

COMPARACIÓN DE LA SOBRE RESISTENCIA GLOBAL EN FUNCIÓN DE LA DERIVA MÁXIMA DE PISO EN EDIFICIOS DE DOS Y TRES VANOS

Roberto Aguiar Falconí⁽¹⁾, Mario Guadalupe Garcés⁽²⁾ y Paúl Mora Muñoz⁽³⁾

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

⁽²⁾Escuela de Ingeniería Civil
Universidad Nacional del Chimborazo
Mariusjg82@yahoo.es

⁽³⁾Carrera de ingeniería Civil
Escuela Politécnica del Ejército
polmmm@hotmail.com

RESUMEN

Se han analizado 432 edificios de hormigón armado de 1 a 6 pisos, de 2 vanos y de 3 vanos y se ha encontrado la tendencia que existe entre la deriva máxima de piso y la sobre resistencia, en función del número de vanos.

Para hallar la relación entre la deriva máxima de piso y la sobre resistencia se encontró primero, la curva de capacidad sísmica resistente de los 432 edificios mediante análisis estático no lineal, esta curva relaciona el cortante basal con el desplazamiento lateral máximo en el tope del edificio; luego se encontró curvas que relacionan el cortante basal con la deriva global del edificio; después curvas que relacionen el cortante basal con la deriva máxima de piso y finalmente curvas que relacionen la sobre resistencia con la deriva máxima de piso.

1. ANTECEDENTES

Una de los parámetros que mejor correlacionan el daño esperado en una estructura es la deriva máxima de piso. De ahí que la mayoría de las normativas sísmicas establecen un tope máximo de la deriva de piso, de acuerdo al desempeño que se espera en la edificación. Así por ejemplo, el Comité VISION 2000 de los Estados Unidos de Norte América, establece los límites que se indican en la tabla 1.

Tabla 1 Distorsiones de Piso máximas, recomendadas por el Comité VISION 2000

Operacional	Inmediatamente Ocupacional	Seguridad de Vida	Prevención del Colapso	Colapso
< 0.2% +/-	< 0.5% +/-	< 1.5% +/-	< 2.5% +/-	> 2.5% +/-

Si no se espera ningún daño en la edificación luego de un sismo y se quiere que esta continúe funcionando, el desempeño se denomina, de acuerdo a VISION 2000 como

Operacional y la deriva de piso máxima permitida es 0.002 que en la tabla 1 se ha colocado 0.2%. El +/- significa que está alrededor de ese valor.

El Código Ecuatoriano de la Construcción, CEC-2000, establece un valor máximo de la deriva máxima de piso del 2 %, de tal manera que las estructuras que tienen mayor deriva de piso deben ser rediseñadas, no se puede pasar de ese valor para el diseño sísmico con el espectro del código.

En muchas ocasiones se diseñan estructuras muy flexibles con tal de que satisfagan que la deriva máxima de piso sea menor al 2 %. Estas estructuras no tendrán una sobre resistencia R_{Ω} alta. En la medida que la deriva de piso máxima esperada en el edificio se incrementa menor será R_{Ω} . De ahí la necesidad de conocer cuando vale la sobre resistencia de las estructuras de hormigón armado que se construyen en el Ecuador, en función de la deriva máxima de piso γ .

En el Ecuador se construyen edificios con muy pocas columnas, por ejemplo se tienen tres ejes de columnas en cada dirección, en total 9 columnas o con cuatro ejes de columnas con un total de 16 columnas. La sección transversal de las columnas son bastante bajas y las vigas son poco peraltadas, más se tiende a no ver las vigas. Para este tipo de construcciones es que interesa conocer el valor de R_{Ω} en función de γ .

Además de ello interesa conocer si el número de vanos influye en la sobre resistencia R_{Ω} . Aparentemente mientras mayor es el número de vanos mayor será R_{Ω} . Bertero y Bertero (1999) pero también hay estudios que cuestionan este planteamiento. Elnashai y Mwafi (2002). De ahí que surgió la necesidad de investigar si efectivamente el factor de R_{Ω} , evaluado a nivel global, depende del número de vanos o de que factores depende la sobre resistencia global.

2. MARCO TEÓRICO

Existen dos formas de encontrar la relación entre la sobre resistencia, la primera y es la que se utiliza en el presente artículo es mediante un análisis lineal elástico, incremental, empleando la técnica del pushover. Aguiar (2002 y 2003). La segunda mediante análisis no lineal.

La ventaja de la primera técnica radica en que la sobre resistencia en función de la deriva máxima de piso no depende de la acción sísmica. Massumi *et al* (2004). En cambio la segunda si depende del sismo de análisis y del modelo constitutivo utilizado para definir la no linealidad del material.

A continuación en forma gráfica se describe el procedimiento utilizado para encontrar la relación entre R_{Ω} y la deriva máxima de piso. En primer lugar se debe encontrar la curva de capacidad sísmica resistente, que relaciona el desplazamiento lateral máximo D_t , con el cortante basal V , empleando la técnica del pushover. En la figura 1 se indica esta relación para una determinada estructura.

