

## **ANÁLISIS DINÁMICO DE PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO EMPLEANDO EL PROGRAMA DRAIN 2DX.**

**Marta G. Amani, Enrique E. Galíndez, Rodolfo F. Danesi**

*Laboratorio de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología  
Universidad Nacional de Tucumán, Casilla de Correo 134. Correo Central, 4000 Tucumán, Argentina*

### **RESUMEN**

En este trabajo se estudia y compara la respuesta dinámica de dos pórticos de hormigón armado de seis pisos diseñados según el Método de Diseño Basado en los Desplazamientos.

El análisis dinámico se lleva a cabo usando el programa computacional DRAIN 2DX, el cual emplea el método de rigidez directa para el análisis.

La modelación del primer pórtico se realiza a través del elemento viga-columna (tipo 2). Este elemento consiste en una viga elástica, dos articulaciones plásticas en los extremos y permite tener en cuenta los extremos rígidos. En el segundo pórtico se considera, para la modelación de las columnas de la base, el elemento de fibra viga-columna (tipo 15), este elemento puede ser dividido en segmentos cuyas secciones transversales pueden ser elásticas o estar divididas en un número de fibras las cuales pueden tener relaciones tensión-deformación no lineales para el hormigón y el acero.

En primer lugar se plantean las características geométricas de la estructura; luego se describen las principales condiciones de carga y los tipos de elementos empleados en la modelación de vigas y columnas.

Por último se evalúa el comportamiento de las estructuras a través de un análisis dinámico no lineal y se comparan los resultados obtenidos en término de desplazamientos máximos de pisos y distorsiones de piso.

### **ABSTRACT**

The dynamic response of 2 reinforced concrete building frames designed using Displacement-Based Design Approach is studied and compared in this paper.

The program DRAIN 2DX, which use the direct stiffness method, was used as the dynamic inelastic time history analysis tool.

The first building frame was modeled as concrete beam-column member (type 2). This element consists essentially of an elastic beam, two rigid-plastic hinges at the ends of this beam, and optional rigid end zones. In the second building frame, the base columns were modeled as a fiber beam-column element (type 15), this element can be divided in segments, each cross section is either elastic or is divided into a number of fibers. The fibers can have nonlinear longitudinal stress-strain relationships of concrete or steel type.

At first, the structural geometric characteristics are presented, then the principal load conditions and elements used to model beams and columns are described.

Finally, the building frames were subjected to a dynamic time history analysis to test performance, the results, in terms of maximum displacements of the frames and story drifts, were compared.

## INTRODUCCIÓN

El análisis estructural es una componente muy importante durante el proceso de diseño. El gran problema es la obtención de información del comportamiento real de la estructura. Esta información requerida puede en algunos casos variar según el tipo de aplicación.

La estructura real debe ser reducida a un modelo matemático el cual se debe ajustar lo mejor posible a la realidad. El modelado de los elementos estructurales se convierte entonces en un paso fundamental para la obtención de resultados coherentes con la realidad.

En este trabajo se modela dos edificios de hormigón armado de seis pisos a través del programa DRAIN -2DX<sup>1</sup> considerando dos tipos de elementos diferentes para el modelado de las columnas de la base y se comparan los resultados.

## MODELADO DE LAS ESTRUCTURAS

### Pórticos analizados

Los pórticos analizados son de seis pisos y tres vanos en la dirección de análisis. La geometría de los elementos estructurales se muestra en la figura 1.

Se adopta un peso unitario de  $24 \text{ KN/m}^3$  para el hormigón. Las características del hormigón y del acero utilizados son H-17 ( $\beta_R=14\text{MN/m}^2$ ) y ADN 420/500 ( $\beta_S=420 \text{ MN/m}^2$ ) respectivamente. La masa de cada piso será igual a 100 t.

Según CIRSOC103 el edificio analizado pertenece al grupo B (edificios privados de habitación) asumiendo que los elementos no estructurales están unidos a la estructura de manera que no sufran daños por las deformaciones de la misma (condición ND)

### Modelo matemático

El modelo matemático contiene un número diferente de tipos de elementos, cada uno de los cuales tiene su conjunto de grados de libertad, modos de deformación y relaciones entre acciones y deformaciones. Todas las deformaciones de la estructura se originan en los elementos; por lo tanto, cualquier deformación significativa que se produzca en la estructura real puede ser modelada usando los elementos adecuados. La mayoría de los elementos tienen relaciones tensión-deformación multilineales.

