

INCIDENCIA DEL DIÁMETRO DE EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO EN EL ANÁLISIS DE LAS DERIVAS DE ESTRUCTURAS APORTICADAS

INCIDENCE OF THE EXTRACTION DIAMETER OF CONCRETE CORES IN THE DRIFTS ANALYSIS OF FRAME STRUCTURES

JULIÁN CARRILLO

Profesor Investigador, Universidad Militar "Nueva Granada". wcarrillo@umng.edu.co

GIOVANNI GONZÁLEZ

Profesor Investigador, Universidad Militar "Nueva Granada". giogon@umng.edu.co

MAURICIO JIMÉNEZ

Ingeniero Civil, Universidad Militar "Nueva Granada". carlos.jimenez@umng.edu.co

Recibido para revisar 24 de Abril 2006, aceptado 21 de Febrero de 2007, versión final 23 de Febrero de 2007

RESUMEN: En este artículo se presentan los resultados de una investigación analítica y computacional, donde se determina la variación de la deriva de edificios aporticados, teniendo en cuenta la resistencia a la compresión del núcleo de concreto obtenida en el laboratorio $f'c_{(L)}$, y la resistencia real $f'c_{(R)}$, calculada en función del diámetro de extracción de núcleos extraídos de concreto. Una vez se determinan los porcentajes de variación de las derivas con las resistencias corregidas y no corregidas, se relacionan estas variables con el porcentaje de variación de la resistencia y el diámetro de extracción para establecer el tipo de comportamiento existente. Finalmente, se obtienen ecuaciones que relacionan los parámetros en estudio, las cuales permiten al ingeniero estructural determinar el porcentaje en que se disminuye la deriva de una edificación, si ésta es modelada con la resistencia real a la compresión del concreto $f'c_{(R)}$ y no con la resistencia a la compresión del concreto obtenida del núcleo $f'c_{(L)}$.

PALABRAS CLAVE: extracción de núcleos, resistencia del concreto, derivas, módulo de elasticidad.

ABSTRACT: The results of an analytical and computational investigation are described in this article, where the variation of the framed buildings drift determined, considering the nucleus compressive strength of concrete obtained in the laboratory $f'c_{(L)}$, and the real resistance $f'c_{(R)}$ which is calculated based on the diameter of concrete nuclei extraction. Once the percentages of the drift variations with the corrected and not corrected resistance are determined, the percentages of variation variables as the resistance and the diameter of extraction are related to establish the type of existing behavior. Finally, equations are obtained to relate the parameters in study, which allow the structural engineer to determine the percentage in that the drift of a construction is diminished, if this one is modeled with the real resistance of concrete compression $f'c_{(R)}$ and not with the concrete compression obtained of the nucleus $f'c_{(L)}$.

KEY WORDS: extraction of concrete cores, concrete resistance, derives, elasticity modulus.

1. INTRODUCCIÓN

Algunas veces es necesario realizar análisis de vulnerabilidad sísmica a las estructuras debido principalmente a que: (a) está ubicada en una zona de mayor probabilidad de ocurrencia de sismos (b) los avances científicos adquiridos con

la experiencia de los sismos ocurridos recientemente han originado cambios en la normatividad a nivel mundial. La recopilación de datos y los avances tecnológicos alcanzados en la instrumentación sísmica han hecho que la información que se tenía sobre los sismos se complemente y que a la vez se evalué la manera

en que se están construyendo las edificaciones, lo que repercutió en el replanteamiento de las normas sismorresistentes y en nuestro medio la norma vigente hasta entonces el Código Colombiano de Construcción Sismorresistente de 1984 (CCCSR-84), dando origen a las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR-98 (AIS, 1998) hasta hoy vigentes. El buen o mal comportamiento de una edificación es función directa de su resistencia, la cual, para el caso de este análisis es la resistencia a la compresión del concreto. Para la obtención de esta resistencia existen varios métodos de ensayo, dentro de los cuales se encuentran los ensayos no destructivos como el martillo de rebote, que no destruye la muestra que se está ensayando, su desventaja es que los resultados no son muy confiables debido a que no simulan completamente lo que realmente pasa en el material ensayado, y los destructivos como la prueba de penetración y la extracción de núcleos de concreto endurecidos, siendo éste último uno de los más usados y confiables, debido a que las muestras son más representativas en cuanto a tamaño y profundidad, además de estar más cercano a la realidad, sin embargo el inconveniente radica en el daño que le hace a la estructura que aunque es muy poco se sabe que existe.

