

## Determination and statistical analysis of construction loads on reinforced concrete slabs

### *Determinación y análisis estadístico de cargas de construcción en losas de concreto reforzado*

Jorge Fernando Márquez-Peñaranda<sup>a</sup>, Carlos Humberto Flórez-Góngora<sup>b</sup>, Juan Camilo Ramírez-Gamboa<sup>c</sup>

<sup>a</sup>\*Doctor en Ingeniería, [jorgefemandomp@ufps.edu.co](mailto:jorgefemandomp@ufps.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-9193-8349>, Universidad Francisco de Paula Santander, Departamento de construcciones civiles, vías y transportes. Grupo de Investigación en ingeniería estructural-POLIMATAS, San José de Cúcuta, Colombia.

<sup>b</sup>Magister en Ingeniería Civil, [carloshumbertofg@ufps.edu.co](mailto:carloshumbertofg@ufps.edu.co), <https://orcid.org/0000-0001-6924-0713>, Universidad Francisco de Paula Santander, Departamento de Geotecnia y Minería, Grupo de Investigación en Geotecnia Ambiental-GIGA, San José de Cúcuta, Colombia.

<sup>c</sup>Magister en ingeniería Civil, [juancamilorg@ufps.edu.co](mailto:juancamilorg@ufps.edu.co), <https://orcid.org/0009-0002-5317-6192>, Universidad Francisco de Paula Santander, Departamento de construcciones civiles, vías y transportes, Grupo de investigación en Geotecnia Ambiental-GIGA, San José de Cúcuta, Colombia.

**Forma de citar:** Márquez-Peñaranda, J. F., Flórez-Góngora, C. H., y Ramírez-Gamboa, J. C. (2026). Determinación y análisis estadístico de cargas de construcción en losas de concreto reforzado. *Eco Matemático*, 17(1), 6-18. <https://doi.org/10.22463/17948231.5550>

Recepción: Agosto 27, 2025

Aprobación: Diciembre 15, 2025.

#### Palabras clave

Cargas,  
Construcción,  
Losas,  
Concreto reforzado.

**Resumen:** Esta investigación determinó y analizó de forma estadística un conjunto de cargas temporales denominadas cargas de construcción presentes en losas de edificaciones en concreto reforzado. La muestra se extrajo del proceso constructivo correspondiente a siete edificaciones entre dos y nueve pisos construidos entre 2016 y 2024 en la ciudad de San José de Cúcuta, Colombia. Cada carga se asimiló a un parámetro descriptor asociado a una fuente, tal como materiales, personal de obra y equipos, entre otros. Utilizando como soporte fotografías de buena resolución y escala, registros de bitácoras, testimonios, programaciones de obra, planos arquitectónicos y estructurales, se identificó el conjunto de cargas. Se calculó para cada carga que actuaba en un área determinada, su peso, coeficiente de variación, participación y aporte. Para su análisis se usó la distribución de probabilidad Gamma, calculando su parámetro de forma ( $\alpha$ ) y un parámetro de escala inversa ( $\beta$ ), con distribuciones de probabilidad continuas. Los datos obtenidos se usaron como insumo para adaptar un modelo matemático para cargas vivas con el fin de describir formalmente su comportamiento. Aunque en la norma de construcción sismo resistente colombiana NSR10 no se definen las cargas de construcción se realizó la comparación contra la carga viva por ser altamente variable y de corta o mediana duración. Se encontró un factor de 2.2 para una carga media de construcción que puede asimilarse a la carga de servicio durante la etapa de levantamiento de la edificación. Este resultado indica que, la magnitud de las cargas de construcción puede ser tan alta como la carga viva de diseño, lo cual advierte sobre la necesidad de considerar sus efectos sobre la rigidez y resistencia temprana y definitiva de los elementos estructurales.

\*Autor para correspondencia: [jorgefemandomp@ufps.edu.co](mailto:jorgefemandomp@ufps.edu.co)

<https://doi.org/10.22463/17948231.5550>

## Keywords

Loads,  
Construction,  
Slabs,  
Reinforced concrete.

