

## **Influencia sobre el cortante basal y derivas de edificaciones al incluir una fracción de la carga viva en la carga sísmica reactiva**

### **Influence on the building base shear and drifts when adding a fraction of the live load to the effective seismic weight**

**Brian Cagua-Gómez<sup>1</sup>; Adrian Tola-Tola<sup>2</sup>; Julia Pilatasig-Caizaguano<sup>3</sup>; Paúl Aguilar-Rosero<sup>4</sup>;**

<sup>1</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas, Posgrado/ Ingeniería Civil, Sangolquí - Ecuador, [bjcagua@espe.edu.ec](mailto:bjcagua@espe.edu.ec)

<sup>2</sup>Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca / Ingeniería Civil, Cuenca – Ecuador, [atolat@ups.edu.ec](mailto:atolat@ups.edu.ec)

<sup>3</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas, Posgrado/ Ingeniería Civil, Sangolquí - Ecuador, [jepilatasig3@espe.edu.ec](mailto:jepilatasig3@espe.edu.ec)

<sup>4</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas, Posgrado/ Ingeniería Civil, Sangolquí - Ecuador, [psaguilar1@espe.edu.ec](mailto:psaguilar1@espe.edu.ec)

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1667>

#### **Resumen**

Este artículo estudia el impacto sobre el cortante basal y la deriva de piso al incluir una fracción de carga viva en el cálculo de la carga sísmica reactiva. Los análisis incluyen la variación del periodo de vibración causada por un incremento en la carga reactiva; la correspondiente variación en la aceleración espectral y el cortante basal se evalúa utilizando el espectro elástico de diseño de la normativa sismorresistente de Ecuador para tres ubicaciones distintas y un tipo de suelo seleccionado. Análisis fueron conducidos en múltiples estructuras de baja altura para investigar los cambios en las derivas. Se encontró que la inclusión de una fracción de la carga

viva en la carga reactiva conlleva a un incremento del cortante basal y derivas; la magnitud de este incremento depende de la ubicación del periodo estructural respecto al periodo donde termina la zona de aceleración espectral constante, y la relación entre carga viva y muerta de la estructura.

---

**Palabras clave:**

*Carga sísmica reactiva, cortante basal, derivas, CEINCI-LAB, Norma Ecuatoriana de la Construcción.*

---

## Abstract

This article studies the impact on the base shear and floor drift when including a fraction of the live load in the effective seismic weight. The analyses consider the variation in the building period of vibration due to an increase in the effective seismic weight; the corresponding changes in the spectral acceleration and base shear are evaluated using the elastic design spectrum given by the Ecuadorian seismic code, for three different locations and a selected type of soil. Analyses were also conducted in several low-rise structures to study the changes in the drift. It was found that including a fraction of the live load in the effective seismic weight produces an increase in the base shear and drifts; the magnitude of such increase depends on the building period of vibration, and the relation between live and dead loads.

---

**Keywords:**

*Reactive seismic load, bass shear, drifts, CEINCI-LAB, Ecuadorian Seismic Code.*

---

## Introducción

La carga sísmica reactiva (o carga reactiva) es determinante en el cálculo de la fuerza sísmica que actúa sobre una estructura; algunas normativas de diseño sismorresistente definen dicha carga reactiva como la suma del peso propio de la edificación y la sobrecarga permanente; mientras que otras normativas incluyen

adicionalmente una fracción de la carga viva que varía de acuerdo con el tipo de uso de la edificación (residencia, bodega, etc.).

Durante un evento sísmico las personas experimentan vibración y movimiento de sus extremidades, así como dificultades en sostener el equilibrio; aquello sugiere un desacoplamiento parcial entre las personas y el piso en el cual se sostienen; sin embargo, es razonable considerar que al menos una fracción del peso de las personas en una edificación contribuye a la masa que se mueve junto con la estructura. Si a esto se suma el hecho de la ocurrencia de un evento sísmico puede coincidir con altas tasas de carga viva presente en las edificaciones (por ejemplo, escuelas, hospitales, centros comerciales), entonces es razonable la inclusión de un porcentaje de la carga viva en la carga reactiva. Además, es probable que algunos elementos como armarios, muebles u otros similares actúen como elementos fijos a la estructura, aportando de esta manera a la carga reactiva. La determinación de la fracción “precisa” de la carga viva que influye en la respuesta sísmica de una estructura es un problema complejo; existe mucha incertidumbre al respecto y por ello algunos autores proponen ecuaciones para casos específicos de análisis.

En el trabajo de Reyes et al. (2018) se desarrolla una expresión de diseño con el fin de estimar la porción de la carga viva que se debe considerar como masa efectiva durante un sismo; los modelos consideran estructuras de baja altura destinadas para almacenamiento, y los lugares seleccionados para el estudio incluyen zonas de alto, intermedio y bajo peligro sísmico, de acuerdo con la normativa NSR-10 (2010). Las tres alternativas de modelos produjeron esencialmente las mismas series de tiempo, lo cual generó confianza en el modelo numérico desarrollado. Los resultados de Reyes et al. (2018) sugieren que el uso de la carga viva mínima establecida por el ASCE/SEI 7-10 podría conducir a subestimar significativamente las demandas de derivas en instalaciones destinadas al almacenamiento. Los errores no son conservativos y en algunos casos son hasta mayores al 100% respecto a la respuesta real. El estudio estableció un algoritmo para calcular un

coeficiente  $\lambda$  entre 0 y 1 que determina la porción del bloque de masa que es efectiva como peso sísmico. El uso del 25% de almacenamiento de carga viva como peso sísmico produjo derivas de hasta el 20% menos que aquellas obtenidas con el modelo que incluye objetos de carga viva deslizantes.