Si el desplazamiento lateral en el tope del edificio D_t se divide para la altura total de la estructura H . Se encuentra la deriva global γ_g .

$$\gamma_g = \frac{D_t}{H} \quad (1)$$

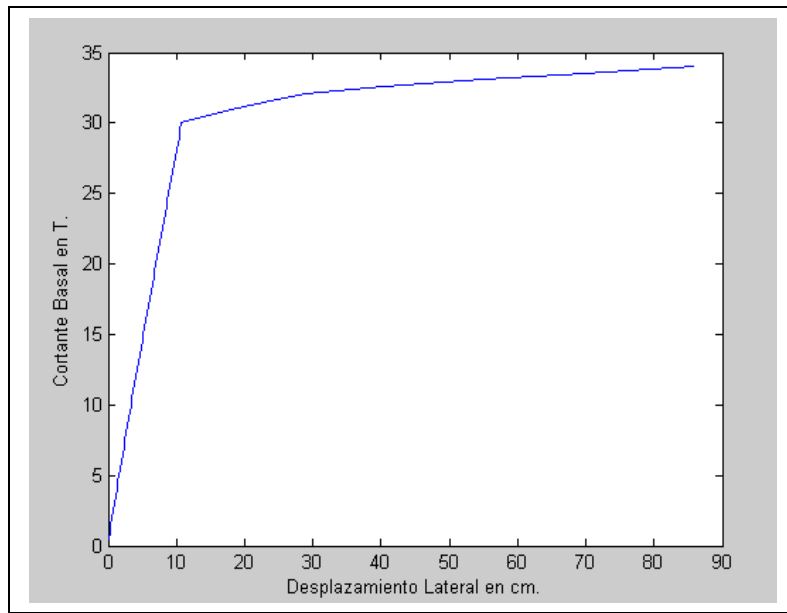


Figura 1 Capacidad sísmica resistente de una estructura.

De tal manera que a partir de la curva de capacidad sísmica resistente, es factible obtener una relación entre la deriva global γ_g en función del cortante basal V , como se indica en la figura 2.

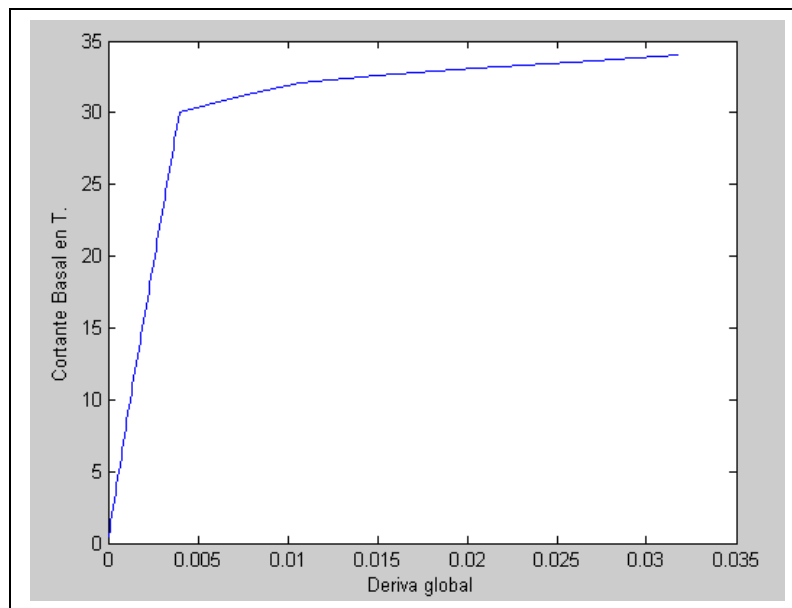


Figura 2 Relación entre la deriva global con el cortante basal.

Evidentemente que se mantiene la forma de las figuras 1 y 2 pero las escalas del eje horizontal son diferentes.

Ahora se pasa de la deriva global a la deriva máxima de piso, mediante el parámetro β_2 . Este parámetro fue obtenido para estructuras conformadas por vigas y columnas de hormigón armado, del análisis no lineal de 120 edificios de 1 a 10 pisos ante la acción de 32 acelerogramas. Aguiar (2006), Huidobro (2006), Bobadilla (2006). Llegando a obtener:

$$\beta_2 = -0.0231 N^2 + 0.3018 N + 0.6759 \quad (2)$$

$$\gamma = \beta_2 \gamma_g \quad (3)$$

Siendo N el número de pisos. El valor de β_2 siempre será mayor a la unidad. En la figura 3 se muestra la relación entre la deriva de piso γ con el cortante basal V para la estructura analizada.

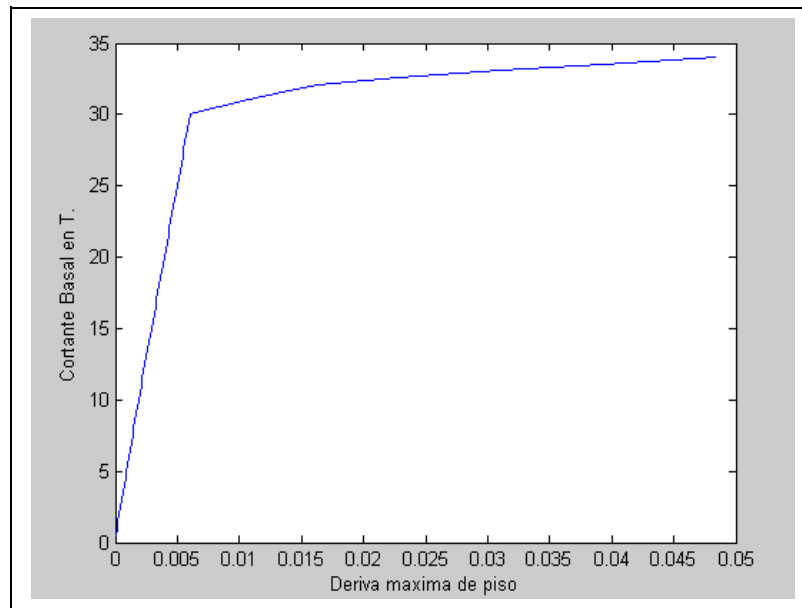


Figura 3 Relación entre la deriva máxima de piso y el cortante basal.

