

SOBRE RESISTENCIA GLOBAL EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA DE DUCTILIDAD

Roberto Aguiar Falconí⁽¹⁾ y Paúl Mora Muñoz⁽²⁾

⁽¹⁾Centro de Investigaciones Científicas
Escuela Politécnica del Ejército
raguiar@espe.edu.ec

⁽²⁾Carrera de ingeniería Civil
Escuela Politécnica del Ejército
polmmm@hotmail.com

RESUMEN

Del análisis de 216 edificios de hormigón armado de 1 a 6 pisos, que tienen en promedio una relación entre la rigidez post fluencia con respecto a la rigidez elástica de 0.05, se obtienen relaciones entre la demanda de ductilidad y la sobre resistencia.

Previamente se presenta la metodología utilizada para determinar la relación entre la demanda de ductilidad y la sobre resistencia, la misma que se origina a partir de la curva de capacidad sísmica resistente que se obtiene mediante análisis no lineal elástico.

1. ANTECEDENTES

En la evaluación del factor de reducción de las fuerzas sísmicas R interviene el factor de sobre resistencia R_{Ω} , materia del presente artículo. En Aguiar y Mora (2007) se encontraron relaciones entre la deriva máxima de piso y la sobre resistencia.

Ahora interesa encontrar relaciones entre la demanda de ductilidad y la sobre resistencia. Es importante diferenciar entre demanda de ductilidad y ductilidad de diseño. En efecto, si una estructura se diseña para una ductilidad alta tendrá mayor sobre resistencia que una estructura diseñada para una ductilidad baja, ante la acción de un mismo sismo. Elnashai y Mwafi (2002).

Las estructuras diseñadas para ductilidad alta tendrán un mayor detallado de sus elementos, es muy probable que sus columnas tengan mayores dimensiones requeridas para cumplir con el diseño de la conexión viga columna. En cambio si una estructura se diseña para una ductilidad baja, el detallado será mínimo, probablemente no se controló la conexión viga columna. La capacidad resistente de la estructura con ductilidad alta será mayor que la de ductilidad baja.

En este artículo no se obtiene la sobre resistencia para estructuras diseñadas con diferente ductilidad. Se trabajan con estructuras que responden a la forma como regularmente se diseña y construye en el Ecuador en hormigón armado, son estructuras bastante flexibles en las cuales las vigas tienen poco peralte.

Las estructuras analizadas tienen en promedio un valor $\alpha=0.05$. Siendo α la relación entre la rigidez post fluencia con respecto a la rigidez elástica. El valor de α es bastante bajo por ese motivo es que no se obtienen sobre resistencias altas. Aguiar y Mora (2007).

Lo que se encuentra en este trabajo son relaciones de sobre resistencia con demanda de ductilidad. A medida que la estructura tiene mayor demanda de ductilidad la sobre resistencia será menor ya que el cortante basal que le demanda el sismo es mayor.

Era importante presentar esta diferencia entre **demanda de ductilidad** y **capacidad de ductilidad**. Entendiendo por capacidad de ductilidad a la ductilidad con la cual fue diseñada la estructura.

2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

La metodología de cálculo con la cual se obtiene la relación entre la demanda de ductilidad y la sobre resistencia es la siguiente.

- i. Se halla la curva de capacidad sísmica resistente, que relaciona el desplazamiento lateral máximo con el cortante basal, empleando la técnica del pushover. Para encontrar esta curva se utilizó el programa DISIPA, Aguiar (2007). En la figura 1 se indica una curva encontrada en el estudio.