**Abstract:** This research statistically identified and analyzed a set of temporary loads, known as construction loads, present on reinforced concrete building slabs. The sample was taken from the construction process corresponding to seven buildings between two and nine stories built between 2016 and 2024 in the city of San Jose de Cúcuta, Colombia. Each load was assigned a descriptive parameter associated with a source, such as materials, construction personnel, and equipment, among others. Using high-resolution, scaled photographs, logbooks, testimonies, construction schedules, and architectural and structural plans, the set of loads was identified. For each load acting on a given area, its weight, coefficient of variation, participation, and contribution were calculated. The Gamma probability distribution was used for analysis, calculating its shape parameter ( $\alpha$ ) and an inverse scale parameter ( $\beta$ ), with continuous probability distributions. The data obtained were used to adapt a mathematical model for live loads in order to formally describe their behavior. Although construction loads are not defined in the Colombian seismic-resistant construction code NSR10, a comparison was made against live loads due to their highly variable nature and short- to medium-duration nature. A factor of 2.2 was found for an average construction load that can be considered equivalent to the service load during the building's erection phase. This result indicates that the magnitude of construction loads can be as high as the design live load, highlighting the need to consider their effects on the early and final stiffness and strength of structural elements.

## Introducción

En la construcción de edificios de concreto reforzado, los cuales representan más de la mitad de las construcciones existentes en el mundo, superando los fabricados con concreto presforzado, acero estructural, mampostería y madera (Silva et al, 2022) (Fernandes, 2019) (Department of the Interior, U.S , 1993) (Picon, 2005/2006), se presenta como en toda estructura, un tipo de cargas, denominada cargas de construcción, la cuales suelen durar pocos días o meses y tienen un componente importante proveniente de las cargas muertas definitivas que contabilizan más del setenta y cinco por ciento de la carga total de servicio. Las cargas de construcción normalmente son generadas durante el proceso de levantamiento de edificaciones y poseen magnitud (dada en unidades de fuerza por unidad de extensión de aplicación, tales como kN, kN/m o kN/m<sup>2</sup>), dirección (poseen componentes verticales y horizontales), sentido (pueden dirigirse en sentido positivo o negativo de su dirección), duración (su aplicación puede durar de horas, días o meses), ubicación espacial (se define con el instante en que ocurre y la ubicación del centro de gravedad de la carga, por lo que se requieren tres coordenadas

espaciales y una coordenada temporal), extensión (se refiere a la longitud, m o área, m<sup>2</sup> en la cual actúa la carga sobre la losa) y variabilidad (The European Union, 2013) (The European Union, 2005). Las más comunes provienen de la acumulación de materiales, personal de construcción y equipos y, además de ser típicamente de alta magnitud, varían en corto tiempo y espacios reducidos (Calderón, Alvarado, & Adam, 2011). En contraste, la resistencia y la rigidez de elementos de concreto reforzado parten de cero y aumentan con el tiempo permitiendo la vulnerabilidad inicial que tiene la estructura cuando no se considera la simultaneidad de alta demanda y baja oferta de seguridad. La corta duración, variabilidad de ubicación y alta magnitud sugieren que las cargas de construcción pueden ser tratadas como una carga viva de alta magnitud que imponen riesgo de daño prematuro a la cimentación, columnas, muros, vigas y losas en edades tempranas. Así, por ejemplo, mientras las cargas de construcción pueden desarrollarse en un 100% en el transcurso de una semana, la resistencia del concreto no suele superar el 70% de su valor de diseño en ese lapso lo que hace evidente el desfase entre oferta y demanda de resistencia (Márquez,

Cáceres, & Jácome, 2022) (Claisse & Dean, 2013) (Xue, Zhang, Li, & Xu, 2021).