En la figura 3, se aprecia que para cada deriva máxima de piso se tiene un cortante basal V . De igual manera se aprecia el mayor valor de cortante V_U . Al dividir este cortante V_U para el cortante V se halla la sobre resistencia R_Ω asociado a la deriva máxima de piso. De tal manera que de la figura 3 se pasa a la figura 4, en que se relaciona la deriva máxima de piso γ con la sobre resistencia R_Ω .

$$R_\Omega = \frac{V}{V_U} \quad (4)$$

A partir de la figura 4 se puede encontrar R_Ω para diferentes valores de γ como era de esperarse mientras mayor es la deriva de piso esperada en la estructura menor es la sobre resistencia.

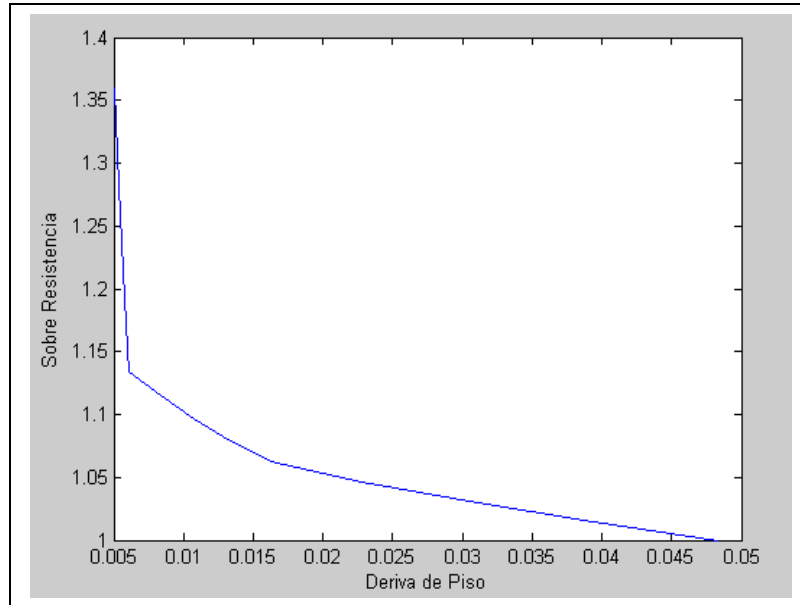


Figura 4 Relación entre la deriva máxima de piso y la sobre resistencia.

3. ESTRUCTURAS DE ANÁLISIS

En la figura 5 se muestra la distribución en planta de los edificios de hormigón armado, que varían de 1 a 6 pisos. Se analizaron 216 edificios de dos vanos, con luces de 4.0 m., y 216 edificios de tres vanos con luces de 5.0 m. Dando un total de 432 edificios estudiados. La altura de los entrepisos, para todos los casos, fue de 3.0 m., en cada piso.

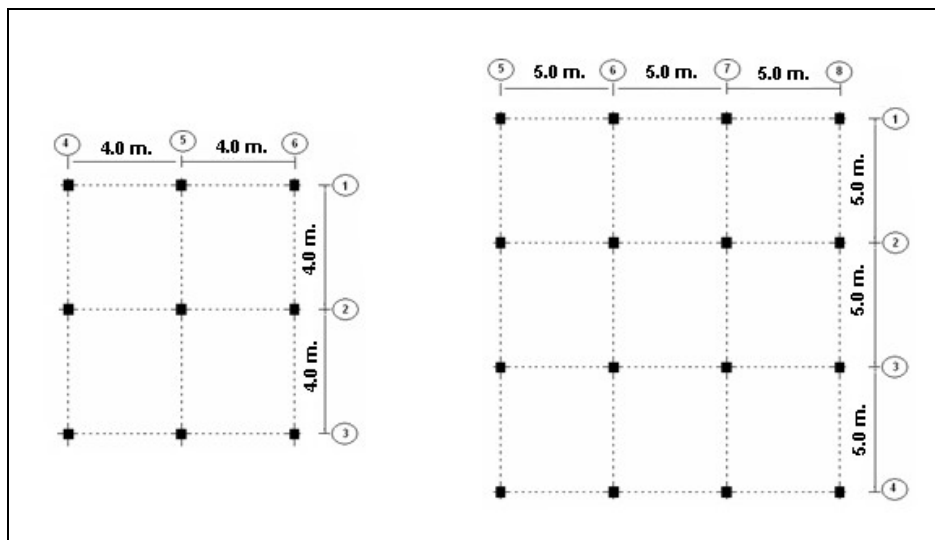


Figura 5 Distribución en planta de edificios analizados

En Aguiar y Mora (2007) se describe la geometría de los elementos estructurales y la armadura longitudinal y transversal de los mismos, para los edificios de 2 vanos. Ahora, en las tablas 1 a 3 se indica la sección transversal de las columnas, vigas y las cargas verticales. Para cada edificio se consideran 12 casos de distribución de armadura longitudinal, los mismos que

se indican en la tabla 4 y para cada caso de armadura longitudinal se considera tres casos de armadura transversal en columnas.

Tabla 1 Dimensiones de columnas consideradas en estructuras de 3 vanos.

N° DE PISOS	SECCIÓN COLUMNAS (cm)					
	1° Piso	2° Piso	3° Piso	4° Piso	5° Piso	6° Piso
1	30x30					
2	40x40	40x40				
3	50x50	50x50	45x45			
4	55x55	55x55	50x50	50x50		
5	60x60	60x60	55x55	55x55	50x50	
6	65x65	65x65	60x60	60x60	55x55	55x55

Los tres casos de refuerzo transversal en columnas, son: estribo simple, estribo simple más gancho y estribo doble. En los tres casos el refuerzo transversal es de 8 mm., y el espaciamiento es de 10 cm., en los extremos y 20 cm., en el centro de luz.

