

II CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN

CARACTERÍSTICAS ANALÍTICAS NOLINEALES EN ESTRUCTURAS

Esp. Ing. Ricardo Oviedo Sarmiento

Especialista Ing. Sismorresistente - UNI

Maestría Ing. Estructural - UNI

Catedrático – UNFV

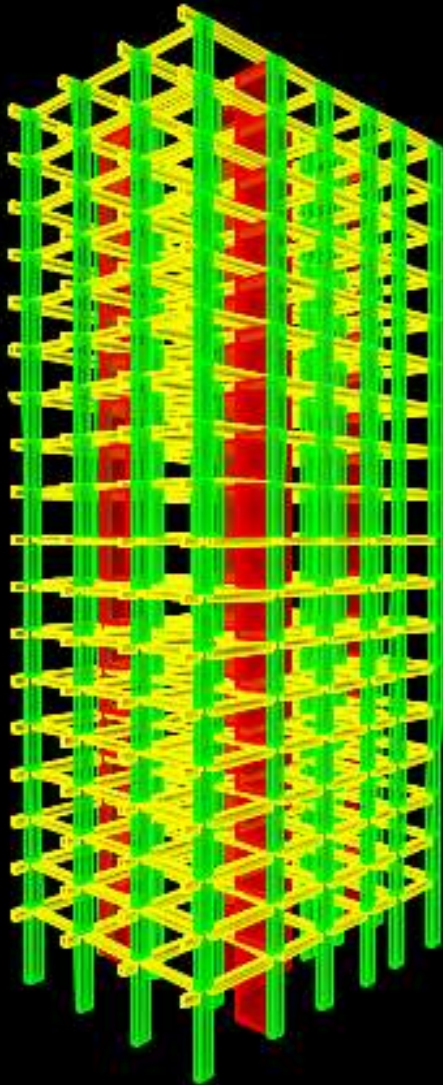
oviedos@email.com

RESUMEN

El presente artículo explicara y comentara sobre las capacidades de análisis inelástico tridimensional de estructuras sometidas a fuerzas sísmicas, básicamente del programa SAP2000 en su última versión.

En el análisis estructural, el crear un modelo en la computadora con un finito número de miembros con masas y un finito número de desplazamientos nodales que simulen el real comportamiento de la estructura es un proceso más que importante. Las masas pueden ser estimadas y las propiedades de rigidez también con adecuada aproximación gracias a los experimentos. Pero las cargas dinámicas, la disipación de energía y las condiciones de borde son difíciles de estimar. Debido a lo complejo del análisis dinámico sísmico inelástico se requieren de simplificaciones para obtener un modelo matemático soluble con las computadoras disponibles.

ANÁLISIS TRIDIMENSIONAL NO LINEAL



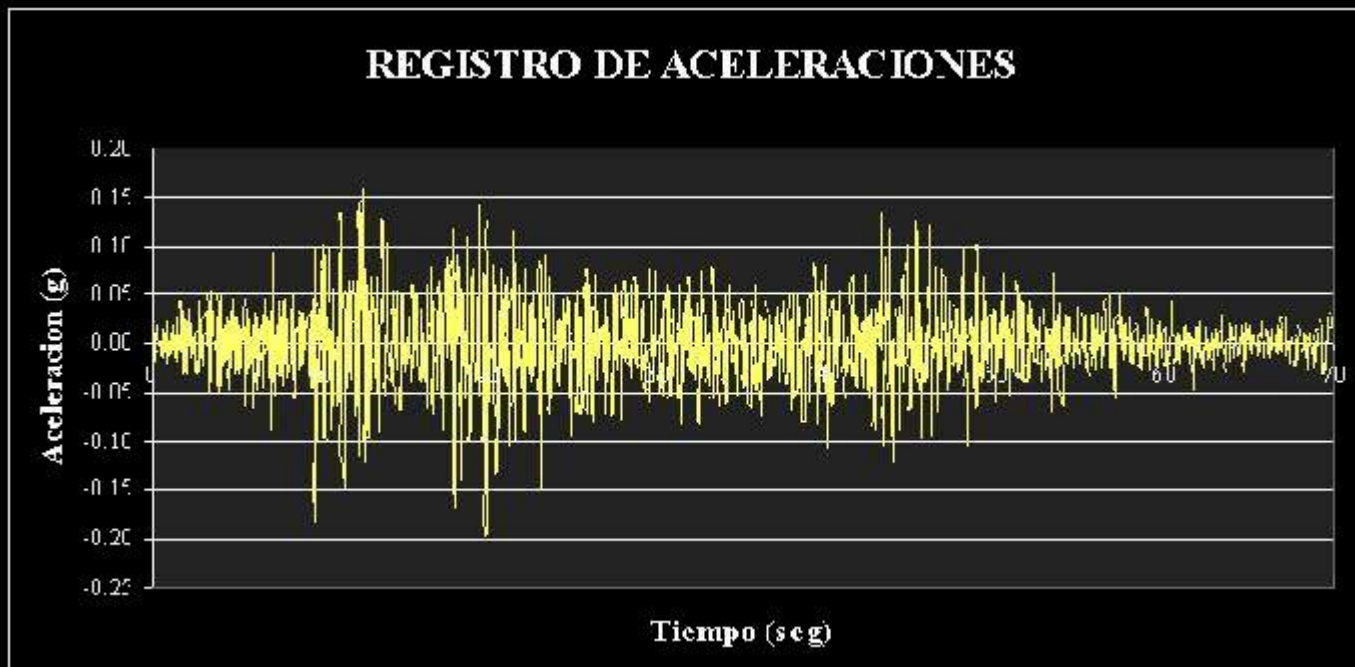
La fuerza exacta de equilibrio del modelo en computadora de una estructura en un tiempo t es expresada por la siguiente ecuación matricial:

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K} \mathbf{u}(t) + \mathbf{R}(t)_{NL} = \mathbf{R}(t)$$

Donde \mathbf{M} , \mathbf{C} y \mathbf{K} son las matrices de masas, amortiguamiento proporcional y rigidez respectivamente. Los vectores dependientes del tiempo son la aceleración, velocidad y desplazamiento respectivamente. El vector $\mathbf{R}(t)_{NL}$ es el vector de fuerza resultante de la suma de las fuerzas en los elementos no lineales y es calculado para cada iteración en cada instante de tiempo.

ACELERACIÓN SÍSMICA

Generalmente en los análisis tiempo historia, 50 puntos por segundo son utilizados para definir un registro de aceleración sísmica, y se asume que la función de aceleración es lineal en cada incremento de tiempo.



ACELERACIÓN SÍSMICA

Las velocidades y los desplazamientos pueden entonces ser calculadas de la integración de las aceleraciones y velocidades en cada intervalo de tiempo:

$$\dot{\ddot{u}} = \frac{1}{\Delta t} (\ddot{u}_i - \ddot{u}_{i-1})$$

$$\ddot{u}(t) = \ddot{u}_{i-1} + t \dot{\ddot{u}}$$

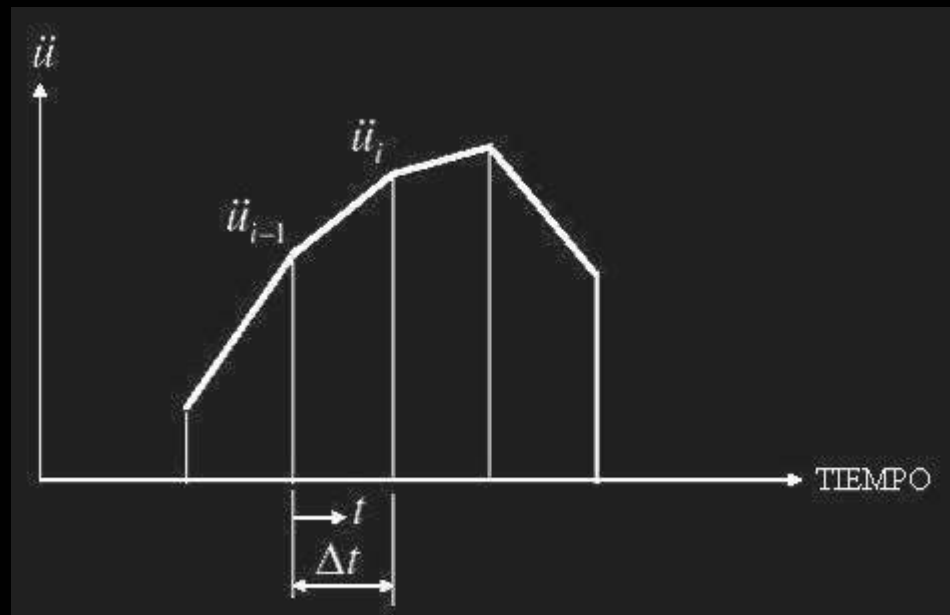
$$\dot{u}(t) = \dot{u}_{i-1} + t \ddot{u}_{i-1} + \frac{t^2}{2} \dot{\ddot{u}}$$

$$u(t) = u_{i-1} + t \dot{u}_{i-1} + \frac{t^2}{2} \ddot{u}_{i-1} + \frac{t^3}{6} \dot{\ddot{u}}$$