**Materiales y Métodos**

La investigación para el cálculo de las cargas de construcción asociadas a las losas de piso en edificaciones de concreto reforzado utilizó una metodología cuantitativa. Tomando una muestra intencionada y limitada por información obtenida del proceso constructivo de siete (7) edificios residenciales y de oficinas con alturas entre dos (2) y nueve (9) pisos construidos entre los años 2016 y 2024 en la ciudad de San José de Cúcuta, Colombia. A cada edificación analizada se le dio el nombre de Obra 1, obra 2,..., hasta obra 7. Se estableció el siguiente orden metodológico:

***Obtención de los parámetros descriptores (d)***

A partir del análisis de un conjunto de fotografías del proceso constructivo correspondiente a cada edificación se obtuvieron los parámetros descriptores ( $d_i$ ). Esta investigación utilizó un total de diez mil (10,000) fotografías de las cuales se seleccionaron doscientas ochenta y cuatro (284) por su buena resolución y escala. Adicionalmente se hizo la revisión de registros de bitácoras, testimonios de constructores, programaciones de obra, planos arquitectónicos, planos estructurales y estadística de peso de materiales, equipos y personas. Los datos medibles se obtuvieron escalando imágenes y cotejando su correspondencia con los planos arquitectónicos. Las coordenadas espacio-temporales se dedujeron de programaciones de obra y planos arquitectónicos. Los parámetros descriptores se nombraron como  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8,$  y  $d_9$ , y cada uno se corresponde con una fuente específica. La Tabla I muestra los parámetros descriptores utilizados en esta investigación con su fuente asignada.

**Tabla I.** Parámetros descriptores (d) utilizados.

Parámetro descriptor, $d_i$	Fuente
$d_1$	Agua y líquidos
$d_2$	Acero de refuerzo
$d_3$	Cemento y similares
$d_4$	Obra falsa y similares
$d_5$	Pétreos, mampostería y escombros
$d_6$	Personal de obra
$d_7$	Equipos y herramientas
$d_8$	Perfilería, tubería y material liviano
$d_9$	Otros

***Cálculo de pesos de materiales, equipo y personal de obra***

El peso de materiales fue obtenido usando los pesos unitarios dados por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y por lo reportado en la literatura nacional sobre variabilidad de peso unitario de materiales, todo expresado en  $\text{kgf/m}^3$  (AIS, 2010) (ICONTEC, 2007) (Quintero, Cantillo, & Robles, 2018) (Calderón Garcia, 2007). El peso de formaletas y equipos fue obtenido de catálogos de proveedores de equipo para construcción. El peso del personal de obra se determinó usando la información estadística reportada por la literatura y los informes gubernamentales de los índices antropométricos de Cúcuta y otras ciudades de Colombia (Instituto Departamental de Salud de Norte de Santander, 2022) (Vargas-Zárate, Becerra-Bulla, & Prieto-Suárez, 2008) (Albán, Vélez, Gallardo, & Marmolejo, 2008) (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022) (NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC), 2024).

***Cálculo de porcentaje de participación y aporte de carga de los parámetros descriptores ( $d_i$ )***

Para identificar las fuentes que aportan más carga se definieron el porcentaje de participación,  $p_i$  y el aporte de carga,  $AP$ , que fueron calculados según ecuaciones 1 y 2 respectivamente:

$$p_i = \frac{F_i * Q_i}{\sum_1^r F_j * Q_j} \quad (1)$$

$$AP = p_i * Q_i \quad (2)$$

donde  $p_i$  es el porcentaje de participación,  $F_1, F_2, \dots, F_r$  en porcentaje, es la frecuencia relativa de cada carga,  $Q_1, Q_2, \dots, Q_r$  en  $\text{kgf/m}^2$ , la carga fuente,  $r$  la cantidad parcial de datos de carga y  $AP$ , en  $\text{kgf/m}^2$ , es la porción equivalente de carga de la fuente  $i$ .