Dentro de la misma línea de investigación, Ardila, B. (2014) realizó modelos numéricos (de un grado de libertad) y experimentales para describir el comportamiento sísmico de estructuras de 1 piso. El autor propone también una ecuación que permite calcular el porcentaje de la carga viva que debe considerarse como masa sísmica para el diseño de estructuras de almacenamiento de 1 piso.

La influencia de la carga viva en la carga reactiva también ha sido estudiada por Challagulla et al. (2020); dicho trabajo presenta un modelo numérico para simular la interacción dinámica entre una estructura primaria y un conjunto de cuerpos apilados descansando sobre aquella y con posibilidad de deslizarse. Se propone un método para calcular un período estructural modificado para usarlo en el diseño y de esta manera considerar la influencia de la carga viva en el análisis. Al igual que en los dos trabajos anteriores, Challagulla et al. (2020) proponen una expresión de diseño (verificada con los resultados experimentales) para estimar la fracción de la carga viva a ser incluida como inercia en el diseño sísmico de la estructura primaria. El estudio determinó que dicha porción está en función de la aceleración estructural total y el coeficiente de fricción entre la carga viva y la estructura. El estudio de Challagulla et. al. (2020) contempló edificios de corte aporticados de múltiples grados de libertad y se realizó un estudio paramétrico para cuantificar la fracción de la carga viva que contribuye a la carga reactiva. Los resultados indicaron que la estructura primaria es grandemente afectada por carga viva consistente en objetos apilados bajo movimientos sísmicos reales.

A diferencia de la NEC-SE-DS (2015), varias normativas de diseño sismorresistente incluyen una fracción de la carga viva en el cálculo de la carga reactiva. La Tabla 1

presenta un resumen de dichas fracciones para distintas normativas y diferentes tipos de uso.

**Tabla 1**

*Fracción de carga viva considerada en el cálculo de la carga reactiva*

Norma	País	Depósitos o bodegas	Edificios	Azoteas, techos, marquesinas	Edificios esenciales e importantes	Áreas para congresos o comercial
NEC-SE-DS (2015)	Ecuador	0,25				
CÓDIGO DISEÑO SÍSMICO (2010)	Costa Rica	0,25	0,15			
NSR-10 (2010) CAPÍTULO A	Colombia	0,25				
NORMA E.030 (2018)	Perú	0,80	0,25	0,25	0,50	
EUROCÓDIGO 8 <sup>a</sup> (2004)	Europa	0,80	0,30		0,80	0,60
ASCE 7-16 (2016)	EEUU	0,25				
NCH 433 <sup>b</sup> (2009)	Chile		0,25		0,50	
NCH 2369 (2003)	Chile	0,50				

Notas. <sup>a</sup> Para pisos con ocupación independiente multiplica por 0,50; para ocupación correlacionada por 0,80; techos 1,0.

<sup>b</sup> 0,25 donde no es usual la aglomeración de personas o cosas y 0,50 donde es usual.

Cabe resaltar que las fracciones de la carga viva citados en la Tabla 1 son, en algunos casos, fracciones mínimas recomendadas, y el diseñador puede escoger una fracción superior en caso lo amerite. Se puede notar en la Tabla 1 que la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-SE-DS (2015), establece un porcentaje de carga viva correspondiente al 25% únicamente en el caso de bodegaje y almacenamiento. La normativa de Costa Rica incluye un porcentaje de carga viva de 15% para edificaciones residenciales, mientras la normativa sismorresistente de Perú y Chile sugieren un valor de 25% y la normativa europea recomienda 30%.

Este artículo tiene como propósito analizar el impacto sobre el cortante basal y las derivas al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva; dicho impacto es

analizado en edificaciones con distinto tipo de uso para escenarios sísmicos de tres ciudades de Ecuador.

## Metodología

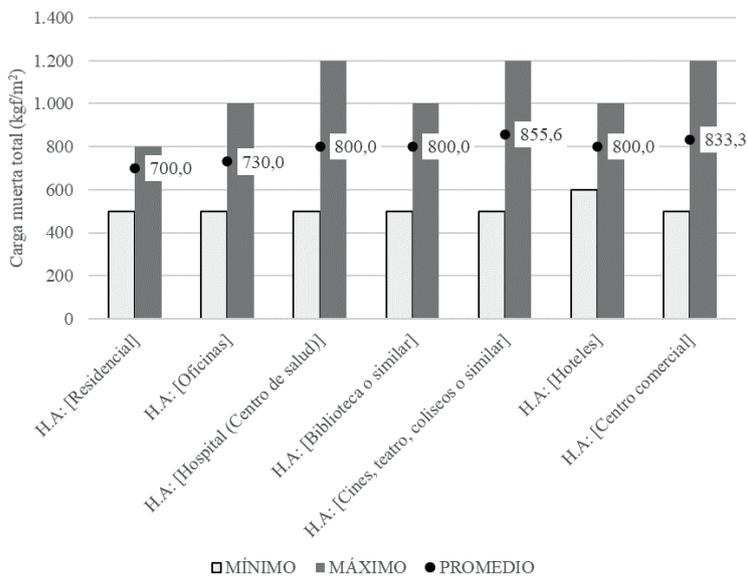
La conducción de este estudio comprende 3 etapas; en la primera se plantea obtener la relación entre la carga viva y la carga muerta para distintas edificaciones en función de su uso. Una vez concluida esta etapa, se procede a la evaluación del impacto en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga sísmica reactiva. La última etapa consiste en evaluar el impacto producido en la deriva de piso con las variaciones planteadas en la carga sísmica reactiva. Las siguientes secciones describen en detalle cada una de estas etapas.