Tabla 3 Dimensiones de vigas consideradas en estructuras de 3 vanos.

N° DE PISOS	SECCIÓN VIGAS (cm)					
	1° Piso	2° Piso	3° Piso	4° Piso	5° Piso	6° Piso
1	40x20					
2	40x20	40x20				
3	40x30	40x30	40x30			
4	40x40	40x40	40x30	40x30		
5	40x50	40x50	40x30	40x30	40x30	
6	50x60	50x60	40x50	40x50	40x30	40x30

Tabla 4 Carga vertical considerada en estructuras de 3 vanos.

N° DE PISOS	CARGA (Kg/m ²)					
	1° Piso	2° Piso	3° Piso	4° Piso	5° Piso	6° Piso
1	500					
2	550	550				
3	600	600	550			
4	650	650	550	550		
5	700	700	650	650	600	
6	750	750	650	650	600	600

Un parámetro que se considera fundamental para comparar los resultados entre las estructuras de 2 vanos y de 3 vanos es α que relaciona la rigidez post fluencia con respecto a la rigidez elástica de la curva de capacidad sísmica resistente.

En las figuras 6 y 7 se indican los valores de α para las estructuras de 2 vanos y 3 vanos respectivamente, la línea continua une los valores medios de este parámetro y en la tabla 5 se indican estos valores medios.

Tabla 4 Armadura longitudinal considerada en el estudio.

Caso	Cuantía de columna ρ en %	Cuantía de armadura inferior de viga ρ en %	Cuantía de la armadura superior de viga ρ en %
1	1.0	0.50	0.75

2	1.0	0.75	1.00
3	1.0	1.00	1.25
4	1.0	1.25	1.50
5	1.5	0.50	0.75
6	1.5	0.75	1.00
7	1.5	1.00	1.25
8	1.5	1.25	1.50
9	2.0	0.50	0.75
10	2.0	0.75	1.00
11	2.0	1.00	1.25
12	2.0	1.25	1.50

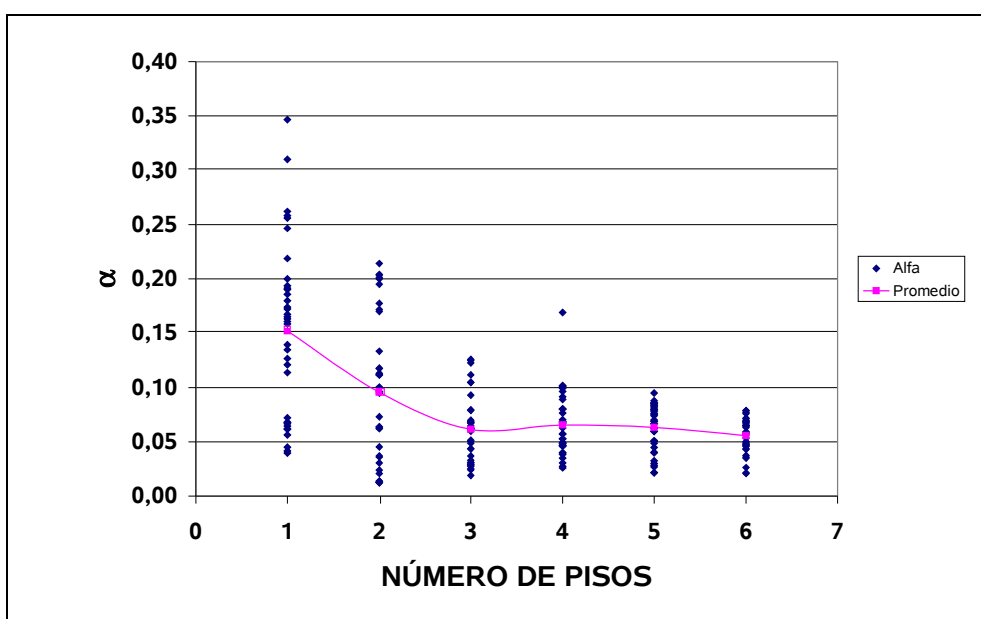


Figura 6 Valores de α en edificios de 2 vanos.

Tabla 5 Valores medios del parámetro α

Número de Pisos	Dos vanos	Tres vanos
1	0.152	0.077
2	0.096	0.057
3	0.061	0.058
4	0.066	0.063
5	0.063	0.075
6	0.056	0.063

