

# Análisis estático no lineal



*Denis Rodríguez M.  
drrodrig@gmail.com  
drrodrig@cantv.net*

Los Ingenieros estructurales, en su afán de conocer y comprender cada día más el comportamiento en el rango inelástico en el que incursionan las estructuras sometidas a las acciones sísmicas, han creado en el tiempo, herramientas de análisis cada vez más refinadas, tales como el análisis no lineal de cedencia sucesiva, popularmente conocido como Método Pushover o por sus siglas, Análisis Estático No Lineal (AENL), contemplado en el artículo 9.9 de la norma COVENIN 1756:2001. Este análisis se sustenta en investigaciones realizadas sobre miembros estructurales reales aplicando cargas laterales para observar la formación secuencial de rótulas plásticas.

Dicho análisis (AENL) se ha venido empleado con mucho éxito en estructuras que necesitan adecuarse, debido a que son vulnerables a acciones de eventos naturales, tales como sismos y vientos. La aplicación del AENL permite determinar la capacidad resistente de la estructura y compararla con la demanda posible ante un evento natural. La demanda depende de la amenaza sísmica y del sitio de ubicación de la estructura, así como de las características globales. La capacidad de la estructura depende de la rigidez, la resistencia y la deformación de cada uno de sus miembros.

Por lo tanto cuando se procede a realizar un Análisis Estático No Lineal es necesario contar con la siguiente información sobre la estructura:

- Características constitutivas de los materiales.
- Las dimensiones de las secciones de los miembros y el acero de refuerzo, tanto longitudinal como transversal y el detallado de cada uno de ellos.
- Las acciones gravitacionales (cargas permanentes y variables) que actúan sobre ella.

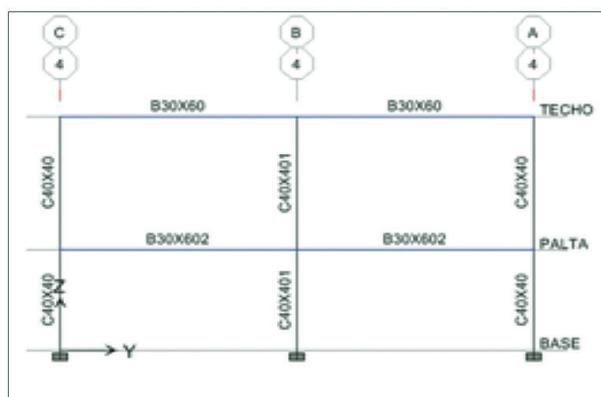
- La resistencia real de las vigas y las columnas.
- La posible ubicación donde podrían formarse las rótulas plásticas en los miembros estructurales.
- Las propiedades de las relaciones tensiones-deformación de las rótulas plásticas en función de su cantidad de acero de refuerzo longitudinal y transversal, así como su detallado y las sollicitaciones que actúan.
- Cargas laterales aplicadas en el centro de masa de la estructura. El valor de estas cargas por pisos debe tener la misma forma de cargas proveniente de la aplicación del primer modo. Es decir, de forma triangular invertida, de mayor valor en el piso superior y menor en el nivel inferior.

El AENL consiste en que primero actúan las cargas gravitacionales en la estructura produciéndose las primeras deformaciones, luego pasan a actuar las cargas laterales que se incrementan, paso a paso, en una dirección hasta que se forma la primera rótula plástica y se presenta una redistribución de rigidez de la estructura, y así prosigue un proceso iterativo hasta que la estructura falla totalmente.