### Medición de área de incidencia y cálculo de sus parámetros estadísticos

El área de incidencia se configuró dividiendo el área de piso en rectángulos cuyos lados fueron medidos de planos y, en su defecto, de la proyección de isométricos extraídos de las fotografías. La ecuación 3 establece la medida del área de incidencia:

$$A_i = L_i * B_i \quad (3)$$

donde  $A_i$  en  $\text{m}^2$  es el área que contiene la carga  $Q_i$ ,  $L_i$  es la longitud del lado mayor, en metros y  $B_i$  la longitud del lado menor, en metros. Los valores de áreas de incidencia se agruparon según su tamaño y sus parámetros estadísticos se calcularon según las ecuaciones 4, 5 y 6 (Benjamin & Cornell, 2014):

$$A_m = \frac{\sum_1^s A_j}{s} \quad (4)$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum_1^s (A_j - A_m)^2}{s-1}} \quad (5)$$

$$CVA = \frac{\sigma_A}{A_m} \quad (6)$$

donde  $A_m$  en  $\text{m}^2$ , es el área media del grupo;  $s$  es la cantidad de datos del grupo;  $\sigma_A$  es la desviación estándar de las áreas del grupo y  $CVA$  es el coeficiente de variación de las áreas del grupo, calculado como la desviación estándar dividida por la media.

### Cálculo de la carga media y sus parámetros estadísticos

La carga distribuida y la carga media de toda la población fueron calculadas según se indica en las ecuaciones 7 y 8 (Benjamin & Cornell, 2014):

$$Q_i = \frac{W_i}{A_i} \quad (7)$$

$$m = \frac{\sum_1^n Q_i}{n} \quad (8)$$

donde  $W_i$  es el peso medido sobre el área;  $A_i$  en  $\text{kgf}$ ;  $m$  es la carga media de toda la población en  $\text{kgf/m}^2$  y  $n$  es la cantidad total de datos de carga. Los parámetros estadísticos de las cargas distribuidas de cada grupo de áreas se calcularon según ecuaciones 9, 10 y 11:

$$Q_m = \frac{\sum_1^s Q_j}{s} \quad (9)$$

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_1^s (Q_j - Q_m)^2}{s-1}} \quad (10)$$

$$CVQ = \frac{\sigma_Q}{Q_m} \quad (11)$$

Donde  $Q_m$ , en  $\text{kgf/m}^2$  es la carga media del grupo.  $\sigma_Q$  es la desviación estándar de las cargas del grupo y  $CVQ$  es el coeficiente de variación de las cargas del grupo.

### Cálculo de momento de ocurrencia de cada carga, $a_{i,k}$

El momento de ocurrencia de cada dato de carga se asoció con la variable denominada "Avance de Obra" que fue calculada como un porcentaje del tiempo total de construcción de la obra, siguiendo la ecuación 12:

$$a_{i,k} = \frac{t_{i,k}}{T_k} * 100 \quad (12)$$

donde  $a_{i,k}$  es el avance de obra asociado a la ocurrencia de la carga  $i$  (%) dentro de la obra  $k$ ,  $t_{i,k}$  es el tiempo transcurrido desde el inicio de la obra  $k$  hasta la ocurrencia de la carga  $Q_i$  (días) y  $T_k$  es la duración total de la obra  $k$  (días).

**Cálculo de la dispersión aparente**

En este estudio se definió una variable denominada “dispersión aparente” que describe la relación aparente entre la carga y el área y se calculó como:

$$D_i = CA_i * CQ_i * 100 \quad (13)$$

donde  $D_i$  es la dispersión aparente del grupo  $i$ ,  $CA_i$  el coeficiente de variación del área de ese grupo y  $CQ_i$  el coeficiente de variación de la carga de ese grupo.

**Uso de datos de carga y área de piso en el modelo**

Los datos observados para carga y de área de cada grupo se usaron como insumo para calcular y ajustar los parámetros estadísticos del modelo de pronóstico utilizando ecuación 14 (Márquez, Gallardo, & Vergel, 2020):

$$V0 = (m * CQ)^2 \quad (14)$$

donde  $V0$  es la varianza estimada de la carga para cada intervalo de área, en  $kgf^2/m^4$ . Los valores obtenidos de la ecuación 14 se ajustaron relacionándolos con el inverso del área por medio de una curva con la forma dada según ecuación 15 (Márquez, Gallardo, & Vergel, 2020):

$$Var = a + \frac{b}{A} \quad (15)$$

donde  $Var$  es la varianza de carga del modelo en función del área y  $a$  y  $b$  son parámetros obtenidos usando el ajuste por mínimos cuadrados.