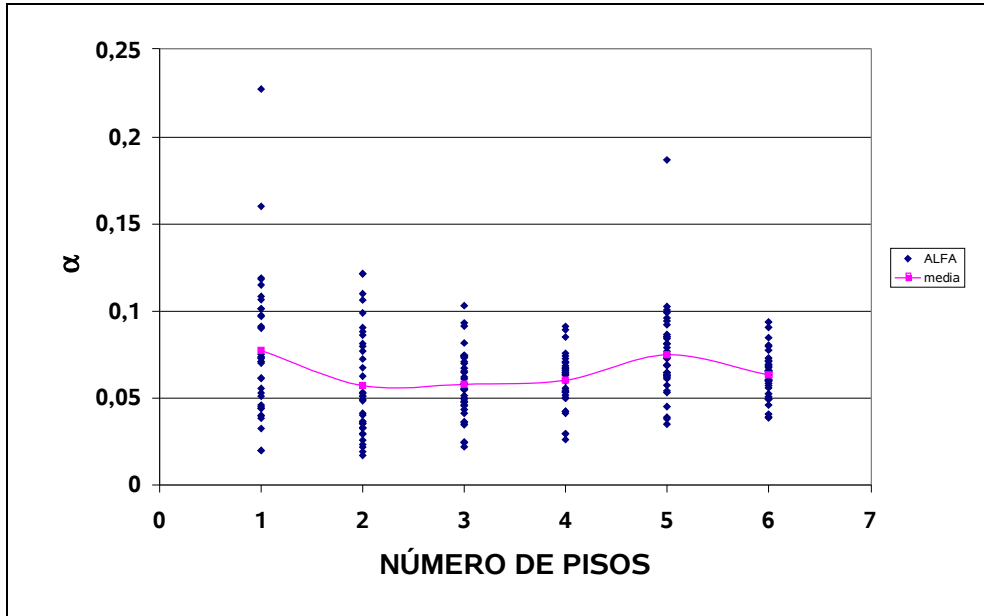


Figura 7 Valores de α en edificios de 3 vanos.

4. RESULTADOS

En la figura 8 se indica la variación de R_{Ω} para una deriva de piso del 0.5 %, para las 432 estructuras analizadas. Se aprecia que varía desde 1.25 hasta 3.30, son valores relativamente altos porque la deriva de piso es baja.

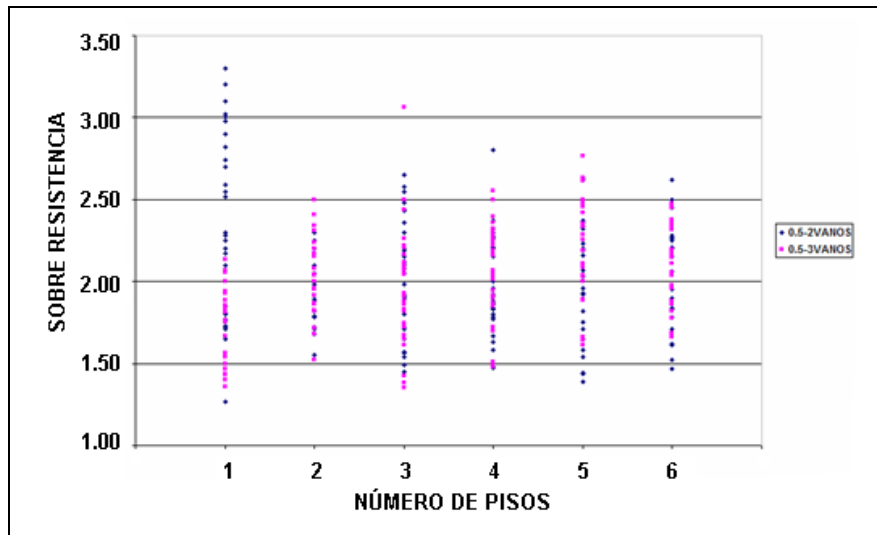


Figura 8 Resultados obtenidos para derivas de piso del 0.5%

En base a los resultados de la figura 8, se encontró los valores promedios, los mismos que se presentan en la figura 9, para las estructuras de 2 vanos y para las estructuras de 3 vanos.

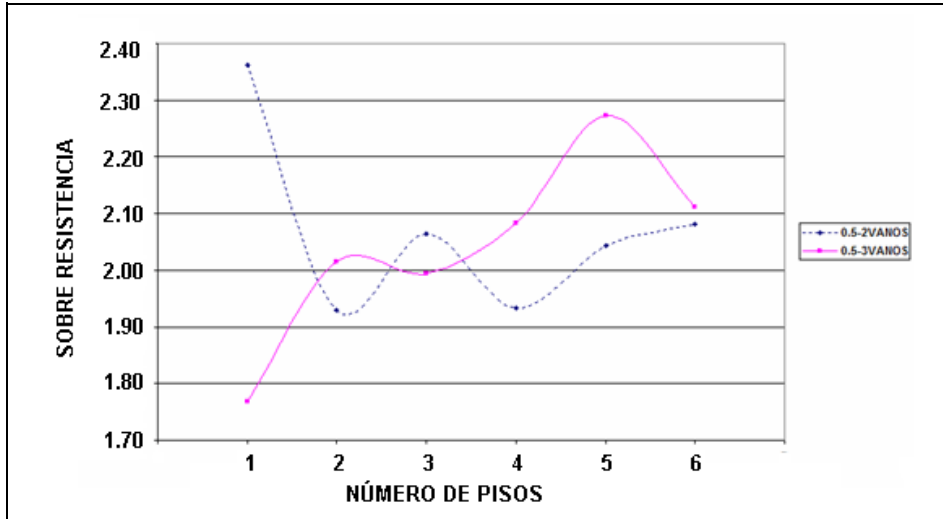


Figura 9 Valores medios de R_{Ω} en las estructuras de 2 vanos y 3 vanos. Para $\gamma = 0.5$.

En las estructuras de 1 piso y 2 vanos, el valor medio de α , es prácticamente el doble que el valor medio de las estructuras de 1 piso y 3 vanos. Por este motivo es la diferencia apreciable que existe en los valores de R_{Ω} para los restantes pisos el valor de α es semejante en las estructuras de 2 vanos y de 3 vanos. En estas condiciones se aprecia que las estructuras de 3 vanos tienen mayor R_{Ω} que las de 2 vanos.