Las cargas pueden ser aplicadas en cualquier nodo y/o a lo largo del elemento. El análisis es más fácil si las cargas son nodales, especialmente cuando se consideran los efectos no lineales. Las cargas pueden ser estáticas o dinámicas. En el caso de carga sísmica se consideran fuerzas de inercia. Estas fuerzas no están predeterminadas, dependen de la respuesta de aceleración de la estructura y de las propiedades estructurales.

Para el análisis dinámico, se supone a la masa concentrada en los nodos, es decir que la matriz de masas es diagonal.

La disipación de energía se realiza principalmente a través de la energía histerética perdida en los elementos no lineales. Sin embargo, el amortiguamiento viscoso puede también especificarse para dar cuenta de las diversas pérdidas de energía

## Cargas Actuantes

Para la obtención de la carga actuante se supone que la separación entre pórticos en la dirección perpendicular al análisis es de 5 metros. Se considera una carga permanente de  $5 \text{ kN/m}^2$  y una sobrecarga accidental de  $2 \text{ kN/m}^2$  aplicada en todos los vanos y en todos los pisos. Para el caso de carga accidental se considera un factor de simultaneidad y presencia de sobrecargas igual a  $0.25^2$ . El pórtico analizado es interior debido a que soporta mayores cargas. Como carga sísmica se considera a la obtenida de la aplicación del método de Diseño Basado en los Desplazamientos<sup>3</sup>. La figura 2 muestra las cargas consideradas actuando sobre la estructura.

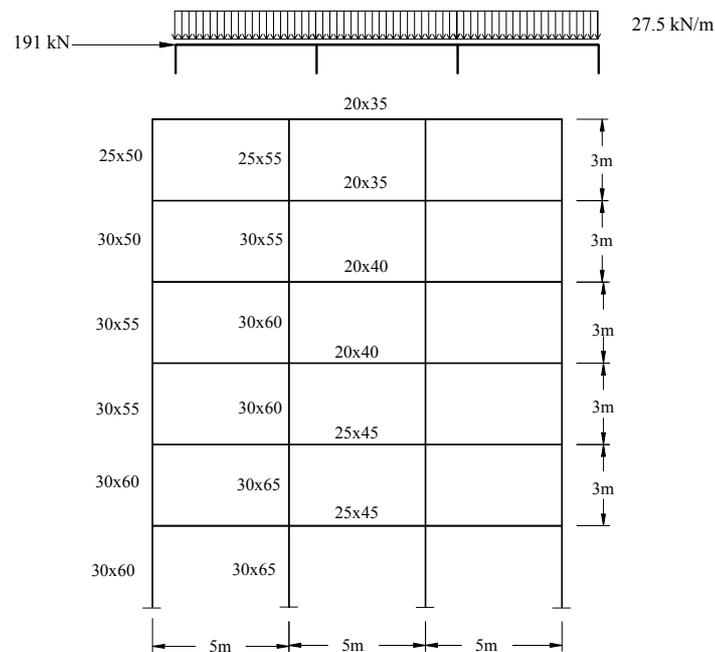


Fig. 1 Geometría de los elementos estructurales

## Modelado de vigas

Para el modelado de las vigas de ambos pórtico se optó por usar el elemento viga-columna (tipo 2). Este es un elemento inelástico para modelar vigas y vigas-columnas de acero y de hormigón armado. Puede tener cualquier orientación en el plano X-Y.

Consiste en una viga elástica, dos articulaciones plásticas en los extremos de la viga y extremos rígidos opcionales. La geometría del elemento puede verse en la figura A.1. Se pueden considerar elementos de sección variable especificando coeficientes de rigidez flexional apropiados para la viga elástica.

La fluencia tiene lugar sólo en los extremos del elemento cuando se forman las articulaciones plásticas. Los momentos de fluencia pueden ser diferentes en los dos extremos.

El efecto de la carga axial sobre la flexión se tiene en cuenta especificando las superficies de fluencias P-M. Sin embargo, se supone que la fluencia es por flexión sin deformación inelástica axial.

La deformación por endurecimiento es modelada suponiendo que el elemento está formado por componentes elásticas e inelásticas en paralelo. Las articulaciones plásticas se forman en la componente inelástica. Los momentos en la componente elástica siguen aumentando simulando el endurecimiento.

Para la componente plástica del momento se consideran dos superficies de fluencia:

- Tipo viga sin diagrama de interacción.
- Tipo columna de hormigón.