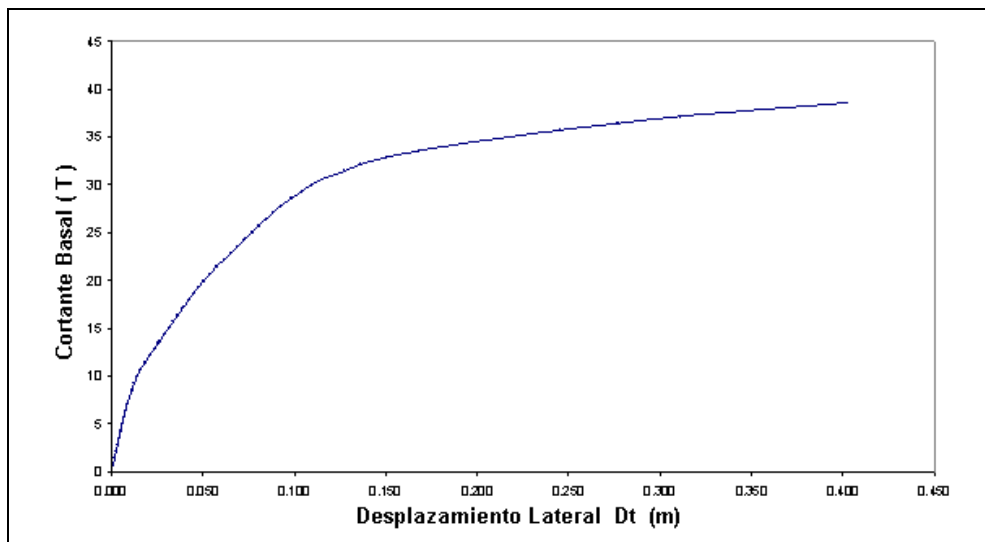


Figura 1 Capacidad Sísmica resistente, para un pórtico de un edificio de 4 pisos

- ii. Se encuentra un modelo bilineal de la curva de capacidad sísmica, empleando tres criterios; el primero el de iguales áreas; el segundo mediante un ajuste por mínimos cuadrados y el tercero considerando cuando una sección ingresa al rango no lineal. Para estos tres criterios descritos con detalle en Aguiar (2002) se determinó el punto de fluencia y se obtuvo un promedio de los mismos, que fue con el cual se trabajó. En la figura 2 se presenta la curva de capacidad sísmica y del modelo bilineal obtenido con el criterio de iguales áreas.

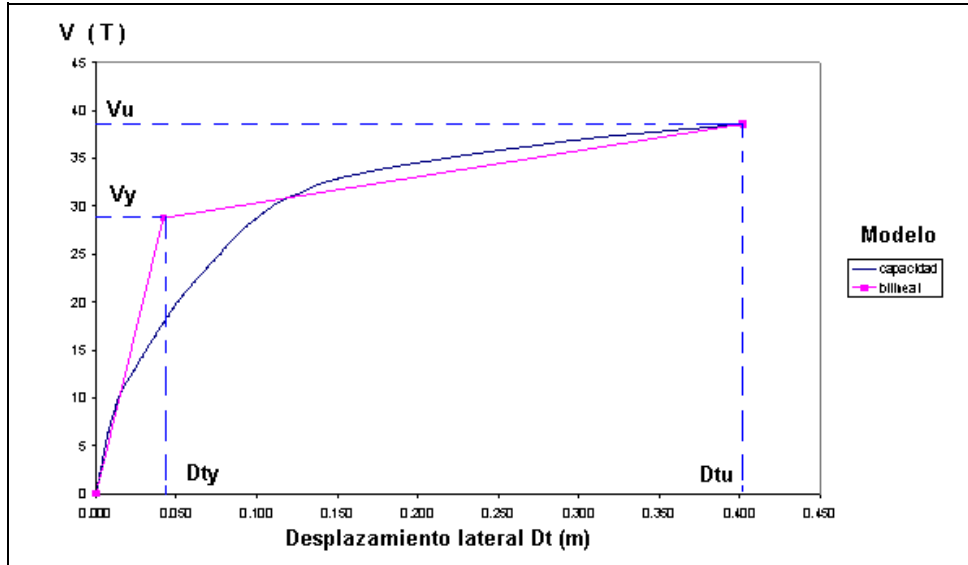


Figura 2 Modelo bilineal de la curva de capacidad sísmica resistente.

En el modelo bilineal se determina el punto de fluencia que tiene coordenadas D_{ty} , V_Y , siendo D_{ty} el desplazamiento a nivel de fluencia y V_Y el cortante de fluencia. Se define además el punto de capacidad última que tiene coordenadas D_{tu} , V_U , que son el desplazamiento y el cortante asociados al punto de fallo. Aguiar (2003).