### a) Obtención de la relación entre la carga viva y la carga muerta para distintas edificaciones

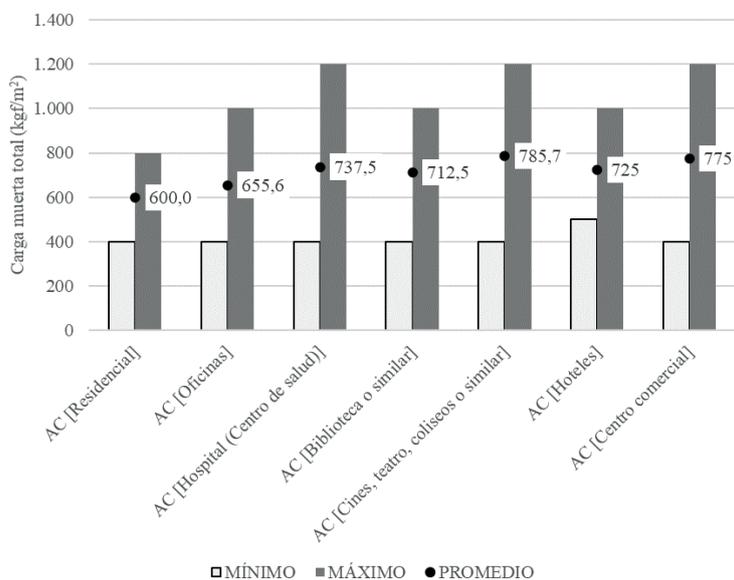
Es importante considerar que la relación entre la carga viva (denotada como “ $L$ ”) y la carga muerta (denotada como “ $D$ ”) varía de acuerdo con el tipo de edificación (por ejemplo, residencial, oficinas) y el material de construcción de la misma (para este estudio puede ser hormigón armado o acero estructural). Para estimar la carga muerta en distintas edificaciones se condujo una encuesta a distintos profesionales en la cual se solicitó reportar los valores de carga muerta (en  $\text{kgf/m}^2$ ) obtenidos en edificaciones de uso residencial, oficinas, hospitales, bibliotecas, cines o teatros, hoteles y centros comerciales. La carga muerta reportada incluye el peso propio de la estructura y la sobrecarga permanente (peso de acabados, paredes internas, equipamiento mecánico, etc.) en estructuras de hormigón armado (denotado como “H.A”) y acero estructural (denotado como “AC”). La encuesta fue llenada por 10 profesionales y permitió identificar los valores mínimo, máximo y promedio de carga muerta para distintas edificaciones. Los resultados obtenidos para estructuras de hormigón armado y de acero estructural se indican en las Figuras 1a y 1b, respectivamente.

**Figura 1**

*Carga muerta en función de la ocupación y material de construcción*



**(a) Estructuras de Hormigón Armado (H.A)**



**(b) Estructuras de Acero (AC)**

Para cuantificar la carga viva correspondiente a los mismos tipos de edificaciones listados en la Figura 1, se emplea los valores recomendados en la sección 4.2 de la normativa ecuatoriana NEC-SE-CG (2015). Para este efecto, se asume que la estructura tiene una distribución uniforme de carga por unidad de superficie. Los valores de carga viva utilizados, de acuerdo con esta normativa se describen en la Tabla 2.

**Tabla 2**

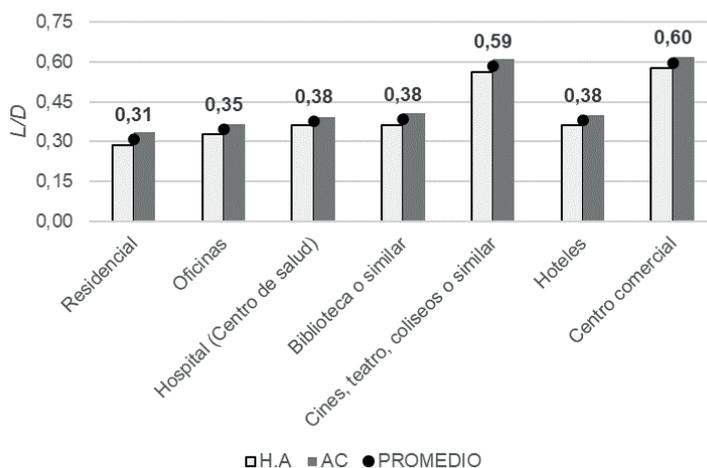
*Carga viva para edificaciones con distinto uso, de acuerdo con la normativa NEC-SE-CG*

Tipo de edificación	Carga viva (kgf/m <sup>2</sup> )
Residencial	200
Oficina	240
Hospital	290
Biblioteca	290
Cine o Teatro	480
Hoteles	290
Centro Comercial	480

Una vez estimadas las cargas muertas ( $D$ ) y vivas ( $L$ ) para distintos tipos de edificaciones, se puede establecer la relación  $L/D$  y clasificar a las estructuras en función de esta relación. La Figura 2 muestra las relaciones obtenidas  $L/D$  para distintos tipos de estructuras, utilizando los valores promedio de carga muerta mostrados en las Figuras 1a y 1b.