### **Modelado de columnas**

El modelado de columnas se realiza considerando dos tipos de elementos diferentes; en un pórtico se modela todas las columnas con el elemento tipo 2, y en el otro se modelan las columnas de la base con el elemento de fibra viga-columna tipo 15, el resto de las columnas se modela con elemento tipo 2 ya que se diseñan para que las mismas permanezcan elásticas.

El elemento de fibra es inelástico y sirve para modelar vigas y vigas-columnas. Los modelos materiales tienen en cuenta la fluencia del acero, incluyendo deformación por endurecimiento, la fisuración del hormigón, incluyendo pérdida de resistencia por agrietamiento y la rigidez a la tracción del hormigón.

Se pueden incluir deformaciones por corte, pero el comportamiento al corte se supone elástico, no siendo posible considerar efectos no lineales por corte.

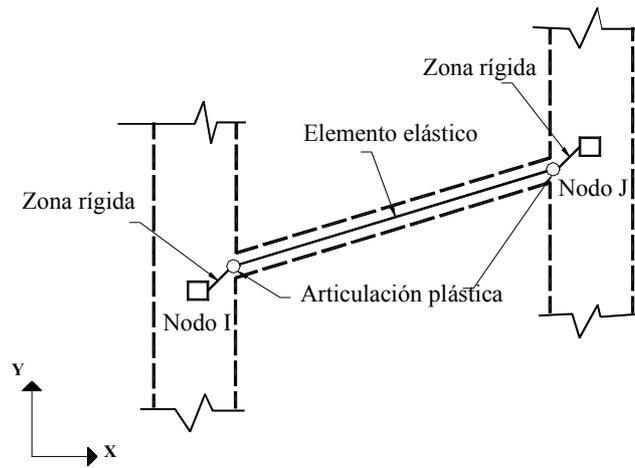
La parte deformable del elemento se divide en un número de segmentos. El comportamiento es controlado en el centro de la sección transversal en cada elemento.

Se asume que las propiedades de la sección transversal son constantes en cada segmento, pero pueden variar de segmento a segmento.

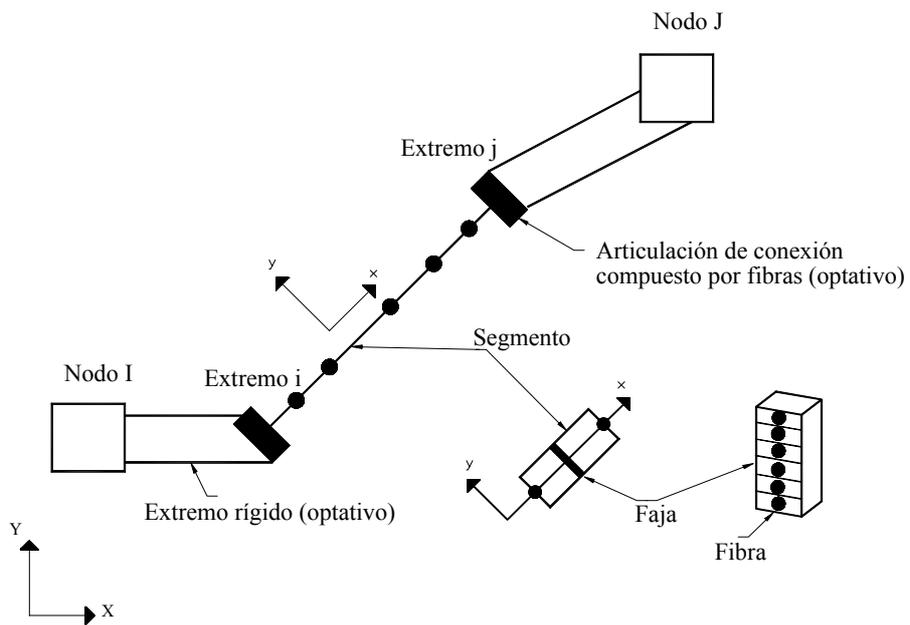
La figura A.2 muestra las características del elemento. Cada sección transversal es, elástica o está dividida en un número de fibras. Las fibras pueden tener relación tensión-deformación longitudinal no lineal tanto para el acero como para el hormigón.

El modelo del elemento dentro de la región deformable es de “plasticidad distribuida”, explicando el desarrollo del comportamiento inelástico tanto en las secciones transversales como a lo largo del elemento. Esto es opuesto al modelo de “plasticidad discreta”, donde el comportamiento inelástico está concentrado en articulaciones plásticas de longitud nula.