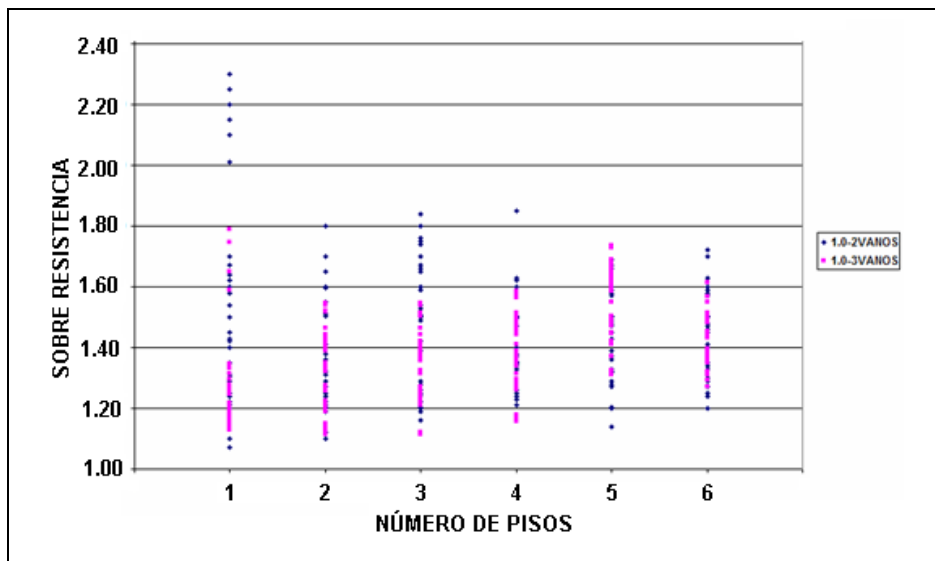


Figura 10 Resultados obtenidos para derivas de piso del 1.0%

En la figura 10 se muestran los valores de R_{Ω} para una deriva de piso de 1.0%. Se aprecia que la dispersión de los valores se ha reducido en comparación a los obtenidos para 0.5% de γ . Con estos valores, se halló los valores medios, los mismos que se indican en la figura 11 para las estructuras de 2 vanos y de 3 vanos; en esta gráfica ya no se aprecia que para 3 vanos el valor de R_{Ω} es mayor. Concretamente para las estructuras de 6 pisos se tiene mayores valores en las estructuras de 2 vanos que en las de 3 vanos a pesar de que el valor de α es mayor en la de tres vanos.

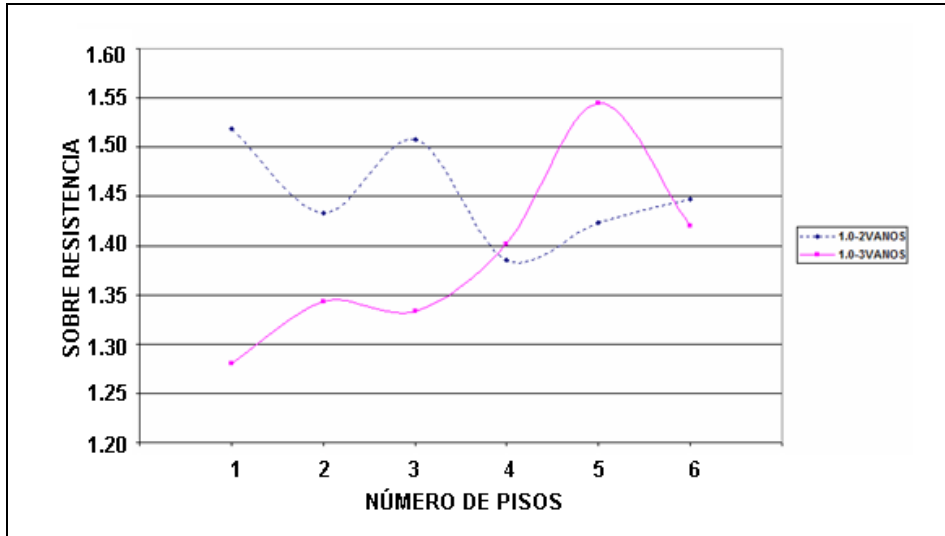


Figura 11 Valores medios de R_{Ω} en las estructuras de 2 vanos y 3 vanos. Para $\gamma = 1.0$

En la figura 12 se presentan los valores hallados de R_{Ω} para $\gamma = 1.5$. Como era de esperarse la dispersión de valores se ha reducido considerablemente desde 1.05 hasta 1.90. De igual manera, en la figura 13 se indican los valores medios y cada vez se observa que no se cumple que conforme se incrementa el número de vanos el valor de R_{Ω} se incrementa. Es más únicamente para los edificios de 5 pisos se tiene mayor de R_{Ω} en las estructuras de 3 vanos.

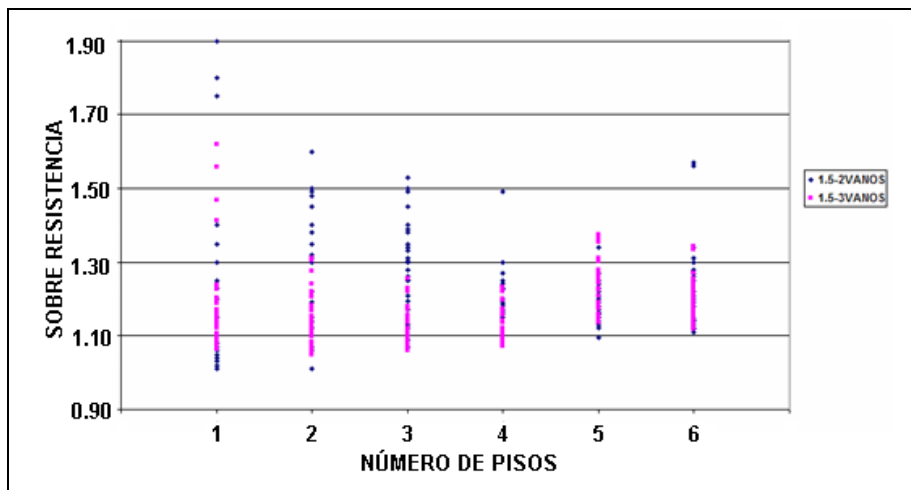


Figura 12 Resultados obtenidos para derivas de piso del 1.5%

En las figuras 14 y 15 se indica algo similar para una deriva de piso del 2%, con un comportamiento similar al encontrado para $\gamma = 1.5$.