**Figura 2**

*Relación de carga viva respecto a carga muerta para edificaciones con distintos tipos de uso*



### b) Procedimiento para la evaluación del impacto en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva

El cálculo del cortante basal, de acuerdo con la normativa NEC-SE-DS (2015) se determina utilizando la siguiente expresión:

$$V = \frac{I \cdot S_a(T)}{R \cdot \phi_p \cdot \phi_e} W \quad (1)$$

en donde  $V$  es el cortante basal de diseño,  $I$  es el factor de importancia,  $S_a(T)$  es la aceleración espectral correspondiente al periodo fundamental de vibración de la estructura  $T$ ,  $R$  es el factor de modificación de respuesta sísmica,  $\phi_p$  y  $\phi_e$  son los factores de irregularidad en planta y elevación, respectivamente, y  $W$  es la carga reactiva. El presente estudio propone que la carga reactiva sea evaluada mediante la siguiente expresión:

$$W = D + xL \quad (2)$$

en donde  $D$  representa la carga muerta (peso propio más sobrecarga permanente),  $x$  es un valor que varía entre 0 y 1, y  $L$  es la carga viva.

En la Ecuación (1) se puede apreciar que el cortante basal ( $V$ ) es directamente proporcional a la carga reactiva  $W$ , lo cual implicaría un posible incremento del cortante basal al aumentar la carga reactiva. Sin embargo, el aumento de la carga reactiva conlleva un aumento en el periodo de vibración,  $T$ , y una consecuente disminución de la aceleración espectral  $S_a(T)$  para estructuras con periodo de vibración mayor a  $T_c$  (periodo en el cual termina la zona de aceleración constante en el espectro de diseño de la NEC-SE-DS). Por tanto, el impacto en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva depende tanto del incremento de la carga reactiva como de la consecuente reducción en la aceleración espectral. Para evaluar el impacto en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva se determina la relación  $F_V$  entre el cortante basal incluyendo una fracción  $x$  de la carga viva ( $V_{D+xL}$ ) y el cortante basal calculado únicamente con la carga muerta ( $V_D$ ). El parámetro  $F_V$  se determina de acuerdo con la Ecuación 3.

$$F_V = \frac{V_{D+xL}}{V_D} = \frac{S_a(T_{D+xL}) \cdot W_{D+xL}}{S_a(T_D) \cdot W_D} \quad (3)$$

en donde  $T_{D+xL}$  y  $T_D$  representan los periodos de vibración de dos sistemas de un grado de libertad con la misma rigidez y con cargas reactivas iguales a  $W_{D+xL}$  y  $W_D$ , respectivamente. Los valores de  $S_a(T_{D+xL})$  y  $S_a(T_D)$  corresponden a las aceleraciones espectrales para los periodos  $T_{D+xL}$  y  $T_D$ , respectivamente. Nótese que en la Ecuación (3) los factores  $I$ ,  $R$ ,  $\phi_p$  y  $\phi_e$  se simplifican y en consecuencia la influencia del cortante basal únicamente depende de la aceleración espectral y de la carga reactiva. Las variables  $W_{D+xL}$ ,  $T_{D+xL}$  y  $T_D$ , se pueden obtener con las siguientes expresiones.

$$W_{D+xL} = W_D + xL \quad (4)$$

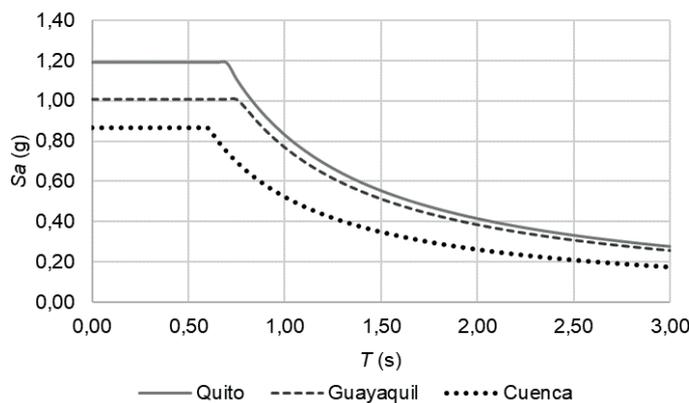
$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W_D / g}{K}} \quad (5)$$

$$T_{D+xL} = 2\pi \sqrt{\frac{(W_D + xL) / g}{K}} \quad (6)$$

en donde  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $K$  es la rigidez del sistema estructural. La aceleración espectral correspondiente a los periodos  $T_{D+xL}$  y  $T_D$  se determina en función del espectro de diseño de la NEC-SE-DS (2015). En el presente estudio se utiliza los espectros correspondientes a las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, para un suelo tipo D (de acuerdo con la clasificación de suelos prescrita por esta normativa). Los espectros elásticos de diseño para estas ciudades y tipo de suelo se muestran en la Figura 3.