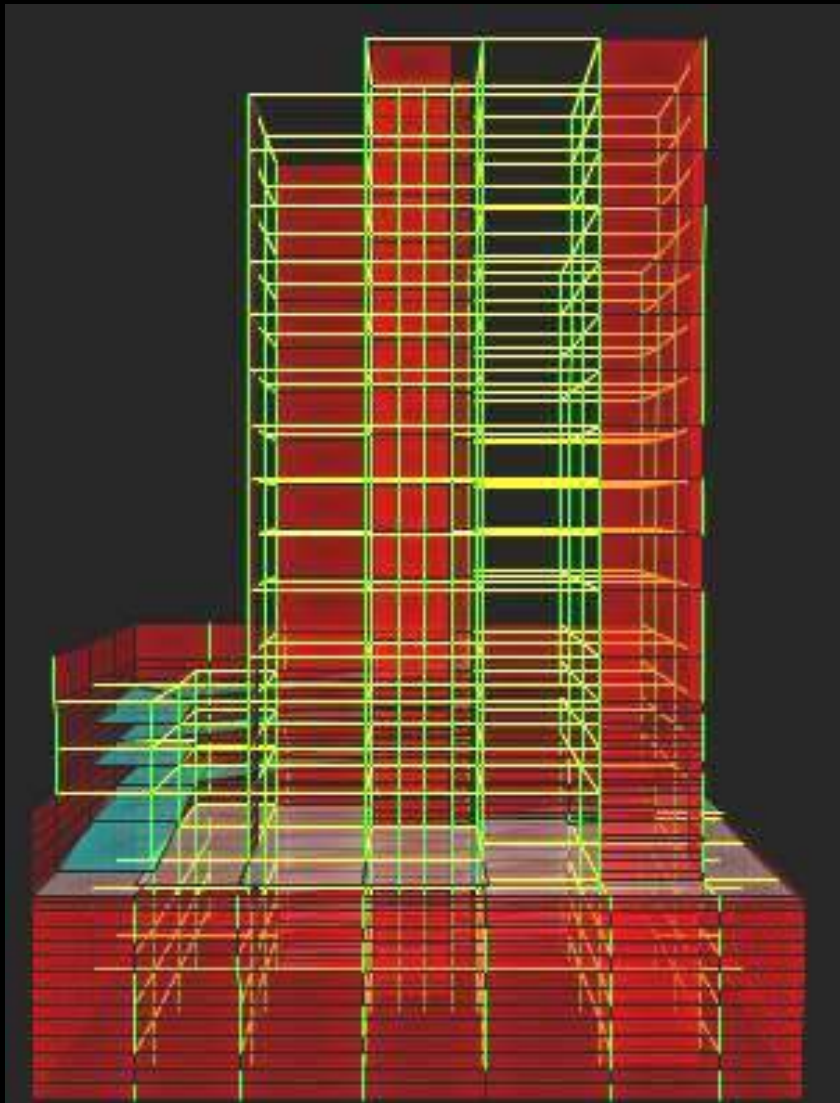
Los desplazamientos son funciones cúbicas en cada incremento de tiempo. Si los desplazamientos son usados como carga sísmica especificada, pequeños pasos, basado en desplazamientos cúbicos, debe ser utilizado para el análisis dinámico estructural.

Método de solución paso a paso

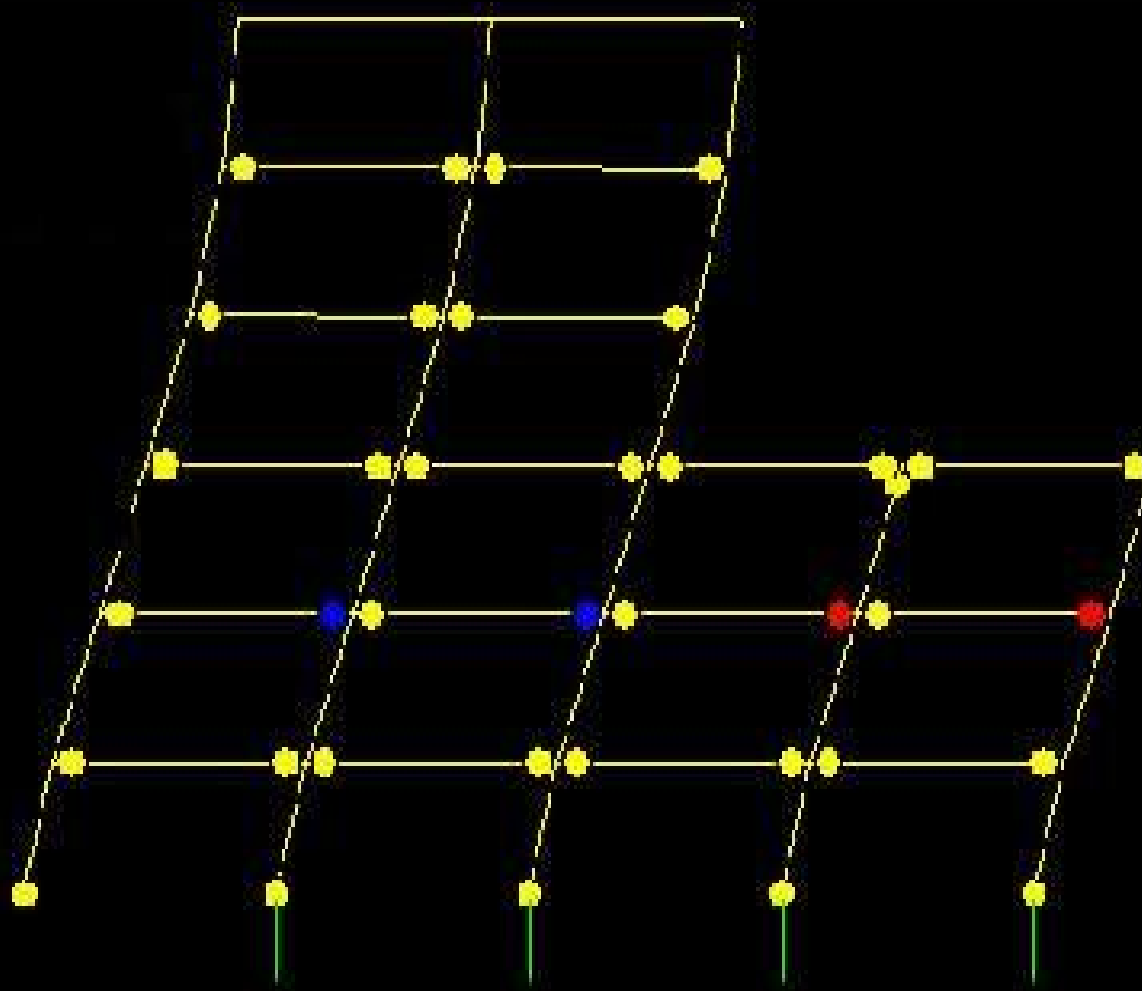
El método de solución más general para el análisis dinámico es un método incremental en donde las ecuaciones de equilibrio son resueltas a incrementos de tiempo Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, etc. En el caso del análisis inelástico, puede ser necesario reformar la matriz de rigidez para el completo sistema estructural para cada paso en el tiempo.