- iii. En la curva de capacidad sísmica se hallan los puntos asociados a demandas de ductilidad μ de 2, 3 y 4 como se presenta en la figura 3. Sea D_t , V las coordenadas de uno de estos puntos. El desplazamiento D_t se halla con la siguiente ecuación.

$$D_t = \mu D_{ty} \tag{1}$$

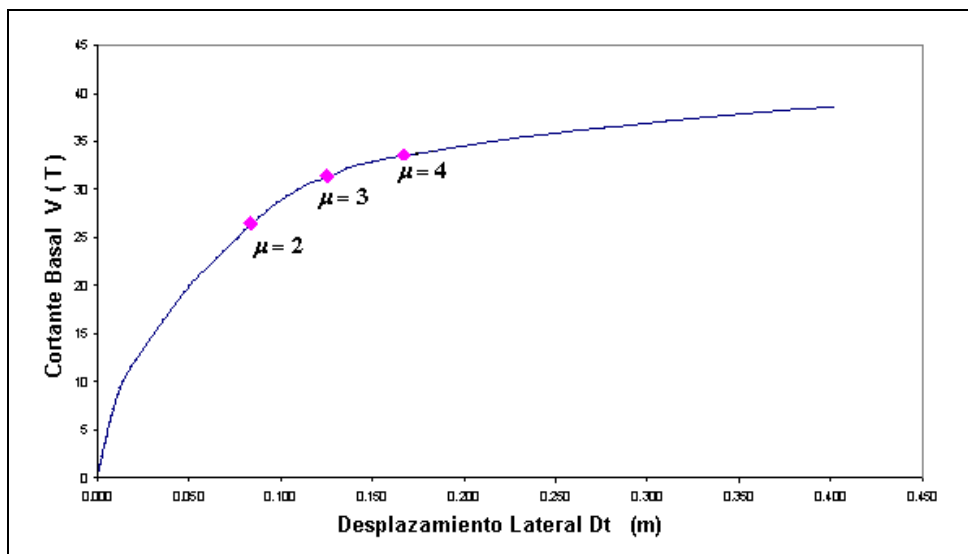


Figura 3 Puntos asociados a diferentes ductilidades en curva de capacidad.

- iv. Se halla la sobre resistencia R_{Ω} dividiendo el cortante V que está asociado a la ductilidad μ para el cortante V_U .

$$R_{\Omega} = \frac{V}{V_U} \quad (2)$$

3. ESTRUCTURAS DE ANÁLISIS

En Aguiar y Mora (2007) se describe la geometría de las estructuras analizadas, las mismas que varían de 1 a 6 pisos. Se indica además la armadura longitudinal y transversal de las columnas y vigas. Es importante destacar que las estructuras analizadas tienen dos vanos en cada dirección, como se aprecia en la figura 4, ya que hay investigadores que indican que el factor de sobre resistencia depende del número de vanos, mientras mayor es el número de vanos mayor es la sobre resistencia. Bertero y Bertero (1999) pero también hay otros que indican lo contrario. Massumi *et al* (2004).

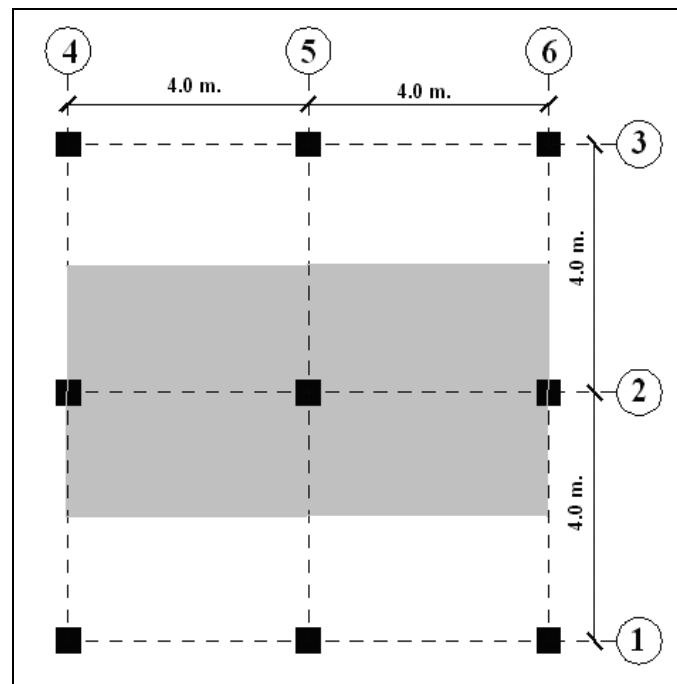


Figura 4 Distribución en planta de edificios analizados.