**Figura 3**

*Espectro de diseño para las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, en suelo tipo D.*



Se puede identificar dos zonas en cada espectro mostrado en la Figura 3; la zona en la cual la aceleración es constante y el tramo en el cual la aceleración decrece

en función del periodo de vibración (velocidad espectral constante). El valor de la aceleración espectral para estas dos regiones se expresa mediante las Ecuaciones (7) y (8).

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para} \quad 0 \leq T \leq T_c \quad (7)$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para} \quad T > T_c \quad (8)$$

en donde  $\eta$  es un factor que depende de la región,  $Z$  representa la aceleración de diseño medida en roca,  $F_a$  es el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto, y  $r$  representa un factor de ajuste para la curva del espectro y depende del tipo de suelo.

Dado que los resultados de la Figura 2 indican relaciones  $L/D$  que oscilan entre 0,30 y 0,60, la evaluación del factor  $F_v$  (Ecuación 3) se obtiene para valores de  $x$  (Ecuación 4) entre 0,30 y 0,60.

### c) Metodología para evaluar el impacto en la deriva de piso al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva

El incremento del cortante basal genera un aumento de las fuerzas laterales aplicadas a las estructuras; en consecuencia, dado que la NEC-SE-DS requiere que la deriva elástica sea calculada con el mismo nivel de fuerzas usado para determinar el cortante basal, la deriva también se incrementa.

La ecuación (9) permite determinar las derivas inelásticas acorde a la NEC-SE-DS (2015).

$$\Delta m = \Delta e \cdot (0.75R) \quad (9)$$

en donde  $\Delta m$  es la deriva inelástica y  $\Delta e$  es la deriva elástica.

La NEC-SE-DS (2015) indica que para determinar las derivas en estructuras de hormigón armado se debe fisurar las secciones de los elementos estructurales; no obstante, en este artículo el objetivo es evaluar la influencia de modificar la carga reactiva en las derivas máximas, por lo que los análisis consideran las secciones

sin agrietar. Además, es importante resaltar que los resultados no dependen del factor  $R$  debido a que este factor se simplifica en el cálculo, como se indica en la siguiente expresión.

$$F_{\Delta} = \frac{\Delta m_{D+XL}}{\Delta m_D} = \frac{\Delta e_{D+XL}}{\Delta e_D} \quad (10)$$

en donde los términos  $\Delta m_D$  y  $\Delta m_{D+XL}$  representan la deriva inelástica al excluir e incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva, mientras que  $\Delta e_D$  y  $\Delta e_{D+XL}$  representan derivas elásticas para estas mismas condiciones.

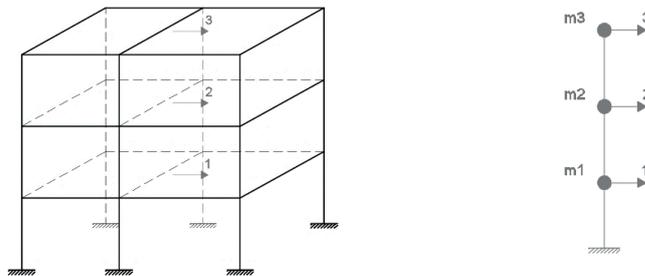
El análisis de derivas se realiza únicamente para estructuras destinadas a uso residencial, con 1, 2 o 3 pisos, con una estructura en base a pórticos a momento de hormigón armado. Los análisis se desarrollan empleando el Sistema de Computación CEINCI-LAB, considerando sistemas simplificados de 1 grado de libertad por piso con masas concentradas, como se indica en la Figura 4.

El análisis se sustenta en el cálculo de la matriz de rigidez lateral de los pórticos de la estructura en el sentido de análisis, esta matriz es el resultado de condensar la matriz de rigidez total en los grados de libertad horizontales en cada piso. Posteriormente se realiza la sumatoria de la rigidez lateral de cada pórtico para obtener la matriz de rigidez lateral de la estructura, acorde al modelo indicado en la Figura 4. Este modelo es aplicable cuando se considera que la losa de cada piso genera un diafragma rígido y cuando la estructura es regular en planta, condiciones que se cumplen para las estructuras en análisis.

Se analizó un grupo de 200 estructuras de 3 pisos, con diferentes geometrías y secciones de columnas y vigas, considerando vigas peraltadas; además 100 estructuras de una base de datos de proyectos de viviendas de 1, 2 y 3 pisos desarrollados en Quito. La metodología de cálculo se detalla en Pilatasig et al. (2020); sin embargo, en este estudio se modifican los programas para variar las fracciones de cargas vivas consideradas para la determinación de la carga reactiva.

## Figura 4

### Modelo para análisis de derivas



*Nota:* Tomado de Pilatasig et al. (2020).

Las estructuras analizadas presentan periodos de vibración del rango de 0,20 a 0,70 segundos y se verifica que las derivas máximas inelásticas sean menores al límite del 2% establecido en la normativa ecuatoriana para estructuras en base a pórticos resistentes a momento; las estructuras que cumplen estas condiciones son 228, de las cuales 135 son generadas con parámetros aleatorios y 93 son estructuras reales de proyectos en Quito.

