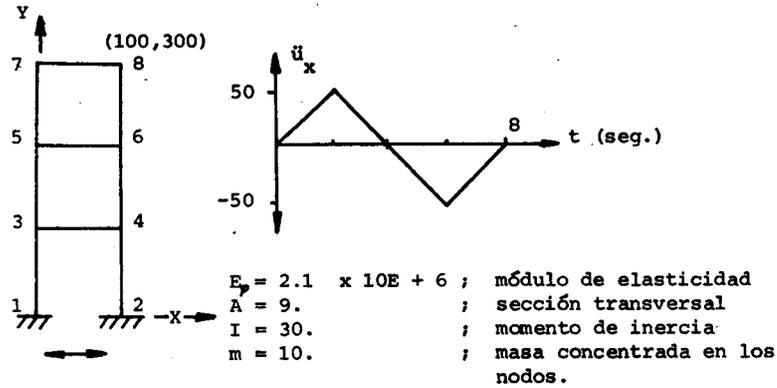


Fig. 2 . Marco de 3 pisos y sismo aplicado en dirección horizontal.

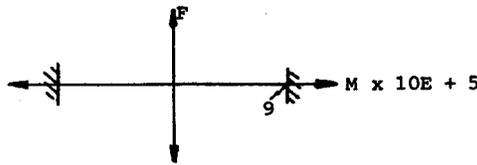


Fig. 3 . Superficie de interacción de fluencia para el material.

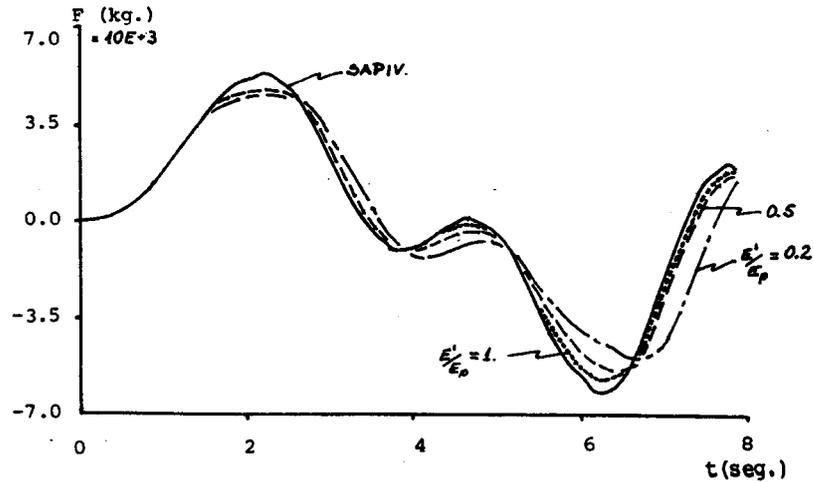


Fig. 4. Historia de la Fuerza Axial del elemento 1.

ANALISIS DE LA RESPUESTA

El paso de integración usado en todos los casos fue de 0.1 (seg.), idealizando la estructura con masas concentradas en los nodos. Los resultados del análisis en el tiempo se muestran en las figuras 4,5 y 6.

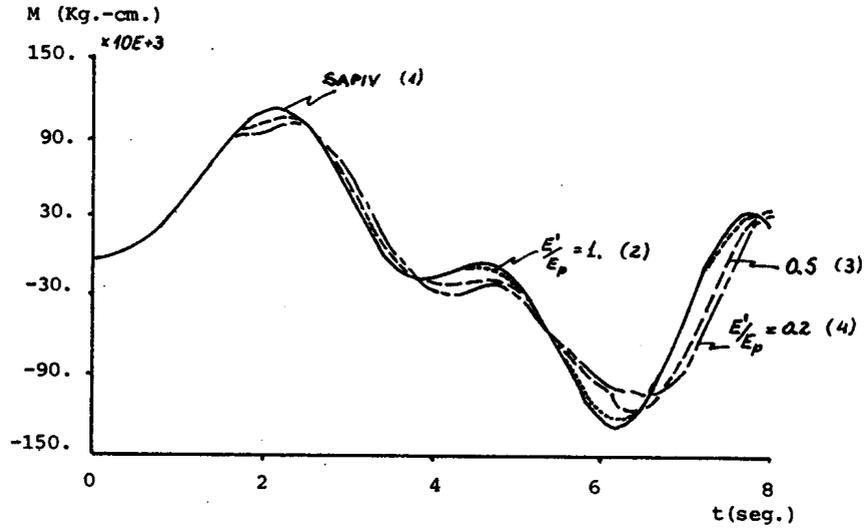


Fig.5. Historia del Momento flector del elemento 1 - Nodo 1.