Para expresar la relación entre carga y área en la forma que establece el código NSR10 se hizo el ajuste a una función racional que incluye la raíz cuadrada del área en el denominador obteniendo la ecuación 16 (Márquez, Gallardo, & Vergel, 2020):

$$E(U) = c + \frac{a}{\sqrt{A}} \quad (16)$$

donde  $E(U)$  es el valor esperado de la carga en  $kgf$ ;  $a$  y  $b$  son parámetros obtenidos usando el ajuste por mínimos cuadrados.

**Cálculo de la varianza de la carga de acuerdo con su posición según número de pisos**

Los datos de carga observada también se clasificaron según su posición en los diferentes pisos. Los valores obtenidos se ajustaron relacionándolos con el inverso del área por medio de una curva según ecuación 17:

$$Varn = e + \frac{f}{A} \quad (17)$$

donde  $Varn$  es la varianza de carga del modelo en función del área y  $e$  y  $f$  son parámetros obtenidos usando el ajuste por mínimos cuadrados.

**Cálculo de la carga de construcción pronosticada en función del área de piso**

La alta variabilidad de las cargas, su concentración en áreas pequeñas y su disminución en áreas mayores fue tratada con la distribución de probabilidad Gamma con parámetros  $\alpha$  ( $kgf/m^2$ ) y  $\beta$  (adimensional). La expresión obtenida permitió pronosticar valores de cargas  $U50%$ ,  $U90%$  y  $U99%$ , definidos como cargas que tienen probabilidades de exceder al  $50%$ ,  $90%$  y  $99%$  del resto de los valores respectivamente.

## Resultados y Discusión

Se presentan los siguientes resultados de la investigación:

Para su tratamiento, el área de incidencia de cada peso calculado se agrupó considerando ocho (8) intervalos de clase iguales de  $15 \text{ m}^2$  cada uno y dos (2) diferentes debido a su baja frecuencia de observación. La Figura 1 muestra la distribución de áreas de incidencia como la relación del intervalo de área de piso contra la frecuencia de los datos analizados. Se establece que, un 71% de las áreas medidas tienen un tamaño menor o igual que  $53.5 \text{ m}^2$  (cuadrado de 7.31 m de lado) y un 54% tienen un tamaño menor o igual que  $38.5 \text{ m}^2$  (cuadrado de 6.20 m de lado) de lo que se deduce que la mayoría de las áreas de piso se circunscriben en un cuadrado equivalente de unos 7 metros de lado. Así mismo, se observa que el 15% de las áreas tiene un tamaño menor o igual que  $8.5 \text{ m}^2$  (cuadrado de lado 2.92 m).

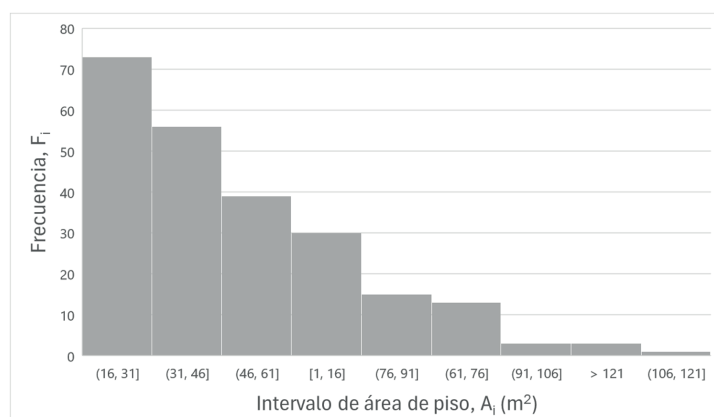


Figura 1. Distribución de áreas de incidencia  $A_i$ .