A pesar de la confiabilidad de este método, se debe tener claridad acerca de la incidencia del diámetro de extracción y el tamaño máximo del agregado en la resistencia que se obtiene del núcleo de concreto. El grupo de investigación de Estructuras y Sísmica de la Universidad Militar Nueva Granada, determinó mediante la publicación "Correlación entre el diámetro de extracción y las características del concreto en la auscultación estructural" (Carrillo y González, 2004), los factores de corrección de la resistencia a la compresión del concreto $f'_{c(R)}$, en función de la resistencia a la compresión del núcleo de concreto obtenida en el laboratorio ($f'_{c(L)}$) y el diámetro del núcleo de extracción (D_{nucleo}). En esta investigación se determinó que la resistencia de un núcleo extraído de concreto, no es verdaderamente la que posee un cilindro estándar de 6"x12", y que ésta debe ser corregida por medio del factor de corrección para obtener una aproximación de la resistencia más cercana a

la real, la cual es asumida como la de un cilindro estándar de 6"x12".

Se modelan tres edificios de 3, 6 y 12 pisos, mediante el método de análisis modal espectral a través de la utilización del programa de aplicación estructural SAP 2000 (Computers and Structures, 1999). Con la ayuda de esta herramienta computacional se obtuvieron los desplazamientos y las derivas de los edificios para la resistencia no corregida de los núcleos de concreto (asumida de 21 MPa) y para las resistencias corregidas de 25 MPa, 26 MPa y 30 MPa con diámetros de extracción de núcleos de concreto de 2", 3" y 3.5" respectivamente.

2. MARCO CONCEPTUAL

Durante un evento sísmico, los desplazamientos de una estructura pueden causar deformación inelástica de los elementos estructurales y no estructurales, inestabilidad global, daño a los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica y a los elementos no estructurales, tales como muros divisorios, particiones, enchapes, acabados, instalaciones eléctricas, mecánicas, alarma y pánico entre las personas que ocupan la edificación, etc. Por lo anterior, es importante ejercer buen control durante el diseño y la construcción de la edificación que asegure el cumplimiento del valor máximo de deriva, con el fin de garantizar un adecuado comportamiento de la estructura ante un posible evento sísmico. Sin embargo, el parámetro de control se ejerce de acuerdo a los valores máximos de la normatividad vigente en el momento del diseño de la estructura, razón por la cual muchas de las estructuras existentes se construyeron con especificaciones menos exigentes a las actuales, debido a que no existían tecnología adecuada, ni estudios de amenaza sísmica en el país (UNC, 2005).

Actualmente existen diversos tipos de estudios de amenaza sísmica. Un primer tipo, se realiza a estructuras de gran importancia, y cuya falla durante un sismo podría ser catastrófica. Un segundo tipo, se realiza dentro del contexto de la reglamentación de una construcción sismorresistente, para fijar parámetros comparativos dentro del lugar de aplicabilidad

de la norma, conduciendo a mapas de zonificación sísmica. Un tercer tipo, se realiza a una ciudad o región relativamente pequeña, se estudia con respecto a la respuesta sísmica esperada en diferentes lugares, agrupando en microzonas aquellos sitios de iguales características. (García Reyes, 1998). Tomando como base estos estudios y los requerimientos establecidos en la normatividad vigente, es conveniente analizar y mejorar las estructuras construidas previamente, para que sean confiables y seguras al momento de la ocurrencia de un sismo, para lograrlo es necesario realizarles un análisis de vulnerabilidad sísmica. Por lo tanto, es de gran ayuda conocer en que estado se encuentran los materiales que componen dichas estructuras, y si sus propiedades físicas y mecánicas se han afectado con el paso del tiempo. En el caso del concreto, las propiedades más relevantes son: el módulo de elasticidad (E), la resistencia a la compresión (f'_c) y la relación de Poisson (ν).

La relación de Poisson puede determinarse por medio del ensayo de cilindros de concreto, realizado de acuerdo con la norma NTC 4025 (ASTM C469) y en caso que no se disponga del valor experimental, puede utilizarse un valor de 0.20 según lo estipula el Capítulo C.8.5.4.2 de la NSR-98 (AIS, 1998). El módulo de elasticidad para el concreto de peso normal, E , debe determinarse experimentalmente a partir de las curvas esfuerzo-deformación obtenidas para un grupo representativo de cilindros estándar de concreto, como la pendiente de la línea trazada desde el origen hasta el punto en la curva esfuerzo deformación correspondiente a un esfuerzo de $0.45 f'_c$ en compresión, de acuerdo con la norma NTC 4025 (ASTM C469). El valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir el tipo de agregado de acuerdo con el capítulo C.8.5.4.1 de la NSR-98 (AIS, 1998) es:

$$E = 3900(\sqrt{f'_c}), \text{ en [MPa]} \quad (1)$$

Los medios de medición, estimación o comparación de la resistencia del concreto en la estructura incluyen: el martillo de rebote (esclerómetro), ASTM C805; la prueba de penetración, ASTM C803; los cilindros de

ensayo elaborados en el lugar; el ensayo de testigos (núcleos extraídos), ASTM C 42; pruebas de carga de elementos estructurales (Nacional Ready Mixed Concrete Association, 1998), entre otras.