La sobre resistencia es función del parámetro α , como se indicó anteriormente este parámetro relaciona la rigidez inelástica K_P con respecto a la rigidez elástica K_E .

$$\alpha = \frac{K_P}{K_E} \quad (3)$$

$$K_P = \frac{V_U - V_Y}{D_{tu} - D_{ty}} \quad (4)$$

$$K_E = \frac{V_Y}{D_{ty}} \quad (5)$$

En la figura 5 se indican los valores del parámetro α de las estructuras consideradas en el estudio, se aprecia que a medida que aumenta el número de pisos, la dispersión de los valores disminuye. El valor promedio de todos los puntos, es $\alpha = 0.05$, de tal manera que la pendiente de la rigidez post fluencia es baja y es un indicio de que no se obtendrán valores altos de R_Ω .

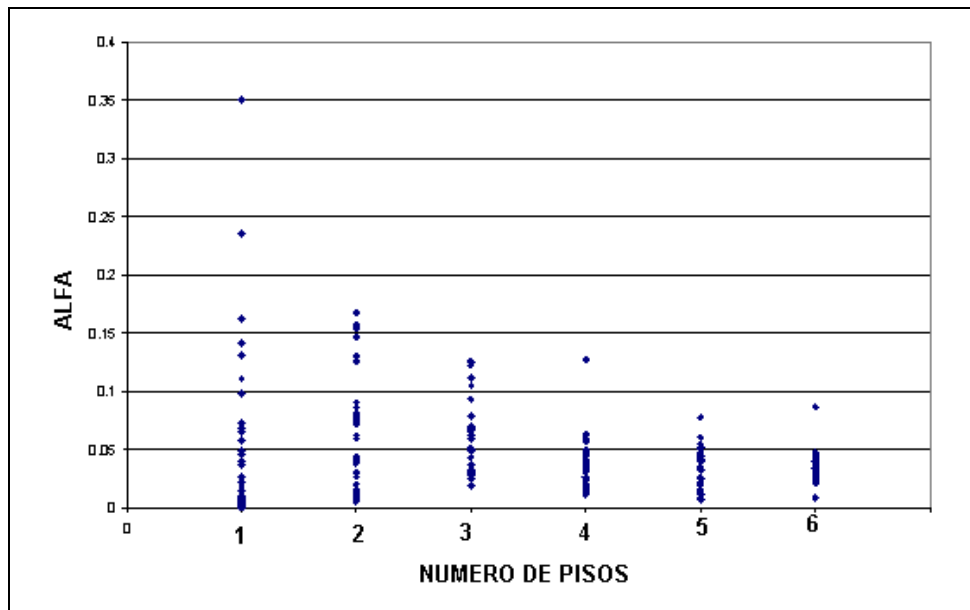


Figura 5 Valores del α de las estructuras consideradas en el estudio.

4. RESULTADOS

En la figura 6 se presentan los valores de sobre resistencia para demandas de ductilidad de 2, 3 y 4. Se aprecia una gran dispersión en los valores, especialmente para demandas de ductilidad de 2, en las estructuras de 1 piso.

Los valores de sobre resistencia varían entre 1 y 2.25 para los edificios analizados que tienen un parámetro que está alrededor de $\alpha = 0.05$.

Los valores promedios para cada una de las demandas de ductilidad, en cada uno de los pisos se indican en la tabla 1. Se observa que el promedio de los valores promedios son $R_\Omega = 1.363$ para demanda de ductilidad de 2; $R_\Omega = 1.268$ para demanda de ductilidad de 3 y $R_\Omega = 1.193$ para demanda de ductilidad de 4. Son valores bastante bajos.

En la figura 7 se indican las curvas promedio de sobre resistencia, en función del número de pisos, se aprecia que tienen un carácter oscilante, los menores valores se hallan en los edificios de 1, 2, 5 y 6 pisos. Los mayores valores se dan en los edificios de 3 y 4 pisos.