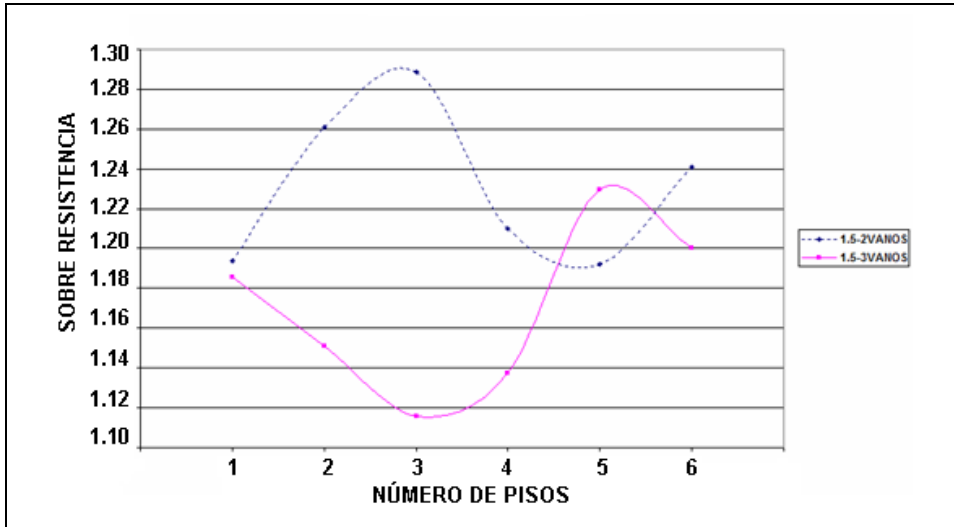


Figura 13 Valores medios de R_{Ω} en las estructuras de 2 vanos y 3 vanos. Para $\gamma = 1.5$

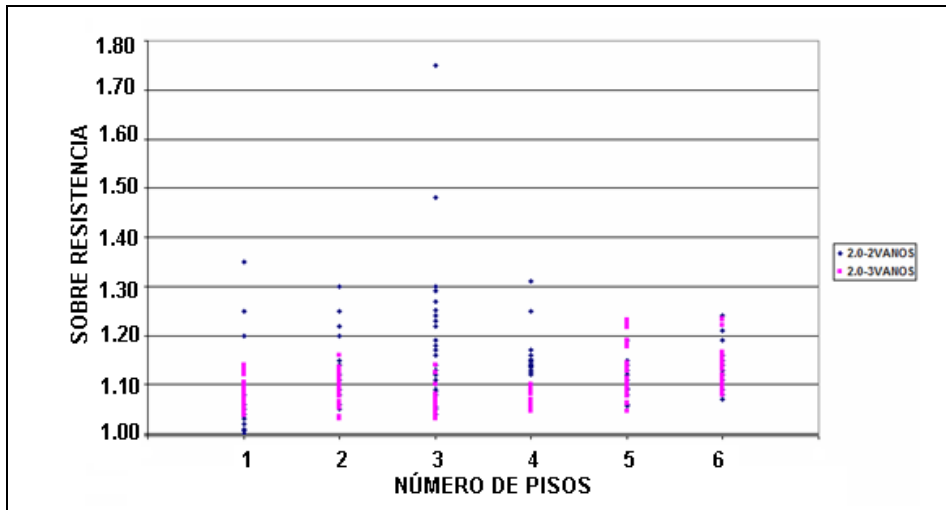


Figura 14 Resultados obtenidos para derivas de piso del 2.0 %

En la figura 16 se muestra la relación entre la deriva de piso y la sobre resistencia, hallados en los edificios de diferentes pisos, analizados y en función del número de vanos. Evidentemente son curvas promedio de cada grupo de datos. No se aprecia en esta gráfica ninguna relación de carácter general que conduzca a establecer que a mayor número de vanos mayor sea la sobre resistencia.

Para los edificios de 5 pisos, se cumple con el enunciado anterior pero es el único caso. Ni tampoco se puede decir lo contrario de que mientras menos vanos se tiene, mayor es la sobre resistencia, a pesar de que en los edificios de 6 pisos prácticamente se cumple. Pero en los dos casos: mayor número de vanos, mayor sobre resistencia o menor numero de vanos, mayor sobre resistencia, no hay una definición clara.