CARACTERÍSTICAS INELÁSTICAS - PROGRAMA SAP2000

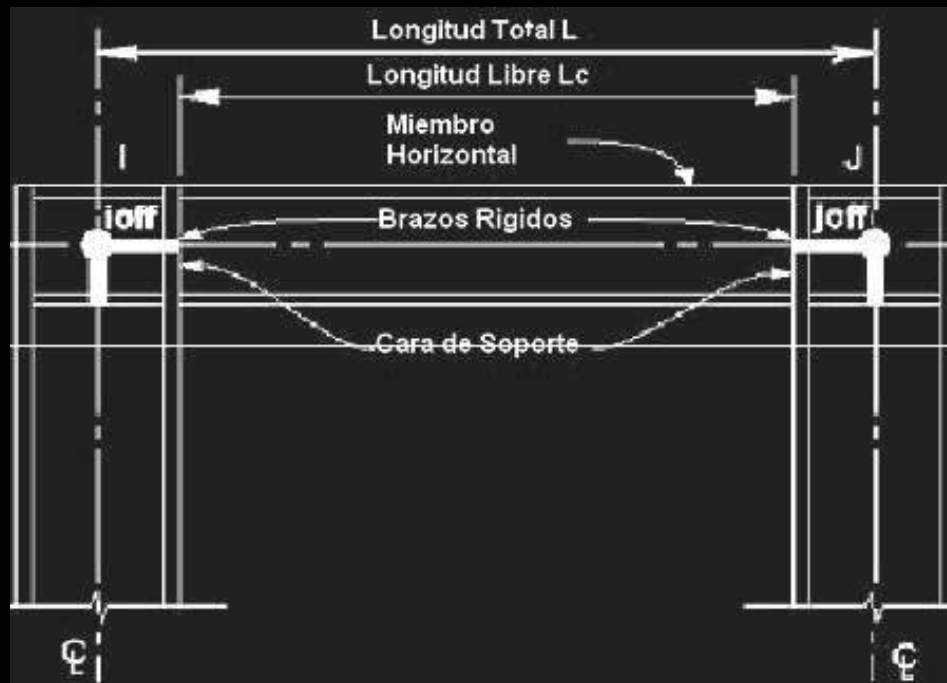


ELEMENTOS NOLINEALES



Brazos rígidos en los elementos

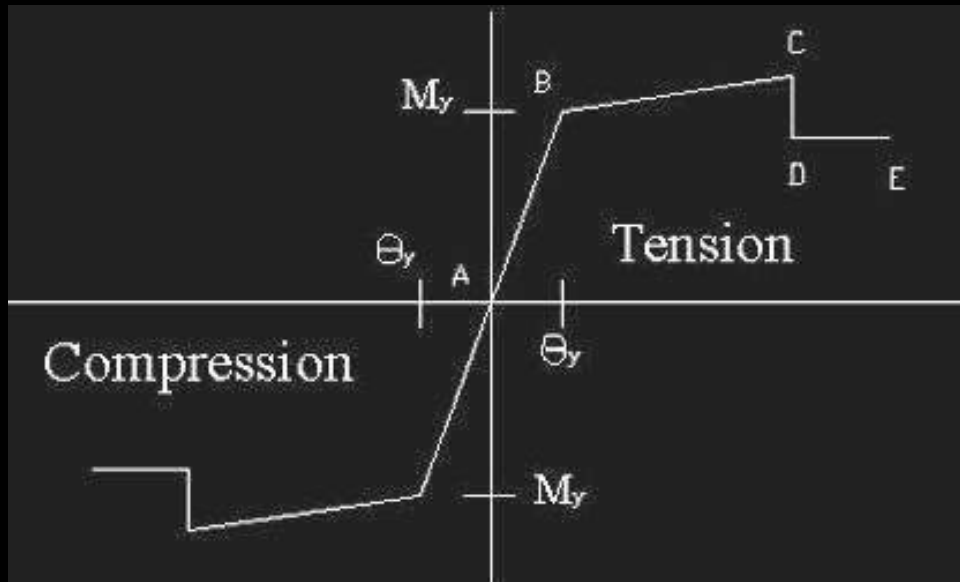
El programa puede calcular los brazos rígidos de la conectividad entre las propiedades de los elementos en el modelo. Se puede especificar factores de zona rígida en los elementos. Este es un factor utilizado para definir el porcentaje de la zona especificada a ser tratada como totalmente rígida.



Propiedades de las rótulas plásticas

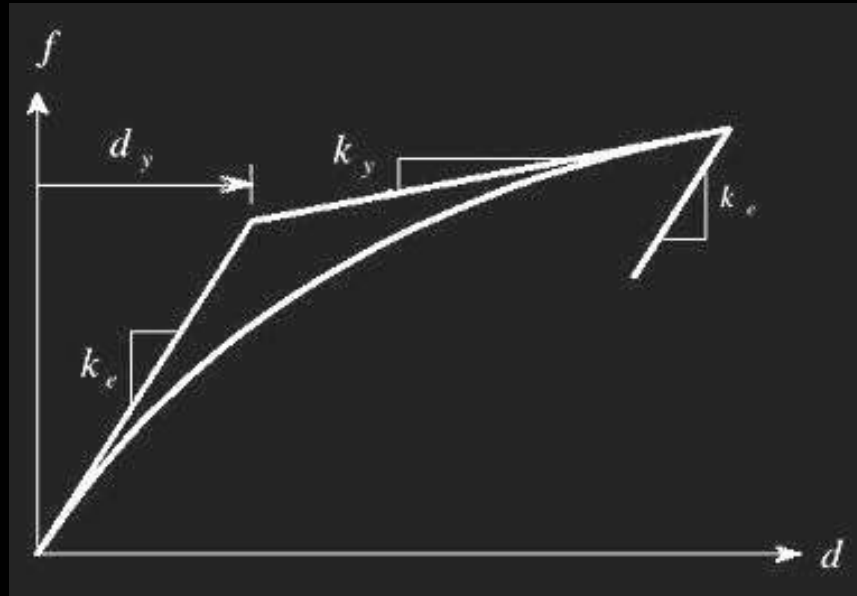
Para cualquier grado de libertad de un elemento Frame, se pueden asignar las propiedades de las rótulas. El programa SAP2000 calcula las propiedades fuerza deformación basándose en el refuerzo asignado a los extremos del elemento.