Dentro de los ensayos utilizados para obtener la resistencia a la compresión del concreto, el ensayo de testigos es el más confiable, debido a que la muestra es más representativa. Sin embargo, conforme a la investigación realizada por Carrillo y González (2004), existe una diferencia entre la resistencia obtenida con este ensayo y la que se obtendría con un cilindro estándar de 6" x 12". Uno de los objetivos de esta investigación fue "obtener las correlaciones entre el diámetro del núcleo de extracción ($D_{núcleo}$) que se utiliza en los ensayos destructivos dentro de una etapa de auscultación estructural y dos características fundamentales del concreto, la resistencia a la compresión, f'_c y el tamaño máximo nominal de agregado, TMN" (Carrillo y González, 2004). Esta investigación llegó a la conclusión de que los parámetros que inciden en los resultados son el diámetro del núcleo del concreto y el tamaño máximo del agregado. Además, demostró que los diámetros que se encuentran en un rango de 56 mm (2.2") y 63 mm (2.5") reflejan de una mejor manera la resistencia real del concreto ($f'_{c(R)}$), mientras que con los otros diámetros es necesario realizar una corrección de la resistencia obtenida del núcleo en el laboratorio ($f'_{c(L)}$). (ver Figura 1)

Por lo tanto, al analizar la estructura de concreto con diferentes resistencias a la compresión, es decir, variando estas resistencias en cierto porcentaje (obtenidas a partir de los núcleos con diferente diámetro de extracción), y con la resistencia medida de un cilindro estándar de 6"x12", se pueden generar variaciones en los desplazamientos relativos entre pisos consecutivos (deriva) obtenidos con cada resistencia, de los cuales se puede obtener el porcentaje en que estos variaron con respecto a los obtenidos con la resistencia asumida como de laboratorio de 21 MPa. Este análisis se realizó para cada una de las zonas de micro zonificación sísmica de Bogotá.

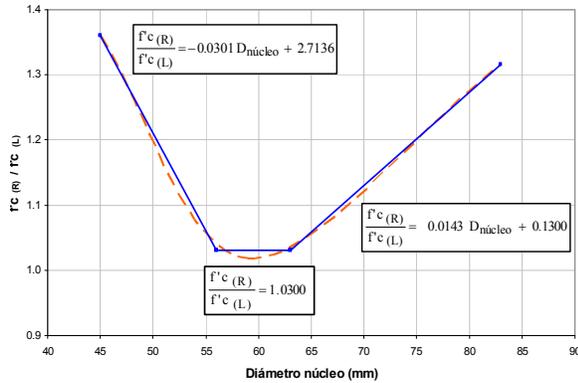


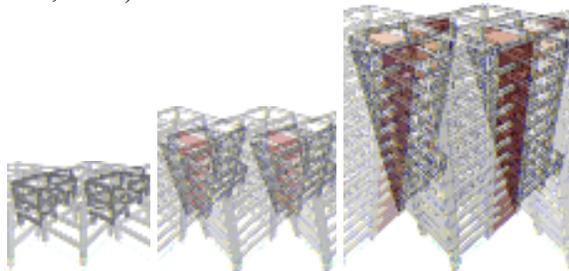
Figura 1. Factor de corrección para núcleos extraídos de concreto (Carrillo y González, 2004)

Figure 1. Correction factor for extracted cores of concrete (Carrillo y González, 2004)

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Delimitación de la investigación

En este artículo se muestran los resultados de las derivas obtenidas de un análisis de vulnerabilidad sísmica realizado con base en la norma NSR-98 (AIS, 1998) y el decreto 074 de 2001, para tres edificios de 3, 6 y 12 pisos (ver Figura 2), y cuatro diferentes resistencias a la compresión del concreto (21, 25, 26 y 30 MPa), utilizando como herramienta computacional el programa SAP 2000 (Computer and Structures, Inc., 1999)



(a) 3 Pisos (b) 6 Pisos (c) 12 Pisos

Figura 2. Geometría general de los edificios utilizados en la modelación.

Figure 2. General geometry of the buildings used in the modeling.

Los edificios fueron modelados para cada una de las cinco zonas definidas en la microzonificación sísmica de Bogotá (Decreto 074 de 2001). En los edificios de 6 y 12 pisos fue necesaria la utilización de pantallas de

rigidización para llevarlos a cumplir con la deriva del 1% exigida por la norma NSR-98 (AIS, 1998).