La Tabla II presenta los parámetros descriptores ( $d_i$ ) para datos de carga según su fuente. El valor medio de carga  $Q_i$ , coeficiente de variación CVQ, porcentaje de participación  $p_i$  y el aporte, AP. Es evidente que los aportes más pesados provienen del almacenamiento de líquidos, el acero de refuerzo y la obra falsa. Así mismo, en algunos casos el alto valor de CVQ indica alta variabilidad en la forma en que se acomodan las cargas en un área dada.

Tabla II. Valor medio de carga en  $\text{kgf/m}^2$  observado de los parámetros descriptores  $d_i$

Parámetro descriptor, $d_i$	Fuente	$Q_i$ ( $\text{kgf/m}^2$ )	CVQ (%)	$p_i$ (%)	AP ( $\text{kgf/m}^2$ )
$d_1$	Agua y líquidos	89.94	27%	9.50%	8.54
$d_2$	Acero de refuerzo	56.80	78%	12.00%	6.82
$d_3$	Cemento y similares	51.20	210%	7.00%	3.58
$d_4$	Obra falsa y similares	25.82	96%	29.60%	7.64
$d_5$	Pétreos, mampostería y escombros	16.19	137%	24.60%	3.98
$d_6$	Personal de obra	6.34	130%	4.20%	0.27
$d_7$	Equipos y herramientas	3.62	92%	1.70%	0.06
$d_8$	Perfilería, tubería y material liviano	0.20	39%	0.40%	0.00
$d_9$	Otros	8.70	251%	11.00%	0.96

La Figura 2 relaciona los datos de carga con su momento de ocurrencia. Cargas hasta de  $150 \text{ kgf/m}^2$  fueron frecuentes durante el desarrollo de la obra, aunque también se observaron cargas excepcionales de

alrededor de  $200 \text{ kgf/m}^2$  en 4 o 5 momentos diferentes durante la construcción. El tiempo dedicado a la construcción de la cimentación y de las columnas del primer piso tuvo una duración cercana al 15% del total de la obra durante el cual no se reportaron cargas de construcción en losas. La etapa de acabados se desarrolló entre el 85 y el 100% y por la misma razón no se reportaron cargas en ese lapso.

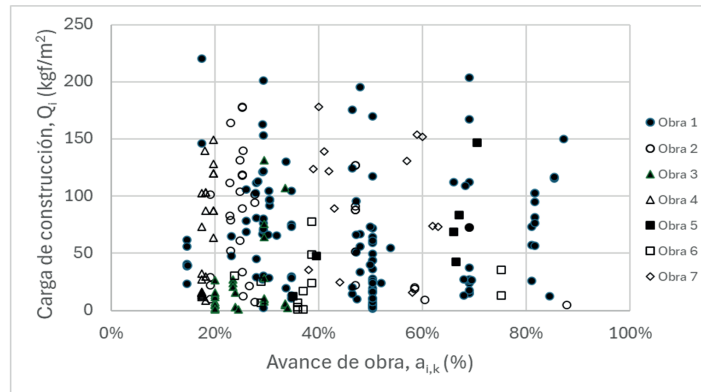


Figura 2. Carga distribuida  $Q_i$  y su momento de ocurrencia  $a_{i,k}$ .

En la Figura 3 se observa la relación del valor de carga con el área de piso en que ocurre. Se deduce que hay muchos más datos de carga en áreas pequeñas que en áreas grandes confirmando lo que se ha propuesto en el modelo descrito.