Las propiedades de las rótulas por defecto son computadas de las propiedades de la sección del elemento al cual son asignadas. Estas son típicamente basadas en los criterios del FEMA-273 y/o ATC-40.



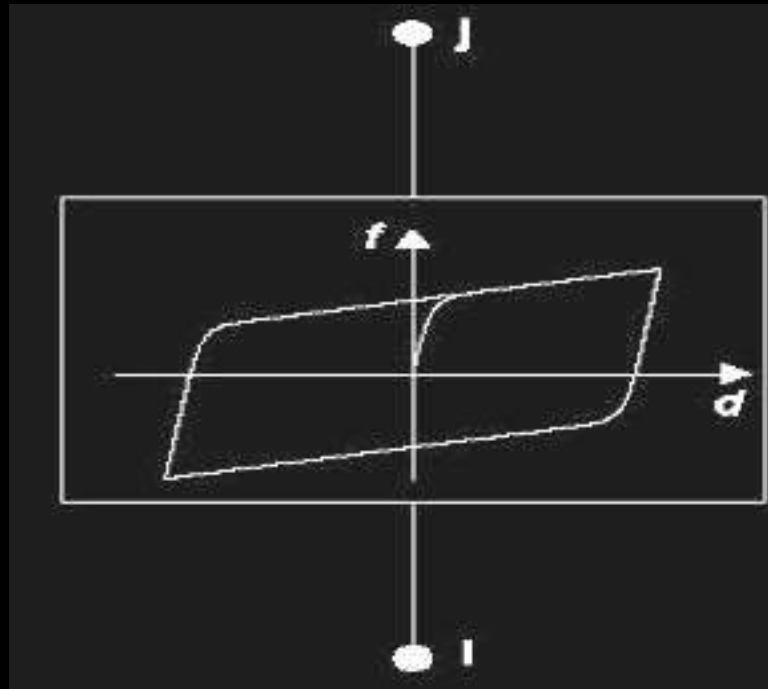
Propiedades de los elementos con rótulas plásticas

Son elementos tridimensionales donde el usuario debe definir un sistema de ejes locales de referencia 1-2-3 para definir las propiedades locales no lineales del elemento y así interpretar los resultados. Los tres desplazamientos y las tres rotaciones son posibles en ambos puntos I y J y pueden ser expresados en el sistema de referencias global X-Y-Z o en el local 1-2-3.