Se pueden especificar articulaciones de conexión en los extremos del elemento para modelar deformaciones que se producen en las uniones vigas-columnas o en las bases de las columnas, estas son articulaciones de fibra de longitud nula.



**Fig. A.1. Elemento Viga-Columna (tipo 2)**



**Fig. A.2. Elemento de fibra Viga-Columna (tipo 15)**

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### Períodos y modos de vibración

En la figura 3 se pueden observar los 2 primeros modos de vibración flexionales de las estructuras. Para el diseño con elemento tipo 2 el período del primer modo de vibración es de 1.16 seg, el factor de participación de masa para el primer modo es del 73% y para el segundo modo del 15%, mientras que en el caso del diseño con el elemento tipo 15, el período del primer modo es 1.38 seg. y le corresponde un factor de participación de masa del 85% mientras que al segundo modo le corresponde un 12%. Es decir que la estructura modelada con el elemento tipo 2 presenta mayor rigidez que la modelada con el elemento tipo 15 habiendo mayor participación del segundo modo en el caso del elemento tipo 2.

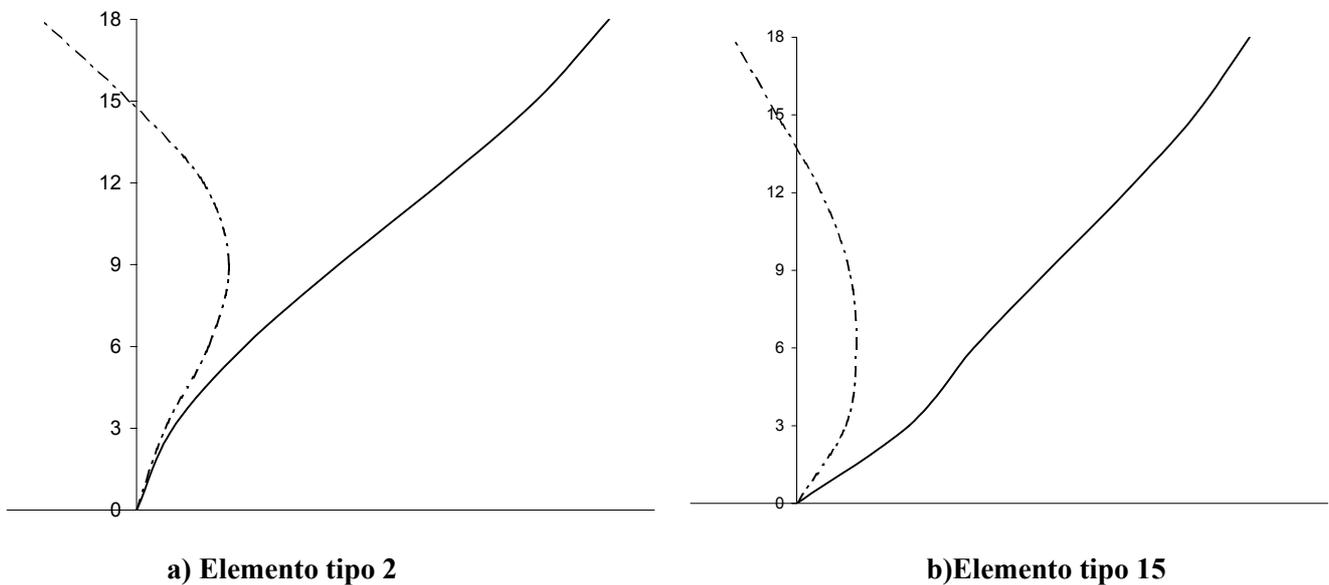


Fig. 3. 1er y 2do modos de vibración

### Desplazamientos máximos y distorsiones de piso

Priestley y Calvi (1997)<sup>4</sup> sugirieron una forma para estimar el máximo perfil de desplazamientos (Fig. 4),

$$\Delta_i = \theta_d h_i \quad (n \leq 4) \quad (1a)$$

$$\Delta_i = \theta_d h_i \left( 1 - \frac{(n-4) h_i}{32 h_n} \right) \quad (4 < n < 20) \quad (1b)$$

$$\Delta_i = \theta_d h_i \left( 1 - \frac{h_i}{2h_n} \right) \quad (n \geq 20) \quad (1c)$$

donde,

$\theta_d$  = máxima distorsión de diseño elegida en el paso anterior.