3.2 Desarrollo de la investigación

La investigación se desarrolló basándose en los siguientes conceptos:

- La resistencia a la compresión del concreto que se tomó como base fue de 21 MPa, la cual se asume como la obtenida en el laboratorio a partir de los núcleos de concreto con diámetros de 2" (51mm), 3" (76mm) y 3.5" (89mm), ($f'c_{(L)}$)
- El valor de la relación de Poisson que se utilizó fue de 0.20.
- La relación de esbeltez determinada para los núcleos extraídos de concreto fue de 1:2.
- La obtención de las derivas se hizo mediante el método de análisis modal espectral.
- El número de modos de vibración aseguró que la participación de la masa efectiva fuera mayor al 90%.

3.3 Modelación analítica

Las resistencias a la compresión con las que fueron modelados los edificios son: la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa, la cual fue la asumida como la de los núcleos extraídos de la estructura ($f'c_{(L)}$), y las tres resistencias de 25, 26 y 30 MPa, son las corregidas para los diferentes diámetros de extracción de núcleos de concreto, las cuales presentan un aumento porcentual respecto a la resistencia referencia o de laboratorio (21 MPa) de 18.5%, 23.2% y 42.2%, respectivamente, tal como se muestra en la Figura 3.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados más relevantes obtenidos de la modelación de los edificios de 3, 6 y 12 pisos para cada una de las zonas de microzonificación sísmica de Bogotá.

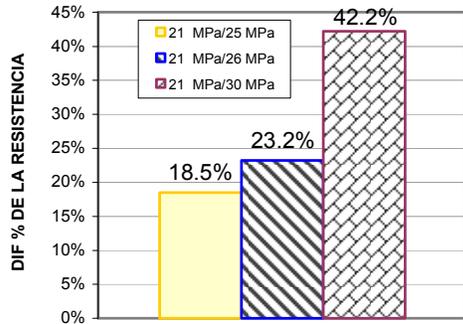


Figura 3. Diferencia porcentual de las resistencias $f'_{c(L)}$ con base en las resistencias $f'_{c(R)}$

Figure 3. Percentage difference of the resistances $f'_{c(L)}$ with base in the resistance $f'_{c(R)}$

4.1 Edificio de 3 pisos

Tomando los valores de disminución porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida $f'_{c(R)}$, contra la variación porcentual de la resistencia para las cinco zonas de microzonificación sísmica, se obtienen gráficas para cada una de las zonas de microzonificación sísmica de Bogotá, las cuales muestran proporcionalidad entre las variables estudiadas. En la Figura 4, donde se consolidaron los resultados, se observa cómo los datos obtenidos para las zonas 1 y 2 son ligeramente diferentes de los obtenidos en las zonas restantes. Las otras variables en estudio son la disminución porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida ($f'_{c(R)}$) y el diámetro de extracción de núcleos de concreto (D_{nucleo}). En la Figura 5 se reunieron los resultados obtenidos en cada una de las zonas para observar de manera más clara el comportamiento de las variables en estudio.

4.2 Edificio de 6 pisos

Las figuras obtenidas para cada zona de la microzonificación sísmica de Bogotá en este edificio, muestran que la proporcionalidad existente entre las variables de disminución porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida y de aumento porcentual de la resistencia es muy similar en cada una de las zonas. Los resultados obtenidos muestran que existe gran similitud entre los datos del edificio de 3 pisos con los obtenidos del edificio de 6 pisos, a pesar que los edificios tienen diferente

geometría y rigidez. En la Figura 6 se reunieron de igual manera los resultados obtenidos en las 5 zonas de la microzonificación para este edificio, con el fin de compararlos de una forma más sencilla.

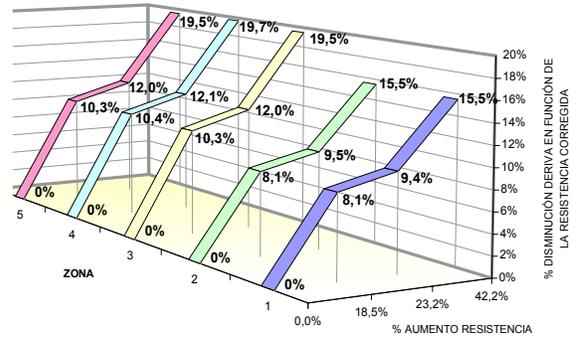


Figura 4. Disminución porcentual de la deriva en función del porcentaje de aumento de la resistencia, para las cinco zonas de microzonificación en el edificio de 3 pisos.