Propiedades plásticas generales

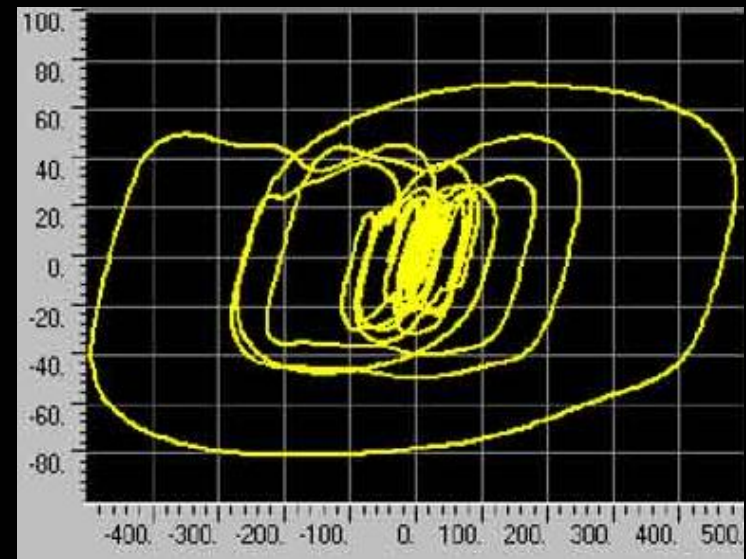
El modelo plástico esta basado en el comportamiento histerético propuesto por Wen (1976), el cual permite una mayor flexibilidad y precisión. En este modelo cada grado de libertad de deformación puede especificarse independientemente de las propiedades plásticas uniaxiales. Todas las deformaciones internas son independientes.



Método de descarga de las rótulas plásticas

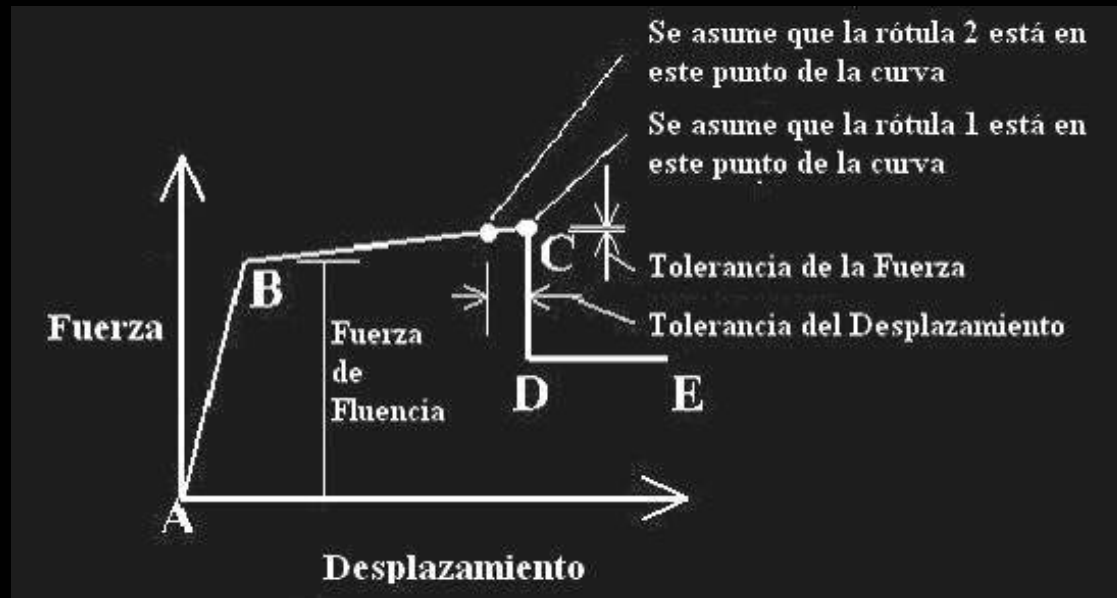
Si es necesario durante un análisis tiempo historia no lineal por integración directa, SAP2000 utilizara el método de redistribución local. Este método sólo descarga el elemento conteniendo la rótula a ser descargada. Cuando una rótula esta en un tramo negativo de la curva esfuerzo deformación y las cargas aplicadas causan que la deformación se invierta, el programa aplica una carga temporal, localizada, interna y equilibrada para descargar el elemento.