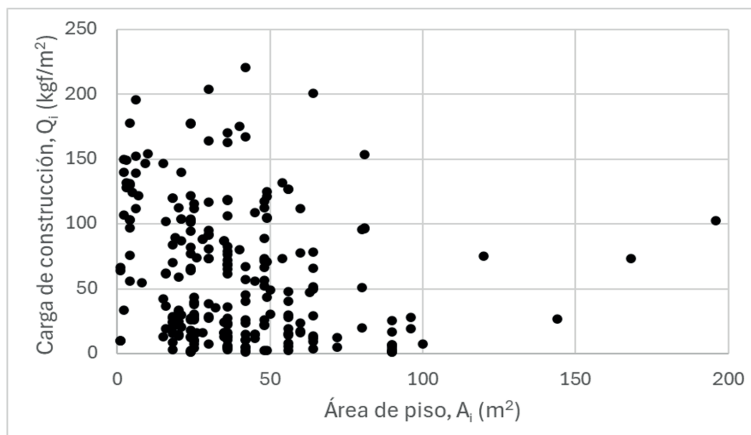


Figura 3. Carga distribuida  $Q_i$  con respecto a su área de incidencia  $A$

Los parámetros que resumen la relación entre la carga medida y el área en que ocurre se muestran en la Tabla III donde se observa que a medida que el área crece la carga decrece. En la última columna, La revisión de los valores de esa dispersión aparente confirma la tendencia descrita. Por otra parte, al calcular la covarianza entre el área y la carga de cada intervalo se obtuvieron valores negativos (-21 a -45) lo que confirma la relación inversa entre las dos variables: mientras una crece, la otra decrece.

Tabla III. Parámetros estadísticos de datos medidos.

Área media (m <sup>2</sup> )	Cantidad de datos	Varianza del área (m <sup>4</sup> )	C.V. del área	Carga media (kgf/m <sup>2</sup> )	Varianza de carga (kgf <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )	C.V. de la carga	Dispersión aparente
6.5	37	28.1	81%	96.1	2714	54%	44%
23.8	77	15.2	16%	59.9	2299	80%	13%
38.3	57	12.3	9%	50.7	2461	98%	9%
52.6	41	19.7	8%	65.0	3041	85%	7%
65.2	13	9.3	5%	41.4	803	68%	3%
86.2	15	23.3	6%	18.6	168	70%	4%
97.3	3	5.3	2%	18.1	107	57%	1%
169.3	3	677.3	15%	58.4	751	47%	7%

Los datos de la Tabla II y la ecuación 8 se usaron para obtener la media de la población, m:

$$m=60.7 \text{ kgf/m}^2 \text{ (18)}$$

La varianza de cargas se calculó aplicando la técnica de mínimos cuadrados considerando que la varianza queda en función del recíproco del valor del área ( $1/A$ ). Los coeficientes de correlación para la varianza de datos (ecuación 14) y la del modelo (ecuación 15) resultaron ser 0.78 y 0.98 respectivamente. La Figura 4 presenta la varianza de datos de carga y la ajustada por el modelo.

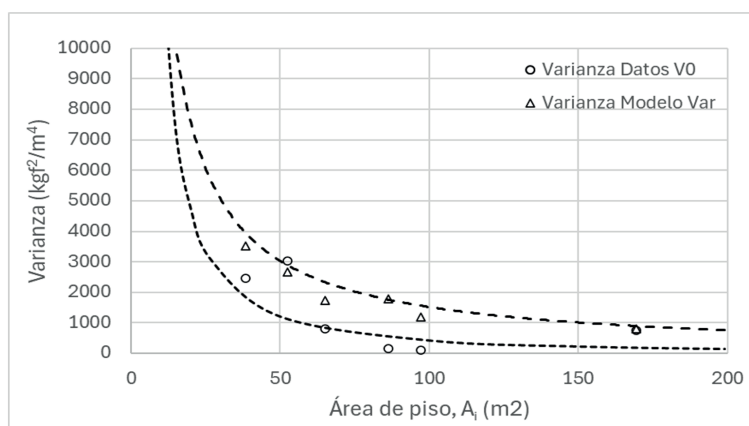


Figura 4. Variación de varianza de carga con respecto al área de piso.