## Resultados

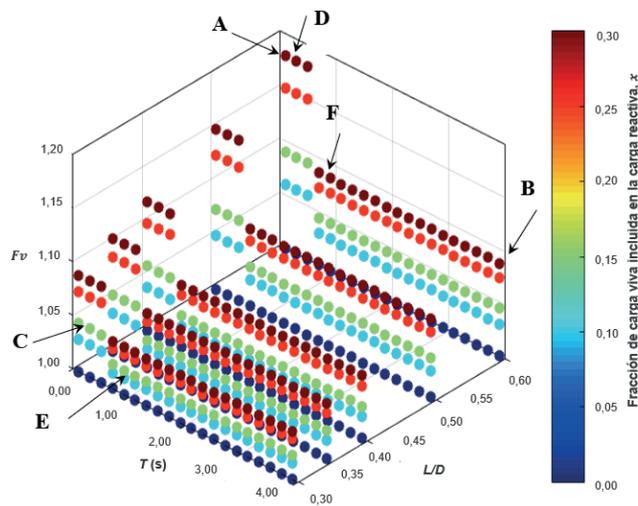
En la Figura 5 se presenta el efecto de un aumento en el cortante basal al incluir una fracción de carga viva en la carga reactiva respecto a no incluirla. Este gráfico tiene como ejes “horizontales” al periodo de la estructura (de 0,01 a 4 segundos), y a la relación entre carga viva y carga muerta (valores entre 0,30 y 0,60). El eje vertical contiene el valor del factor  $F_V$ , el cual constituye la relación entre el cortante basal incluyendo distintas fracciones de la carga viva en la carga reactiva ( $V_{D+xL}$ ), y el cortante basal sin incluir un porcentaje de la carga viva ( $V_D$ ).

Se puede distinguir en la Figura 5 dos zonas con distinto impacto en el valor de  $F_V$ ; la primera zona corresponde a edificaciones con periodos de vibración menores o iguales a  $T_c$ , (zona con aceleración espectral constante), en donde los valores de

$F_V$  oscilan entre 1,00 y 1,18. La segunda zona corresponde a edificaciones con periodos de vibración mayores a  $T_c$ , en donde la velocidad espectral es constante, y los valores de  $F_V$  oscilan entre 1,00 y 1,09.

**Figura 5**

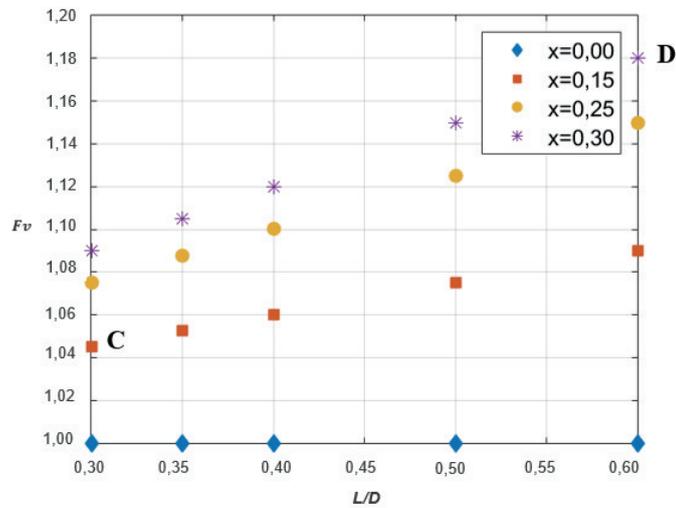
*Influencia en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva, para distintos periodos de vibración*



Con el objeto de analizar el valor de  $F_V$  para periodos de vibración “cortos” y “largos”, las Figuras 6 y 7 presentan cortes transversales en las dos zonas mencionadas para periodos de 0,20 y 1,00 segundo, respectivamente.

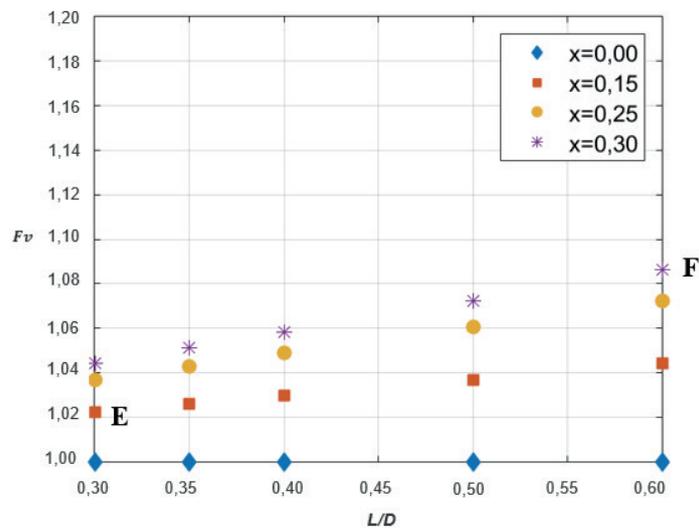
**Figura 6**

*Influencia en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva, para estructuras con  $T = 0,20$  s.*



**Figura 7**

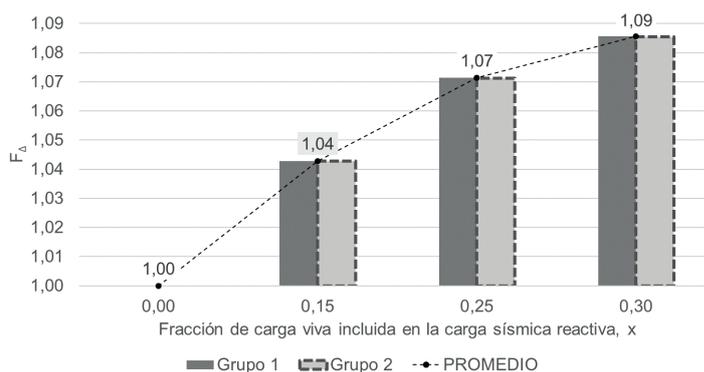
*Influencia en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva, para estructuras con  $T = 1,00$  s.*