Esto origina la descarga de la rótula. Una vez que la rótula es descargada, la carga temporal es invertida, transfiriendo la carga removida a los elementos vecinos. Este proceso es intentado para imitar como la fuerza de inercia puede estabilizar rápidamente un elemento descargándose.



Tolerancias de agrupamiento del evento

La solución del algoritmo no lineal utiliza una estrategia evento a evento para las rótulas en los elementos. Si se tiene una gran cantidad de rótulas en el modelo, esto podría resultar en una gran cantidad de pasos de solución. La tolerancia del agrupamiento del evento es utilizado para agrupar eventos juntos y reducir el tiempo de solución. Esto se puede observar en la figura.



Amortiguamiento viscoso

El amortiguamiento viscoso especificado es el amortiguamiento de Rayleigh, donde la matriz de rigidez [C], es construida de la matriz de masas [M] y la matriz de rigidez [K]:

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

Donde α y β , son coeficientes especificados por el usuario.

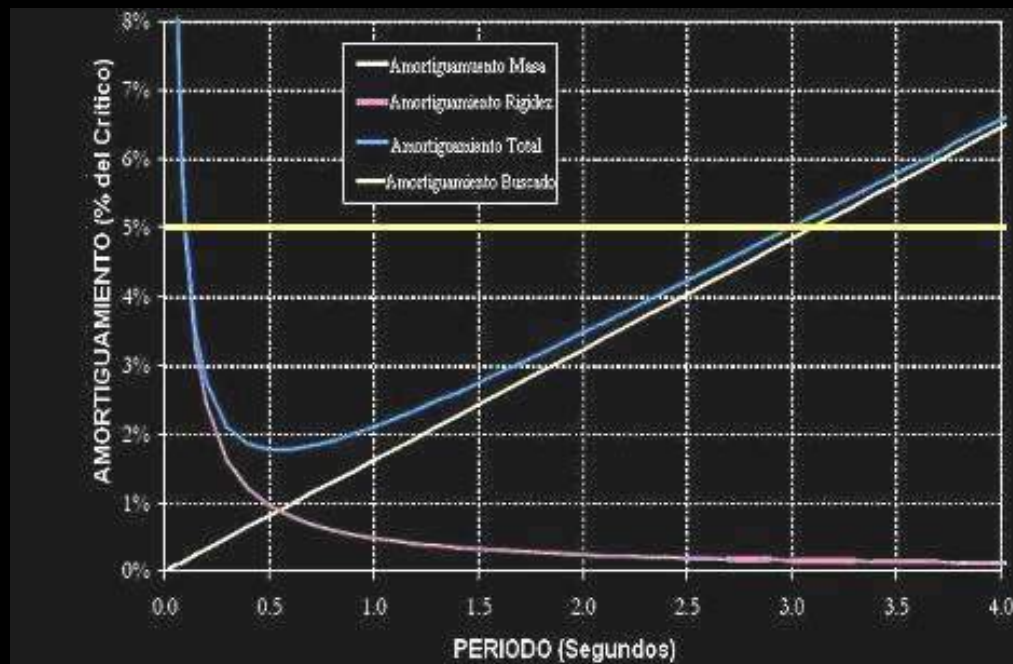
Estas dos constantes pueden ser calculadas para dos períodos de respuesta, T_1 y T_2 , los cuales tienen asociados radios de amortiguamiento viscosos, λ_1 y λ_2 :

$$\alpha = \frac{4 (T_1 \lambda_1 - T_2 \lambda_2)}{(T_{22} - T_{12})}$$

$$\beta = \frac{T_1 T_2 (T_2 \lambda_1 - T_1 \lambda_2)}{(T_{22} - T_{12})}$$

Amortiguamiento viscoso

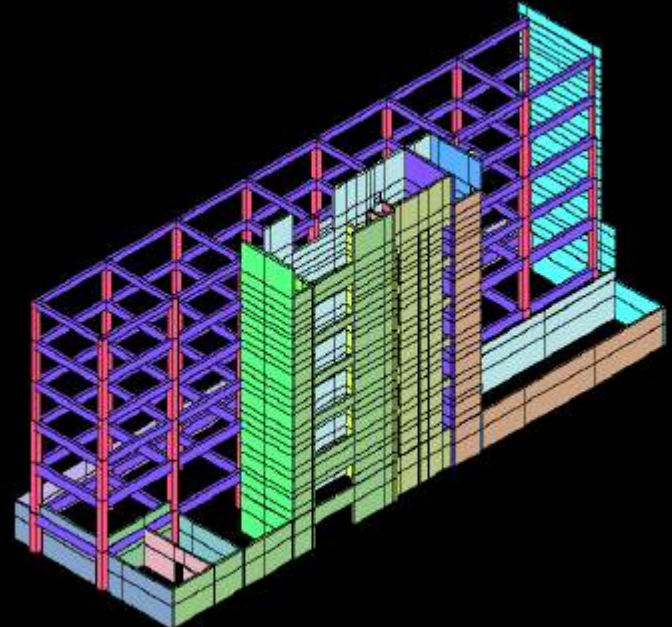
El amortiguamiento estructural proporciona un amortiguamiento inherente en el sistema estructural. Los procedimientos de análisis aplican un 5% de amortiguamiento viscoso, este porcentaje lo asumen la mayoría de los códigos sísmicos. Comúnmente se asume un amortiguamiento del tipo viscoso por su simplicidad matemática.