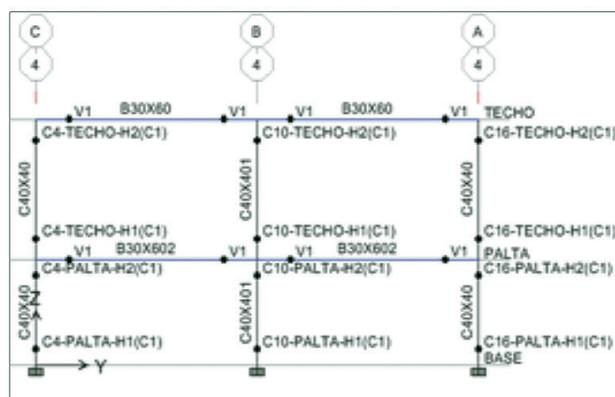
De igual manera sucede con las cargas laterales en la otra dirección. Es decir, AENL consiste en tres análisis, uno por carga gravitacional y dos por cargas laterales en ambas direcciones. Así se obtiene una gráfica, que muestra dónde se forman las rótulas plásticas en las estructuras, y dos curvas (curvas pushovers) que muestran el corte basal V, relacionado con el desplazamiento en el nivel superior.

Con la gráfica 1 que muestra la formación de las rótulas se puede determinar si el mecanismo formado de falla se debe a que las rótulas se hacen primero en las vigas, preferentemente, que en las columnas o viceversa (mecanismo indeseado). Las

## Análisis Estático No-lineal (A.E.N.L.)



Pórtico



Pórtico con rótulas previstas

Figura 1

curvas de pushovers muestran la capacidad de la estructura y su comportamiento inelástico. Este comportamiento y capacidad variará, en parte, de acuerdo, fundamentalmente, al detallado de los miembros estructurales. La capacidad deberá compararse con la demanda en el caso de estudio de estructuras existentes y con base en esta comparación se tomará la decisión de si se debe reforzar o no.

A manera de ejemplo se realizaron dos análisis de un mismo pórtico aplicando el Análisis Estático No Lineal, considerando las mismas dimensiones de los miembros, iguales características de los materiales, similares cargas gravitacionales y laterales, así como también la ubicación y selección de las rótulas plásticas. Ver Figura1

Sólo fueron diferentes las propiedades de las rótulas plásticas en las vigas y las columnas. En el primer análisis, identificado como A1 en la Figura 2, se consideró que los miembros fueron detallados de tal manera que cumplen con todos los requisitos que exigen las normas actuales (por ejemplo la Fondonorma NV 1753:2006 y el ACI 318-08). En el segundo análisis, A2, la Figura 2, por el contrario, cumple con las normas de mediados del siglo pasado. Comparativamente las curvas se presentan en la figura 2.

En estas curvas se puede observar el comportamiento no lineal de las estructuras de acuerdo con su detallado, y deducir muchos aspectos importantes para la toma de decisiones en el proyecto, tanto de estructuras existentes como de estructuras nuevas.

Sin duda alguna esta herramienta de análisis es de gran ayuda en el proyecto (análisis y diseño) de estructuras some-

### Curvas pushovers de los análisis

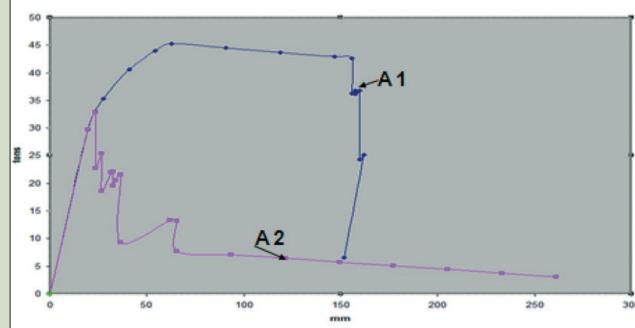


Figura 2

tidas a cargas laterales, pero implica un mejor conocimiento y juicio por parte de los ingenieros estructurales. A continuación se dan algunas referencias bibliográficas importantes para profundizar en el tema. ■

ASCE/SEI-41(2007). *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*. American Society of Civil Engineers, Reston, VA.

ATC-40 (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Volume ATC-40 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California.

FEMA 273 (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* Develop by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency. Report N. Washington, D.C.

FEMA 356 (2000). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency. Washington DC.

FEMA 440 (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

#### Agradecimiento

El Autor de este artículo agradece a la Gerencia de Mercadeo y Ventas de Sidetur por el apoyo en la realización de los trabajos e investigación referentes al uso acero de refuerzo en concreto reforzado.