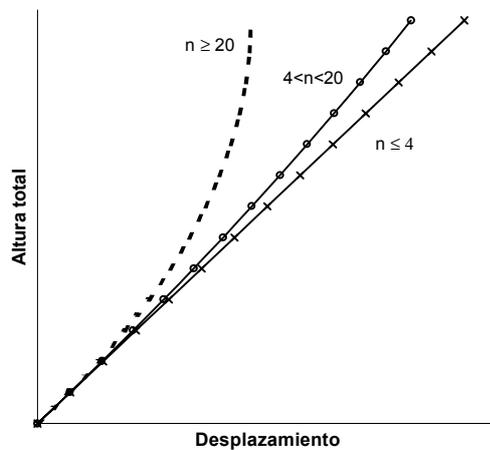
$n$  = número de pisos del pórtico.

$h_i$  = altura medida desde la base.

Esta forma de determinar el perfil de desplazamientos es aceptable para la mayoría de los edificios.

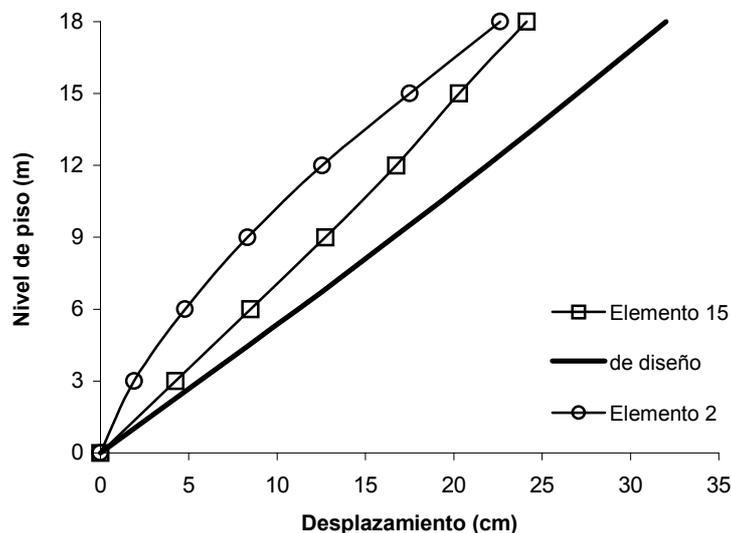
De las expresiones podemos ver que para edificios con menos de cuatro pisos la forma de desplazamientos será lineal. Para pórticos de media altura la forma de desplazamientos comienza a ser suavemente parabólica. Para edificios de gran altura superiores a los 20 pisos la forma de desplazamientos es parabólica manifestándose un desplazamiento de techo igual a la mitad del valor de desplazamiento si se hubiera considerado una distorsión de piso constante igual al nivel máximo de distorsión considerado.

**Fig. 4 Formas de Desplazamientos**



En la figura 5 se muestran los máximos desplazamientos alcanzados para 3 sismos generados. En todos los casos se puede observar que la respuesta del pórtico modelado con el elemento tipo 15 aproxima mejor a las formas de desplazamientos de diseño especialmente en el caso 3, tendiendo a ser levemente parabólicas y notándose la formación de las articulaciones plásticas en las columnas de la base, mientras que en el caso del pórtico diseñado con elemento tipo 2 cambia la concavidad de la curva, produciéndose mayores distorsiones de piso, notándose mayores diferencias en los pisos inferiores. También puede notarse que en el caso de las columnas modeladas con el elemento tipo 2 no se observa el efecto de la formación de las articulaciones plásticas en las columnas de la base.

Las distorsiones de piso son superiores en el diseño con elemento tipo 2 localizándose las mayores distorsiones en