Figure 4. Percentage diminution of the drift based on the percentage of increase of the resistance, for the five zones of microzonification in the building of 3 floors

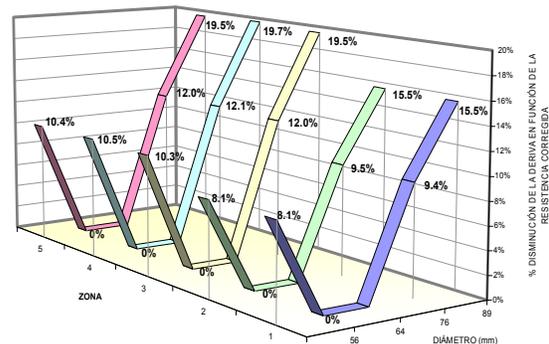


Figura 5. Disminución porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida para los diferentes diámetros de extracción y para las cinco zonas de microzonificación en el edificio de 3 pisos

Figure 5. Percentage diminution of the drift based on the resistance corrected for the different diameters from extraction and the five zones of microzoning in the building of 3 floors

En el edificio de 6 pisos, las variables en estudio de disminución porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida ($f'_{c(R)}$) y el diámetro de extracción de núcleos de concreto (D_{nucleo}), muestran un comportamiento similar al del edificio de 3 pisos, en donde se observa que los porcentajes obtenidos para cada zona son muy parecidos. En la Figura 7, se reunieron los

resultados obtenidos para las 5 zonas, y se observa de manera más clara el comportamiento de las variables en estudio.

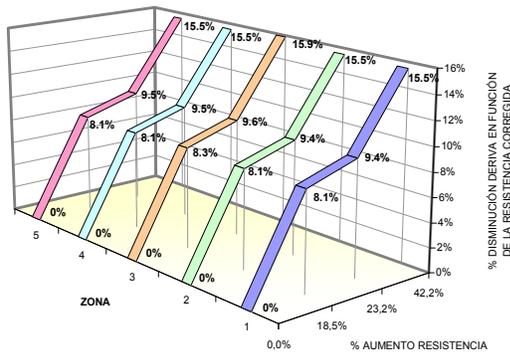


Figura 6. Disminución porcentual de la deriva en función del porcentaje de aumento de la resistencia, para las cinco zonas de microzonificación en el edificio de 6 pisos.

Figure 6. Percentage diminution of the drift based on the percentage of increase of the resistance, for the five zones of seismic microzoning in the building of 6 floors.

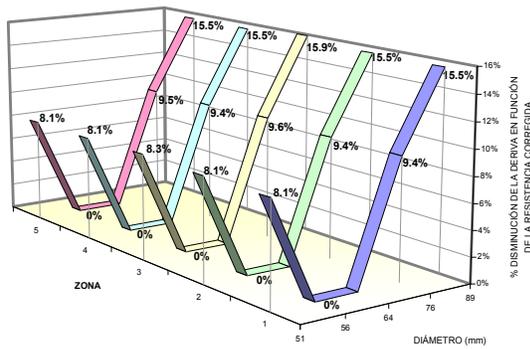


Figura 7. Disminución porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida para los diferentes diámetros de extracción y para las cinco zonas de microzonificación en el edificio de 6 pisos

Figure 7. Percentage diminution of the drift based on the resistance corrected for the different diameters from extraction and the five zones of microzoning in the building of 6 floors

4.3 Edificio de doce pisos

Al igual que en los dos edificios anteriores, las figuras obtenidas muestran proporcionalidad entre las variables en estudio para las 5 zonas. Los resultados también muestran una vez más que existe similitud entre los datos de los edificios de 3 y 6 pisos, a pesar que los edificios

tienen geometría en sus secciones y rigideces totalmente diferentes (ver Figuras 8 y 9)

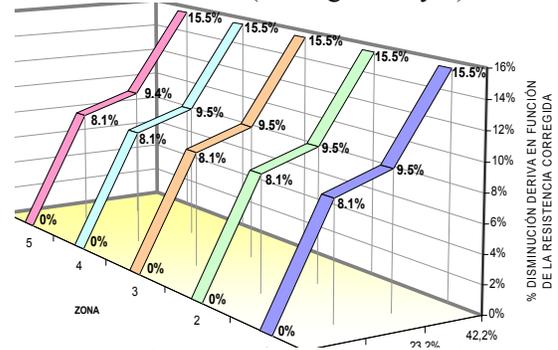


Figura 8. Disminución porcentual de la deriva en función del porcentaje de aumento de la resistencia, para las cinco zonas de microzonificación en el edificio de 12 pisos.

Figure 8. Percentage diminution of the drift based on the percentage of increase of the resistance, for the five zones of seismic microzoning in the building of twelve floors

Al observar las Figuras 4, 6 y 8 de variación porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida contra la variación porcentual de la resistencia, obtenidas para todas las zonas de la microzonificación sísmica de Bogotá (Alcaldía mayor de Bogotá, 2001) en los edificios de 3, 6 y 12 pisos, se puede notar que todas tienen un comportamiento similar, por lo tanto, se logró obtener una figura generalizada, en la cual se reitera el comportamiento lineal existente entre estas dos variables, además de la no influencia de la zona de microzonificación sísmica y la altura de la edificación (Figura 10).