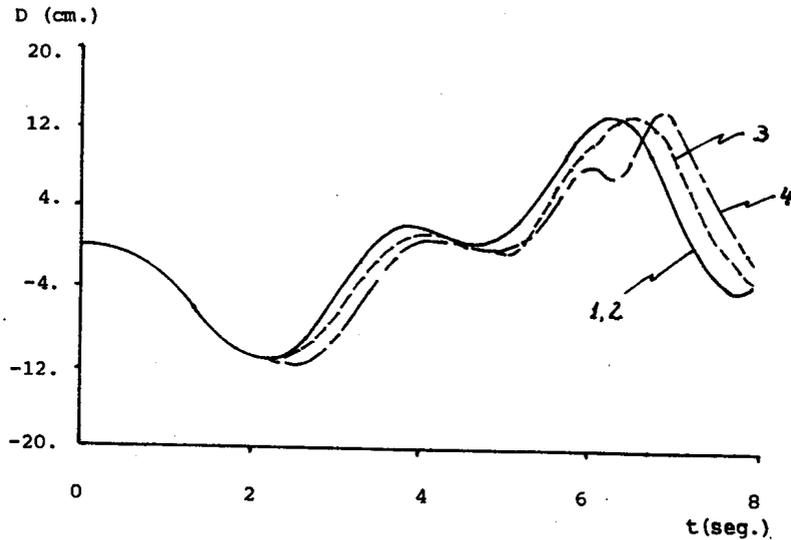


Fig.6. Historia del desplazamiento horizontal del Nodo 8.

La figura 6 nos muestra la historia del desplazamiento en la dirección X del nodo 8. Como era de esperar, existe cerrada concordancia entre las curvas 1 y 2, que prácticamente se confunden en la gráfica. De los datos obtenidos para todos los casos, se deduce que a medida que la no linealidad del material es mayor, vale decir, la razón E'/E_p se acerca a cero, las respuestas se hacen cada vez más distantes, ya que las deformaciones permanentes que se van acumulando en el tiempo, distorsionan la respuesta.

Para que el análisis sea más significativo, compararemos las curvas 1 y 4. La primera separación entre ellas se produce a los 2.2 segundos de iniciado el sismo, que coincide con el comienzo de la formación de rótulas plásticas en los nodos 1,2 y 3 de la estructura. A partir de los 2.6 segundos, nuevamente la respuesta se hace similar, desfasada entre los tiempos señalados, hecho que también coincide con que los nodos 1,2 y 3 vuelven a la zona elástica.

Idéntica situación se produce en la zona comprendida entre los tiempos 6 y 7.2 segundos. Después de los 8 segundos, es decir, una vez que el sismo ya no actúa, la curva de desplazamiento en el tiempo mantiene una tendencia similar, con el desfase indicada anteriormente.

Exactamente el mismo análisis es válido para los gráficos mostrados en las figuras 4 y 5 para la historia de las fuerzas y momentos en los elementos que se indican.

Por último, a modo de ejemplo, en la tabla I se indican valores del momento flector en el nodo 1 del elemento 1, determinados en el análisis lineal de ambos programas, y que corresponden a la gráfica 1 y 2 de la figura 5.

Tabla I.- Momento Flector en elemento 1 Nodo-1. ($\epsilon'/\epsilon_p = 1$).

Tiempo	SAPIV	ANSR	Tiempo	SAPIV	ANSR
		$\epsilon'/\epsilon_p = 1$.			
0.4	5.25	4.84	4.4	-9.0	-11.3
0.8	23.2	22.47	4.8	-8.25	-13.25
1.2	54.13	52.68	5.2	-36.5	-37.48
1.6	86.57	84.02	5.6	-81.1	-77.2
2.0	106.5	104.13	6.0	-120.4	-111.71
2.4	103.0	102.67	6.4	-121.6	-116.7
2.8	71.03	73.88	6.8	-78.69	-80.98
3.2	25.2	29.58	7.2	-12.9	-23.4
3.6	-10.61	-5.7	7.6	29.5	18.6
4.0	-17.29	-16.33	8.0		23.54

CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra que las no linealidades del material producen efectos no detectables en un análisis lineal, es decir, mientras el SAPIV no detecta las deformaciones plásticas que en algún instante se producen en un sismo, el ANSR indica cuan perjudiciales pueden ser dichas deformaciones, ya que paso a paso entrega estas deformaciones plásticas acumuladas en el tiempo.

En el ejemplo analizado, no se producen desplazamientos exagerados en el período en que en algún elemento se forman rótulas plásticas, ya que los datos del problema son conservadores. Como es obvio, si se formaran más rótulas plásticas en la estructura la respuesta de desplazamiento y deformaciones aumentaría notablemente, y serían incomparables con los datos entregados por un análisis lineal.

REFERENCIAS

- [1] NOOR A.K., "Survey of Computers Programs for Solution of Nonlinear Structural and Solid Mechanics Problems", Int. J. Comp. Struct., Vol.13, 1981, págs. 425-465.
- [2] BATHE K.J., WILSON E.L., PETERSON F.E., "SAPIV- A Structural Analysis Program For Static and Dynamic Response of Linear Systems", Report N° EERC 73-11, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1974.
- [3] MONDKAR D.P., POWEL G.H., "ANSR-I, General Purpose Program for Analysis of Nonlinear Structural Response", Report N° EERC 75-37, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1975.
- [4] BATHE K.J., "Finite Element Procedures in Engineering Analysis", Prentice - Hall, 1982.
- [5] MONDKAR D.P., POWELL G.H., "Finite Element Analysis of Nonlinear Static and Dynamic Response", Int. J. for Num. Methods in Eng., Vol.11, 1977, pp499 - 520.
- [6] ZIENKIEWICZ, O.C. "The Finite Elements Method". Mc Graw-Hill. London, 1977.