los pisos superiores

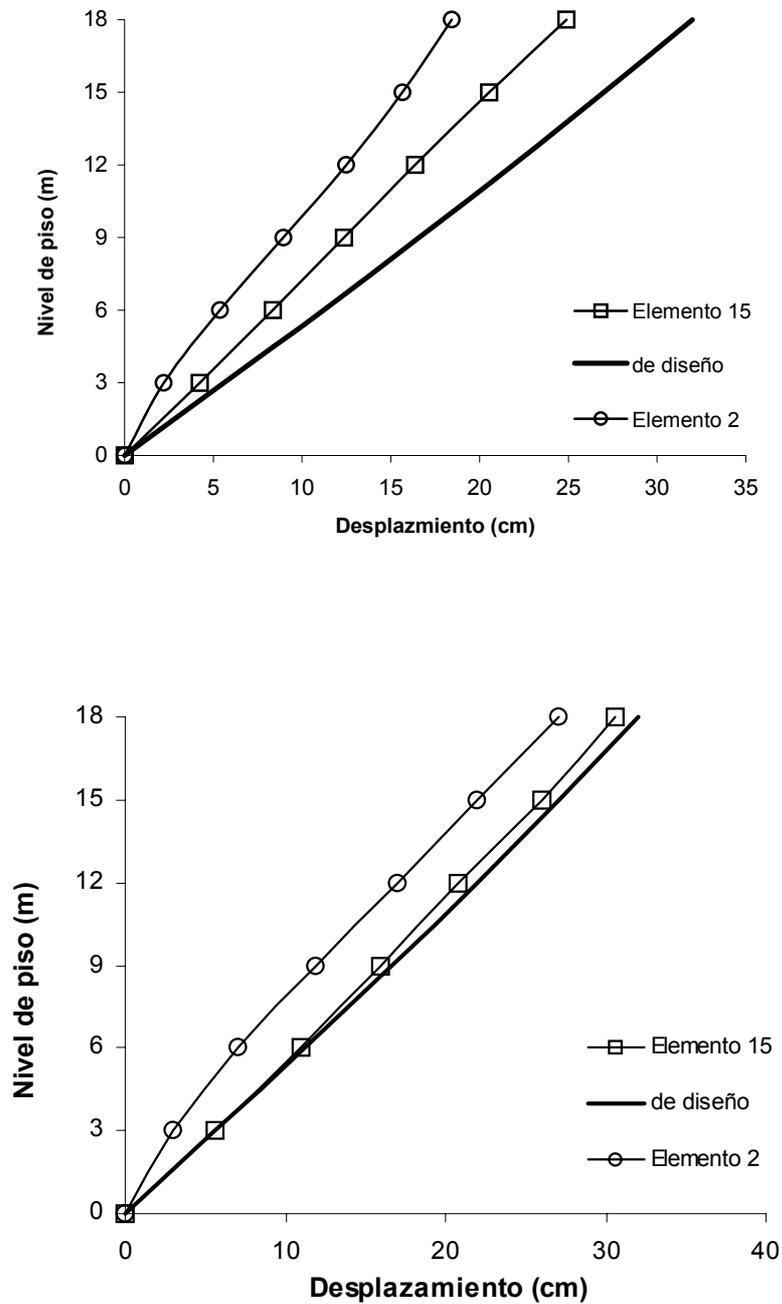


Fig. 5 Máximos desplazamientos para sismos generados.

## CONCLUSIONES

- El elemento tipo 2 tiene limitaciones en el modelado de columnas donde los efectos de la interacción P-M es importante. En este modelo se considera que el elemento permanece elástico para cargas axiales y que no se producen alargamientos o acortamientos asociados a las articulaciones plásticas.

- Para elementos donde la interacción P-M es importante es conveniente el uso de elemento de fibra para modelar la sección transversal. Permitiendo éste un mejor monitoreo de las secciones ya que es posible conocer el comportamiento de las secciones consideradas a través de la curvatura y de las deformaciones producidas.
- La fidelidad del modelo con elemento de fibra (tipo 15) dependerá del número de éstas consideradas en la sección transversal y del número de segmentos considerados a lo largo de la longitud del elemento.
- Del análisis dinámico de las estructuras se puede ver la estructura cuyas columnas de la base se modelan con el elemento de fibra es más flexible que la modelada con elemento tipo 2.

## REFERENCIAS

- [1] Prakash V., Powell G., Campbell S., Filippou F., DRAIN-2DX, Structural Engineering, Mechanics and Materials, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley. 1992.
- [2] Reglamento INPRES-CIRSOC 103, Normas Argentinas para construcciones sismorresistentes. 1991.
- [3] Amani M., Diseño Sísmico Basado en los Desplazamientos. Aplicación a pórticos de H<sup>o</sup>A<sup>o</sup>. Laboratorio de Estructuras, Universidad Nacional de Tucumán. 1999.
- [4] Priestley, M.J.N. and Calvi, G.M. "Concepts and Procedures for Direct Displacement-Based Design and Assessment". Bled Conference Proceedings, Slovenia. June, 1997.