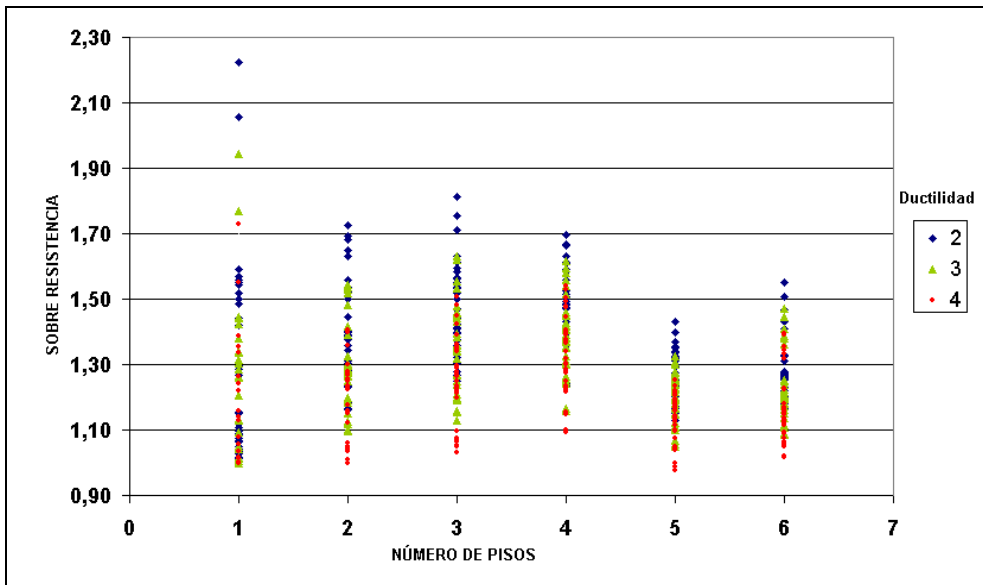


Figura 6 Variación de la sobre resistencia

Tabla 1 Valores de Sobre resistencia, promedios

No PISOS	R_{Ω}		
	$\mu = 2$	$\mu = 3$	$\mu = 4$
1	1.298	1.172	1.103
2	1.392	1.284	1.197
3	1.468	1.350	1.251
4	1.471	1.387	1.314
5	1.268	1.197	1.135
6	1.280	1.217	1.160
Promedio	1.363	1.268	1.193

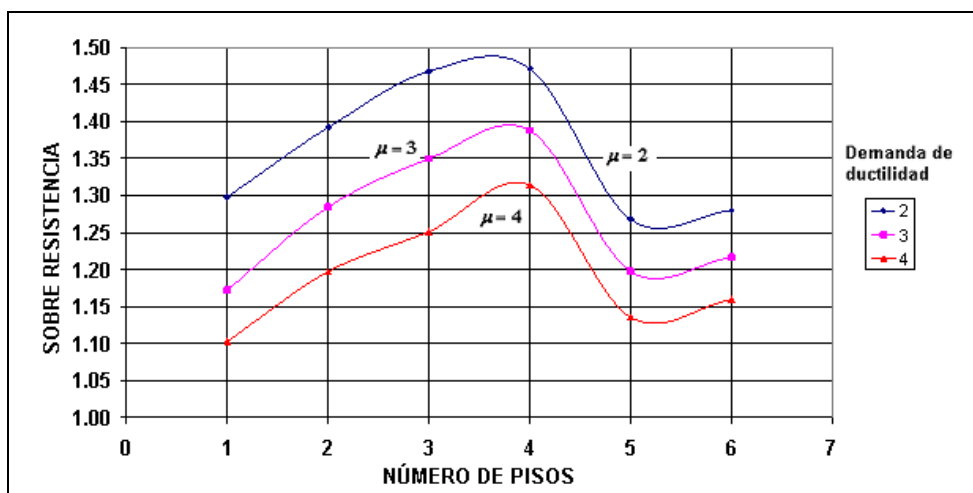


Figura 7 Valores medios de sobre resistencia en función de la demanda de ductilidad.

Con la metodología como se obtiene la sobre resistencia en función de la demanda de ductilidad, no se aprecia mayor influencia del refuerzo transversal en la determinación de R_{Ω} , como se observa en la figura 8. Lógicamente que las estructuras con estribos dobles tendrán menor demanda de ductilidad ante un sismo dato que la misma estructura con estribo simple. Por cierto los estribos utilizados son de 8 mm., espaciados a 10 y 20 centímetros.