El impacto en las derivas al considerar una fracción de la carga viva en la carga reactiva fue analizado para el grupo de 228 estructuras mencionado anteriormente. Los resultados de dicho análisis se presentan en la Figura 8, en la cual se distinguen los valores obtenidos del factor  $F_{\Delta}$  para cada configuración, siendo el Grupo 1 las estructuras idealizadas con vigas peraltadas y el Grupo 2 las estructuras generadas de la base de datos de viviendas reales, así como el valor promedio obtenido de todas estas configuraciones para la misma fracción  $L/D$ .

**Figura 8**

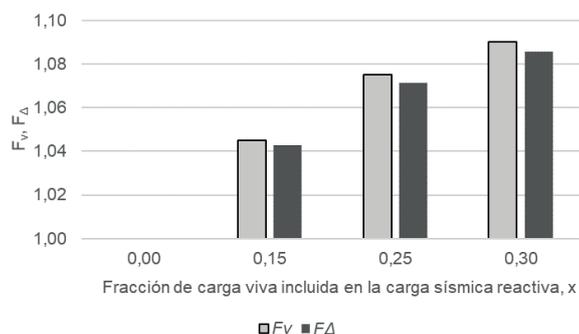
*Influencia de la carga viva en la deriva máxima de piso*



La Figura 9 presenta de manera conjunta el incremento de cortante basal y de derivas para distintas fracciones de carga viva incluidas en la carga reactiva; las barras mostradas en dicha figura representan el promedio de los análisis detallados previamente.

**Figura 9**

*Influencia de la carga viva en el cortante basal y la deriva máxima de piso*



Los resultados de la influencia de considerar una fracción de carga viva en la carga reactiva para el cortante basal como para las derivas se presentan en la Tabla 3, los análisis se realizan para estructuras con periodos corto y con relación L/D de 0,30 empleando los espectros de las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca con suelo tipo D. Las fracciones de carga viva consideradas son 0,15; 0,25 y 0,30 respectivamente. Se observa que no existe un cambio en el valor de  $F_V$  para las ciudades de análisis, no obstante, el factor  $F_{\Delta}$  es ligeramente menor para las estructuras ubicadas en Cuenca respecto a Quito y Guayaquil.

**Tabla 3**

*Influencia de la fracción de carga viva considerada en el cálculo de la carga reactiva en  $F_V$  y  $F_{\Delta}$ , para estructuras con periodo corto y  $L/D=0,30$ .*

x	$F_V$			$F_{\Delta}$		
	Quito	Guayaquil	Cuenca	Quito	Guayaquil	Cuenca
0,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,15	1,045	1,045	1,045	1,043	1,043	1,040
0,25	1,075	1,075	1,075	1,071	1,071	1,066
0,30	1,090	1,090	1,090	1,086	1,085	1,079

## Discusión

En la Figura 5 se puede evidenciar que la influencia en el cortante basal (dada por el valor de  $F_V$ ) puede tener valores desde 1,00 hasta 1,18 (Punto A en la Figura 5), para una relación  $L/D$  de 0,60, para periodos menores o iguales al periodo  $T_c$ . Sin embargo, la influencia en el cortante basal es menor para periodos mayores a  $T_c$ , para todos los valores incluidos de la relación  $L/D$ . Por ejemplo, el máximo valor de  $F_V$  es igual a 1,08 para una relación  $L/D$  igual a 0,60 (Punto B en la Figura 5).

Para estructuras de uso residencial con periodo de vibración menor a  $T_c$ , representadas por la relación  $L/D$  igual a 0,30 en la Figura 6, y para un valor de  $x=0,15$  se tiene un incremento en el cortante basal de aproximadamente 5% (Punto C en la Figuras 5 y 6). Así mismo, para el caso de cines y centros comerciales, con una relación  $L/D$  semejante a 0,60, y para un valor de  $x=0,30$ , se tiene un incremento en el cortante basal de aproximadamente 18%, para estructuras con  $T=0,20$  s (Punto D en Figuras 5 y 6).

La Figura 7 muestra el impacto para el mismo tipo de edificaciones descrito en la Figura 6, pero considerando que estas estructuras tienen un periodo largo (por ejemplo,  $T=1,00$  s). Para el caso de edificaciones residenciales ( $L/D=0,30$ ) y para cines ( $L/D=0,60$ ), para valores de  $x=0,15$  y  $x=0,30$ , el aumento en el cortante basal es de 2% y 8,5%, respectivamente, (Puntos E y F en Figuras 5 y 6) reflejando un impacto menor comparado al de estructuras con periodo corto.

En la Figura 8 se aprecia para uso residencial, con  $x=0,15$ , un incremento de derivas de 4% respecto del análisis sin incluir una fracción de carga viva en el cálculo de la carga reactiva. En la sección de metodología se plantea la hipótesis

sobre un incremento proporcional de las derivas en función del incremento de fuerzas laterales, esto se puede confirmar en la Figura 9.