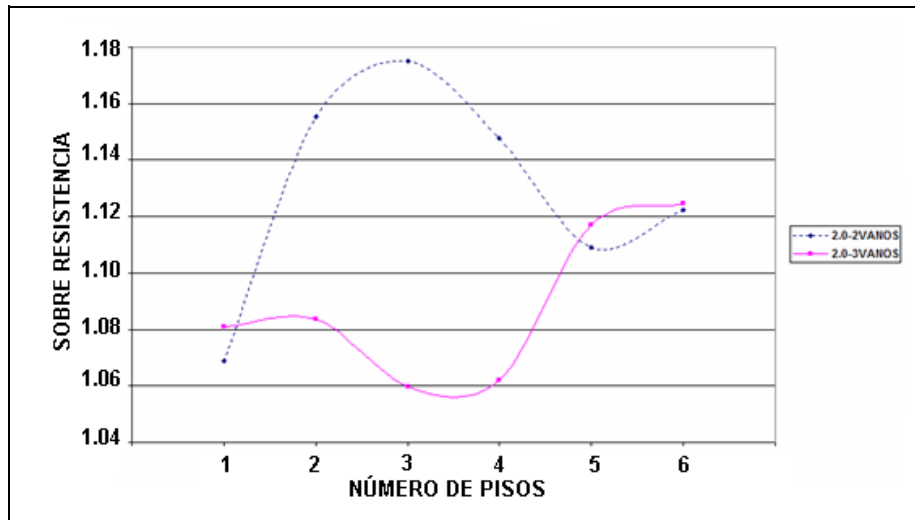


Figura 15 Valores medios de R_{Ω} en las estructuras de 2 vanos y 3 vanos. Para $\gamma = 2.0$

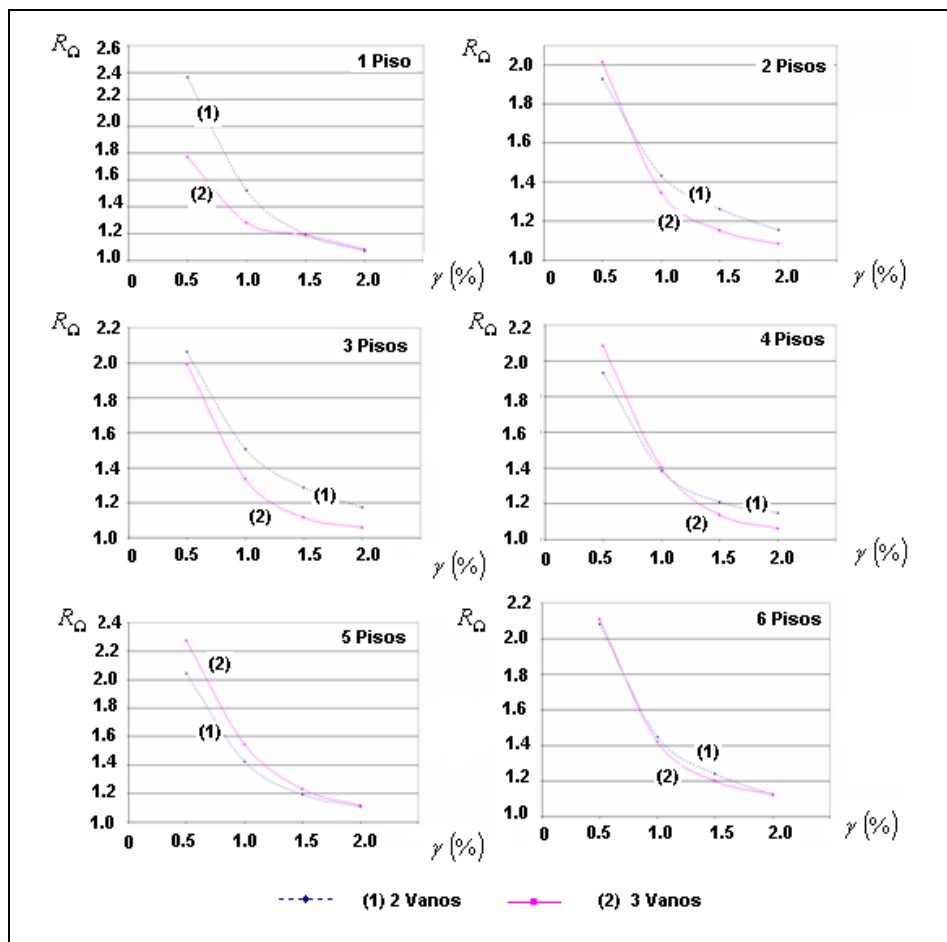


Figura 16 Relación deriva de piso y sobre resistencia.

5. CONCLUSIONES

Se ha encontrado la sobre resistencia en función de la deriva de pisos en 216 edificios de hormigón armado de 2 vanos y en 216 edificios de 3 vanos y de igual material, con el propósito de ver si el número de vanos influye en la sobre resistencia. Del estudio realizado se desprende las siguientes conclusiones:

- No existe una relación clara que indique que a mayor número de vanos, mayor será el valor de la sobre resistencia.
- Tampoco existe una relación clara que lleve a pensar que a mayor valor de la relación entre la rigidez post fluencia con relación a la rigidez elástica, en definitiva a mayor valor de α se tenga mayor sobre resistencia.
- Se aprecia que para una deriva de piso del 0.5% el valor de la sobre resistencia está alrededor de 2, y para una deriva de piso del 1.0% éste valor está alrededor de 1.4.

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., (2006), *Deriva máxima de piso y curvas de fragilidad en edificios de Hormigón Armado*. Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, 188 p., Quito.
4. 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.
5. Bertero R., and Bertero V., (1999), "Redundancy in earthquake-resistant design", *Journal of Structural Engineering*, **125 (11)**, 81-88.
6. Bobadilla C., (2006), *Curvas de fragilidad y evaluación rápida de la vulnerabilidad de estructuras*, Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica del Ejército, 214 p, Quito, Ecuador.
7. Elnashai A., and Mwafi A., (2002), "Overstreight and force reduction factors of multistory reinforced concrete buildings", *Structural design of tall buildings*, **11**, 329-351.
8. Huidobro G., (2006), *Relación entre la deriva de piso y la deriva global para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras*, Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador.
9. Massumi 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.

10. SEAOC (1995), "Visión 2000 Report on performance based seismic engineering of buildings", *Structural Engineers Association of California*, **Volume I**, Sacramento.