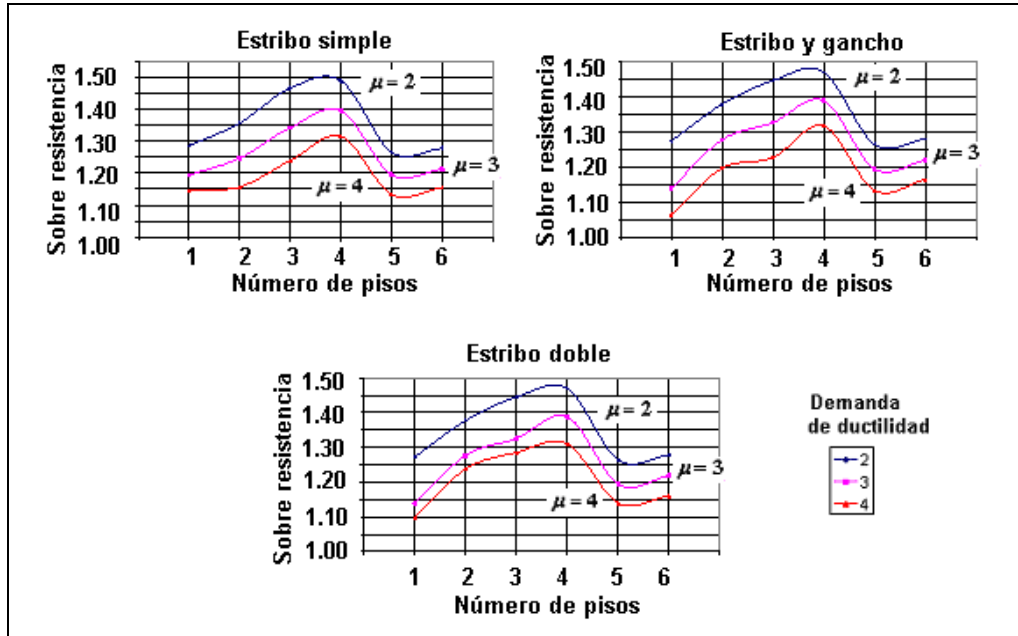


Figura 8 Influencia de refuerzo transversal en sobre resistencia.

5. CONCLUSIONES

Se han analizado 216 edificios de hormigón armado de 1 a 6 pisos, con vigas poco peraltadas y con columnas de dimensiones pequeñas. El valor promedio del parámetro α que relaciona la rigidez post fluencia con respecto a la rigidez elástica es aproximadamente 0.05. En los edificios anotados se obtuvo la demanda de ductilidad siguiendo la metodología descrita en el presente artículo. Del estudio realizado se desprenden las siguientes conclusiones:

- Para demandas de ductilidad de 4, el valor medio de R_{Ω} es de 1.2; para demandas de ductilidad de 3 es 1.3 y para demandas de ductilidad de 2 es 1.4.
- No se aprecia ninguna tendencia que haga suponer que a medida que se incrementa el número de pisos, la sobre resistencia aumenta, ni tampoco lo contrario.
- El tener mayor refuerzo transversal en columnas no influye significativamente en la sobre resistencia, en la forma como se ha calculado en el presente trabajo.

REFERENCIAS

1. Aguiar R., y Mora P., (2007), "Sobre resistencia global en función de la deriva máxima de piso"; *II Congreso de Ciencia y Tecnología, Escuela Politécnica del Ejército*, 1-20, Quito.

2. Aguiar R., (2007), "Programa DISIPA para encontrar la curva de capacidad sísmica resistente en pórticos con disipadores de energía visco elásticos", *XIX Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural. Universidad Nacional del Chimborazo*, 93-106, Riobamba, 107-127, Riobamba.
3. Aguiar R., (2002), *Sistema de Computación CEINCI3 para evaluar daño sísmico en los Países Bolivarianos*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 302 p., Quito.
4. Bertero R., and Bertero V., (1999), "Redundancy in earthquake-resistant design", *Journal of Structural Engineering*, **125 (11)**, 81-88.
5. Elnashai A., and Mwafi A., (2002), "Overstreight and force reduction factors of multistory reinforced concrete buildings", *Structural design of tall buildings*, **11**, 329-351.
6. Masumi A., Tasnimi A., and Saatcioglu M., (2004), "Prediction of seismic overstrength in concrete moment resisting frames using incremental static and dynamic analyses", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper 2026, Vancouver.