En la Tabla 3 se evidencia que la influencia en el cortante basal para las estructuras ubicadas en Quito, Guayaquil y Cuenca es prácticamente la misma, al incluir diferentes fracciones de carga viva en la carga reactiva; sin embargo, existe una diferencia menor en cuanto a la influencia de las derivas para la ciudad de Cuenca.

En la Tabla 4 se presenta una propuesta de fracción mínima de carga viva para la carga reactiva en función del uso de la edificación. Para azoteas, marquesinas y techos la probabilidad de tener carga viva durante un evento sísmico en estos sitios es pequeña por lo tanto se recomienda una fracción de  $x=0,00$ . En edificaciones residenciales, oficinas, hoteles o restaurantes es probable tener personas u objetos que pueden contribuir a la carga sísmica reactiva, la fracción de contribución es de  $x=0,15$  con el objetivo de no tener incrementos de cortante basal superior a 10%, como se observa en la Figura 6 y 7 para valores de  $L/D$  de 0,30, 0,35 y 0,40 que representan las estructuras mencionadas. Bajo el mismo criterio se establece una fracción de carga viva de  $x=0,25$  para estructuras esenciales destinadas a hospitales o centros de salud, además de escuelas o institutos con un uso similar en las cuales la relación  $L/D$  es aproximadamente 0,40. Para las estructuras de almacenaje, bodegas o similar se sugiere una fracción de  $x=0,25$  para tener incrementos de cortante basal de 10%, sin embargo, se recomienda generar un grupo diferente al anterior debido al uso. Finalmente se sugiere una fracción de carga viva de  $x=0,30$  para edificaciones como cines, teatros, áreas con aglomeración de personas o cosas.

**Tabla 4**

*Propuesta de fracción de carga viva considerada en el cálculo de la carga reactiva en la NEC-SE-DS*

Descripción	$x$
Azoteas, marquesinas y techos.	0,00
Edificaciones para uso residencial, oficinas, hoteles o restaurantes.	0,15
Edificaciones esenciales destinadas al sector de salud (públicos o privados), además de institutos educativos como escuelas, colegios, universidades o similares.	0,25
Edificaciones destinadas a bodegas, salas de archivos o almacenamiento.	0,25
Edificaciones empleadas para cines, teatros, salas de reuniones o de congresos, centros comerciales, estacionamientos o construcciones que tenga alta probabilidad de aglomeración de personas o cosas.	0,30

## Conclusiones

El presente estudio concluye lo siguiente:

- La propuesta de las fracciones de carga viva en el cálculo de la carga sísmica reactiva hace referencia a valores mínimos y el profesional responsable del análisis y diseño estructural debe evaluar cada caso particular.
- Incluir una fracción de carga viva en el cálculo de la carga reactiva presenta un incremento en el cortante basal, consecuentemente en las fuerzas laterales y en las derivas de la estructura.
- El incremento de cortante basal es mayor en estructuras de periodo corto, es decir periodo menor a  $T_c$ , respecto a las estructuras de periodo largo; de

manera similar la influencia es mayor cuando la relación de carga viva respecto a carga muerta es mayor.

- El incremento de las derivas en función del incremento de cortante basal tiende a ser directamente proporcional en las estructuras de análisis, se sugiere realizar un análisis en estructuras con periodos de vibración mayores a  $T_c$  para evaluar si se mantiene esta proporcionalidad.

### Agradecimientos

Se agradece a los profesionales que participan en la actualización de la Norma Ecuatoriana de la Construcción y que completaron la encuesta con valores de carga muerta utilizados en sus proyectos. Así mismo se extiende el agradecimiento a los miembros del subcomité 6 del proceso de actualización de la NEC-SE-DS por su valioso input en esta temática.

### Bibliografía

Ardila L. (2014). *Efecto de la Carga Viva en el Diseño Sísmico de Estructuras de Almacenamiento de un Piso*. Universidad de Los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá, Colombia.

ASCE 7-16. (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. USA: American Society of Civil Engineers.

Challagulla S. P., Parimi C. y Thiruvikraman P. K. (2020). *Effect of the Sliding of Stacked Live Loads on the Seismic Response of Structures*. Engineering Journal, Vol. 24, No. 4. India.

Código Sísmico de Costa Rica. (2010). *Código de Diseño Sísmico de Costa Rica Revisión 2014*. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.

Eurocode 8. (2004). *Design of Structures for Earthquake Resistance*. European Committee for Standardization (CEN).

NCH 2369. (2003). *Norma Chilena Oficial: Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales*. Instituto Nacional de Normalización INN-Chile.

NCH 433. (2009). *Norma Chilena Oficial: Diseño Sísmico de Edificios*. Instituto Nacional de Normalización INN-Chile.

NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente*. Quito: Dirección de Comunicación Social MIDUVI.

Norma Técnica E.030. (2018). *Diseño Sismorresistente*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. República del Perú.

NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Pilatasig J., Cagua B., Aguiar R., Vaca F. (2020). *Generación Automática y Análisis de Estructuras de Hormigón Armado con CEINCI-LAB*. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 25(3), 421-443.

Reyes J. C., Marcillo E., Smith J. P., Ardila O. A. (2018). *Assessment of the Effective Seismic Mass for Low-Rise Framed Shear Buildings Supporting Nearly Permanent Live Loads*. American Society of Civil Engineers.