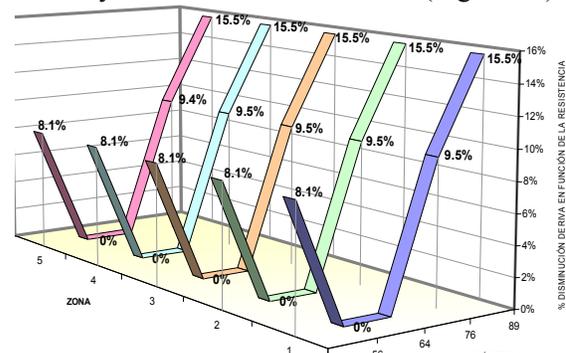


Figura 9. Disminución porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida para los diferentes diámetros de extracción y para las cinco zonas de microzonificación en el edificio de 12 pisos

Figure 9. Percentage diminution of the drift based on the resistance corrected for the different diameters from extraction and the five zones of microzoning in the building of 12 floors

Por medio de la Figura 10, si se tiene el porcentaje de variación de la resistencia a la compresión del concreto (%VR), se puede aproximar un valor de disminución porcentual de la deriva (%DD) en función de la resistencia corregida usando directamente la Figura 10 ó por medio de la Ec. 2, las cuales se muestran a continuación:

$$\%DD = 0.3665 \times (\%VR) \times 0.0058 \quad (2)$$

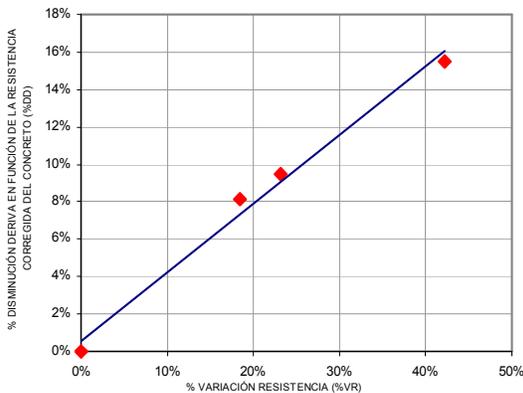


Figura 10. Disminución porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida del concreto contra porcentaje de variación de la resistencia

Figure 10. Percentage diminution of the drift based on the resistance corrected of the concrete against percentage of variation of the resistance

Para el caso de las figuras 5, 7 y 9, en donde interviene el diámetro de extracción como variable independiente, se generalizó el concepto reuniendo todos los resultados de las figuras para observar de manera mucho más precisa el comportamiento de estas variables, tal como se muestra en la Figura 11 y en las Ec. 3 y 4.

Las Ec. 3 y 4 describen el comportamiento del porcentaje de disminución de la deriva (%DD), cuando el diámetro del núcleo de extracción ($D_{núcleo}$) está por fuera del rango en el cual la resistencia a la compresión del núcleo es lo más parecida a la resistencia real, asumida como la de un cilindro estándar de 6"x12". Este rango se encuentra entre 56 mm a 63 mm (Carrillo y González, 2004). Obsérvese que no existe variación porcentual de la deriva cuando el diámetro de extracción del núcleo ($D_{núcleo}$) está dentro de dicho límite

$$\%DD = 0.4056 \times (D_{núcleo}) + 0.8924, \quad (3)$$

para $51 \text{ mm} < D_{núcleo} < 56 \text{ mm}$

$$\%DD = 0.1552 \times (D_{núcleo}) - 0.3823, \quad (4)$$

para $63 \text{ mm} < D_{núcleo} < 89 \text{ mm}$

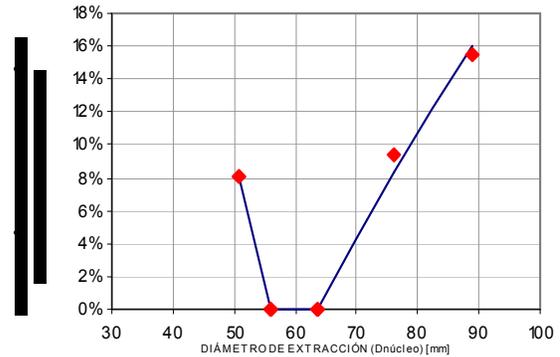


Figura 11. Disminución porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida del concreto para los diferentes diámetros de extracción

Figure 11. Percentage diminution of the drift based on the resistance corrected of the concrete for the different diameters from extraction