CONCLUSIONES

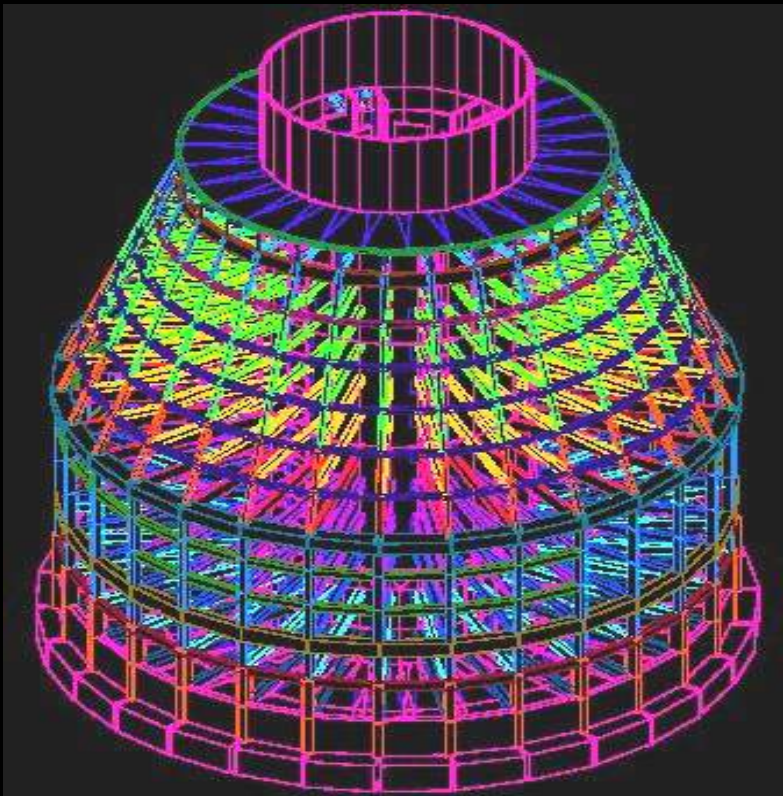
La realización de un análisis inelástico nos da una mayor aproximación al comportamiento real de la estructura ante un evento sísmico; debido a que la respuesta tiempo historia y los esfuerzos en los elementos varían respecto al tiempo.

El mecanismo de formación de las rotulas plásticas nos permite conocer las zonas mas vulnerables de la estructura y donde se debería poner mayor énfasis en el proceso de diseño o posible incorporación de mecanismos disipadores de energía.



CONCLUSIONES

El programa SAP2000 también presenta un método de análisis no lineal rápido (Fast Nonlinear Analysis – FNA), el cual es de suma ayuda para realizara análisis rápidos con solo algunos elementos con características no lineales.



El uso del amortiguamiento suplementario por ser un método efectivo se recomienda para resistir la fuerza sísmica en las estructuras. El programa SAP2000 brinda varias opciones para poder incluir estas características en el sistema.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN !!!

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- COMINETTI, S., and CRUZ, E. 2000. “*Elastic and Inelastic Response of Three-Dimensional Buildings Models*”, 12th World Conf. on Earthquake E. New Zealand.
- WILSON, E. 2002. “*Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures*”, Computer and Structures, Inc. Berkeley, California, USA.
- COMPUTERS AND STRUCTURES, INC. “*SAP2000 Help*”, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA
- APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL, 1996. “*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*”, ATC40. Redwood City, California. USA.
- FEMA. 1997. “*NEHRP Guidelines and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*”, 273 and 274, October, Washington, D.C. USA.
- BOZZO, M. AND BARBAT, H. 2002. “*Diseño Sismorresistente de Estructuras*”, Fondo Editorial del Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima - Perú.
- COMPUTERS AND STRUCTURES, INC. 2002 “*SAP2000 Analysis Reference Manual*”, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA.
- C&S INC. 2003 “*SAP2000 Version 8.2.7, A Program for Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis of Three Dimensional Structures*”, California, USA.
- SANCHEZ, P. y SONZOGNI, V. 2002. “*Análisis Sísmico No Lineal de Estructuras de Edificios*”, XVII Jornada Argentina Ingeniería Estructural, Santa Fe. Argentina.
- VASQUEZ, G. 1992. “*Análisis Inelástico de Estructuras Aporticadas*”, Informe de Investigación, CISMID – Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.

Esp. Ing. Ricardo Oviedo Sarmiento
oviedos@email.com
<http://oviedos.tripod.com/oviedo.htm>