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Al estudiar el comportamiento de las derivas de cada edificio, se observa que para los diámetros de extracción de núcleos de concreto de 2" (51mm), 3" (76mm) y 3.5" (89mm), con resistencias reales de 25, 26 y 30 MPa respectivamente, la disminución porcentual de las derivas en función de la resistencia corregida (ver Figuras 4, 6 y 8) describe un aumento de la rigidez de la estructura, debido a que las derivas obtenidas con las resistencias que están en función de los diámetros en estudio, disminuyen. Esta disminución se encuentra en el rango del 8% al 16% respecto a las derivas obtenidas con la resistencia de laboratorio de 21 MPa. Por lo tanto si los ingenieros estructurales no realizan las correcciones pertinentes a las resistencias obtenidas mediante los núcleos de extracción, obtendrán derivas mayores comparadas con las que se obtendrían si corrigieran dichas resistencias. Por lo tanto el diseño será muy conservativo y poco económico.

En la Figura 11 se observan tres tipos de comportamiento. El primero de 51 mm a 56 mm,

en el cual a medida que aumenta el diámetro de extracción, la disminución porcentual de las derivas decrece linealmente. El segundo de 56 mm a 63 mm, en donde no existe disminución porcentual de la deriva, debido a que la relación entre la resistencia real $f^c_{(R)}$ y la resistencia obtenida en el laboratorio $f^c_{(L)}$ es 1, es decir la resistencia a la compresión no varía. El tercer rango entre 63 mm y 89 mm, donde a medida que aumenta el diámetro de extracción, se incrementa la disminución porcentual de las derivas linealmente con una pendiente menor a la mostrada en el primer rango. La Figura 11 muestra un comportamiento similar al de la Figura 1 (Carrillo y González, 2004), esto debido a que se trabajó en el rango elástico, en donde el comportamiento de la curva esfuerzo-deformación es lineal y su pendiente es el módulo de elasticidad, por lo tanto las variables involucradas van a guardar esta proporcionalidad como son: la rigidez y la resistencia a la compresión del concreto, que a su vez depende del módulo de elasticidad, la rigidez, la deformación y la deriva.

Al observar la Figura 10 de disminución porcentual de las derivas determinadas con la resistencia de laboratorio de 21 MPa, y en función de las resistencias reales de 25, 26 y 30 MPa, (modificada por los factores de corrección de 1.18, 1.22 y 1.40 respectivamente), se observa que a medida que el factor de corrección se aleja más de la unidad, la disminución porcentual será mayor, por lo cual se debe realizar la corrección de la resistencia a la compresión del concreto para no caer en el error de rigidizar excesivamente la estructura con respecto al espectro sísmico de diseño.

6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Actualmente, dentro de un análisis de vulnerabilidad sísmica se extraen núcleos de concreto de los edificios y se realizan ensayos para encontrar su resistencia a la compresión. Así mismo dicha resistencia en la mayoría de los casos se asocia al módulo de elasticidad, el cual es necesario para la evaluación elástica de la estructura y sus respectivas deformaciones. Los desplazamientos y derivas obtenidas basados en la resistencia calculada directamente de un

núcleo de concreto, son mayores a los que se obtendrían si dicha resistencia se modificara por medio del factor de corrección, determinado por Carrillo y González (2004) tal como se muestra en la Figura 1. Por esta razón, al usar la resistencia sin corregir durante la modelación, es necesario rigidizar los elementos (vigas, columnas, pantallas, etc.) para que se cumpla con el valor de deriva del 1% exigido en NSR-98 (AIS, 1998). Esta rigidización incrementa los costos de la estructura notablemente comparados con los que se obtienen con una resistencia "corregida". Por lo tanto, se estaría subestimando la rigidez de la estructura al no aplicar el factor de corrección a núcleos con diámetro de extracción, fuera del rango de 53 mm y 63 mm.

Una vez se obtuvo los porcentajes de disminución de las derivas en función de la resistencia corregida por medio de la modelación de los edificios, se observó un comportamiento similar en todas las zonas sísmicas, utilizando diferentes resistencias del concreto. Esta similitud se logró gracias a que se obtuvieron rigideces similares en donde la deriva máxima estaba muy cercana al 1% exigido en la normatividad vigente NSR-98 (AIS, 1998). Por lo tanto, tal como se esperaba encontrar, la variación porcentual de la deriva no depende directamente de la zona de microzonificación sísmica, sino de la rigidez del edificio.

Al comparar la tendencia de la Figura 10 de variación porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida contra los diferentes diámetros de extracción, con la Figura 1 del factor de corrección para núcleos extraídos de concreto (Carrillo y González, 2004), se observa que son muy similares en cuanto a forma y sus pendientes. Aunque no iguales en magnitud, conservan las proporciones, lo cual no es una casualidad, debido a que la disminución porcentual de la deriva depende en gran parte del módulo de elasticidad del concreto, que a su vez está en función del factor de corrección obtenido para un diámetro de extracción determinado cuando se analizan estructuras elásticamente.

Si se correlaciona la variación porcentual de la resistencia a la compresión del concreto, con la

disminución porcentual de la deriva en función de la resistencia corregida, se obtiene un comportamiento lineal, tal como se observa en la Figura 10, sugiriendo una relación de proporcionalidad, debido a que a medida que aumenta la resistencia y por ende el módulo de elasticidad, se disminuye la deriva. Por lo tanto, conociendo los valores de deriva para una resistencia dada, se puede determinar un valor aproximado de esta, para un incremento porcentual conocido de la resistencia.

Las ecuaciones desarrolladas en este artículo pueden llegar a ser de gran ayuda para los ingenieros estructurales al momento de obtener las derivas en un análisis de vulnerabilidad sísmica de tipo global. Es decir, cuando las derivas hallan sido determinadas directamente con la resistencia a la compresión del núcleo de concreto obtenida en el laboratorio, simplemente con aplicar las ecuaciones propuestas (ver Ec. 3 y 4), ya sea con el diámetro de extracción del núcleo (D_{nucleo}) ó con la variación porcentual de la resistencia (%VR) (ver Ec. 2), se puede determinar el porcentaje en el cual se disminuyen las derivas al ser calculadas con la resistencia real de la estructura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen a todos los ingenieros pertenecientes al Centro de Investigaciones del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Militar “Nueva Granada” así como también al Ingeniero John Alexander Rojas Moreno, integrante del grupo de investigación del grupo de Estructuras y Sísmica, por aportar los conocimientos necesarios para lograr satisfactoriamente esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica. Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente - NSR-98, 1998. 122 p.
- [2] ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, Decreto 074. Límites de microzonificación sísmica y espectros de diseño, 30 de enero de

2001, modifica el Código de Construcción de Bogotá. 2001.

[3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM, (2004) Ensayo de Resistencia de los núcleos, corazones o testigos, C -42 Book of Standard. West Conshohoken, PA. 2004.

[4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM, Método de ensayo para módulo estático de elasticidad y relación de Poisson del concreto en compresión, C -469 Book of Standars. West Conshohoken, PA. 2004.

[5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM, Método de ensayo para la resistencia a la penetración de Concreto Endurecido, C - 803 Book of Standars. West Conshohoken, PA. 2004.

[6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM, Método de ensayo para el número de rebotes de concreto endurecido, C - 805 Book of Standars. West Conshohoken, PA. 2004.

[7] CARRILLO, Julián. y GONZALEZ, Giovanni. Correlación entre el diámetro de extracción y las características del concreto en la auscultación estructural. Bogotá, Colombia: En: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2004. No 54, p 17-25.

[8] COMPUTERS AND STRUCTURES, INC. Structures Analysis Program SAP-2000 V 7-10 Manuals, California, USA: University Avenue Berkeley. 1999.

[9] DARWIN D. y NILSON A. Diseño de Estructuras en Concreto. Santa Fé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill, 1999. 722 p.

[10] GARCIA REYES, Luis Enrique. Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes, 1998. 574 p.

[11] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, ICONTEC. Ensayo de

resistencia a la compresión de cilindros de concreto NTC 673, Bogotá, Colombia. 2000.

[12] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, ICONTEC. Método de ensayo para determinar el Módulo de Elasticidad Estático y la Relación de Poisson en concreto a compresión. NTC 4025. Bogotá, Colombia. 1994.

[13] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, INVIAS. Toma de núcleos y vigas en concretos endurecidos INV E-418, Bogotá, Colombia. 1996.

[14] JIMÉNEZ, Mauricio. y ROJAS John. Incidencia del diámetro de extracción de núcleos en función de la resistencia de concreto en las derivas de las estructuras. Bogotá, Colombia: En: *Tesis de grado. Universidad Militar nueva Granada*. 2005. Páginas 72 -394.

[15] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE, MOPT, Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes – CCCSR-84, *Decreto 1400 de Junio 7 de 1984*, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá. 1984.

[16] NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION, Resistencia del concreto en la estructura. <http://www.nrmca.org/>

[17] SEGURA FRANCO J. Estructuras de Concreto I. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2005. 456 p.

[18] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, UNC, Acero Estructural. <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/Manizales/4080020/Lecciones/Capitulo3/ACEROESTRUCTURAL.htm>. 2005.

[19] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, UNC, Concreto Estructural. <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/Manizales/4080020/Lecciones/Capitulo3/CONCRETOESTRUCTURAL.htm>. 2005.

[20] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, UNC, Evaluación de fuerzas sísmicas. <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo2/Evaluaciondelasfuerzassismicas.htm>. 2005.