Los altos valores de la varianza de datos de carga para áreas pequeñas impedían lograr un ajuste razonable para el modelo por lo que fue necesario restringir el uso los datos de campo a  $A > 24 \text{ m}^2$ . Esto coincide con lo aceptado en la mayoría de los códigos de diseño del mundo donde se restringe la variación de varianza y carga para áreas pequeñas. Por lo anterior, la varianza de la carga puede calcularse en función del área de piso usando las ecuaciones 19 y 20:

$$Var = 6335 \text{ para } A \leq 24 \text{ (19)}$$

$$Var = \frac{152051}{A} \text{ para } A > 24 \text{ (20)}$$

El ajuste de los datos del valor medio de la carga en cada área de piso reportó un coeficiente de correlación de 0.77 que se consideró aceptable. Usando la ecuación 16 se estableció cálculo de los valores esperados de carga dados en ecuaciones 21 y 22:

$$E(U) = 48 \quad \text{si} \quad A \leq 38 \quad (21)$$

$$E(U) = 15 + \frac{201}{\sqrt{A}} \quad \text{si} \quad A > 38 \quad (22)$$

La Figura 5 muestra los valores de carga media observados y los ajustados según las ecuaciones (21) y (22).

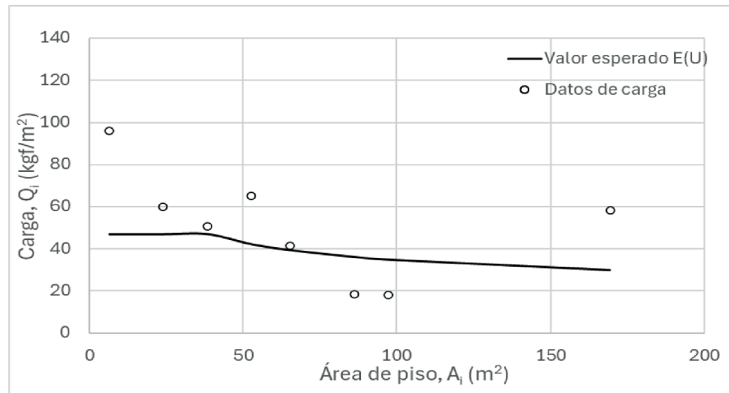


Figura 5. Carga observada y ajustada según el modelo.

Para lograr un ajuste aceptable al tratar los datos de carga según su posición en diferentes pisos fue necesario descartar los datos de dos de los siete valores de varianza debido a su alta desviación. La Figura 6 presenta el mejor ajuste de la varianza según el número del piso en que se calcula. Es evidente que entre más alto se encuentre el área de piso la varianza tiende a ser más baja indicando una uniformización mayor en los valores de carga. Esto puede explicarse por la mayor dificultad de acumulación de cargas de construcción no programadas en pisos altos. La curva de ajuste obtenida para la varianza de carga en kgf<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> en función del piso calculada usando la ecuación 17 se presenta en la ecuación 23:

$$varn = \frac{12416}{A} \quad (23)$$

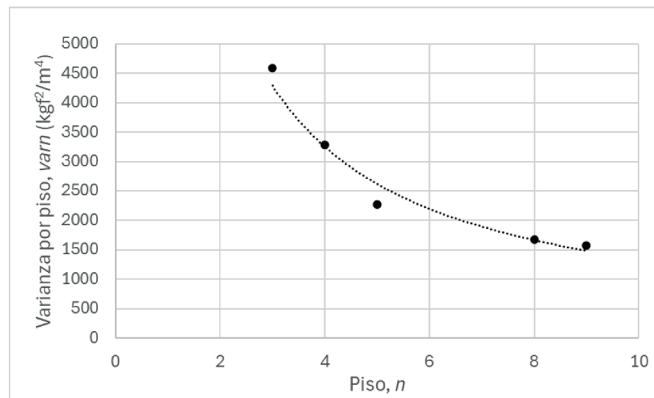


Figura 6. Varianza de la carga de acuerdo con su posición según el número de piso  $n$ .

Los parámetros  $a$  y  $\beta$  de la distribución Gamma usada para el pronóstico de cargas oscilaron así:

$27 \leq a \leq 80 \text{ kgf/m}^2$  y  $0.597 \leq \beta \leq 1.135$ . Los valores de cargas  $U50\%$ ,  $U90\%$  y  $U99\%$ , fueron calculados para pronosticar los valores máximos de cargas de construcción que se muestran en la Figura 7.

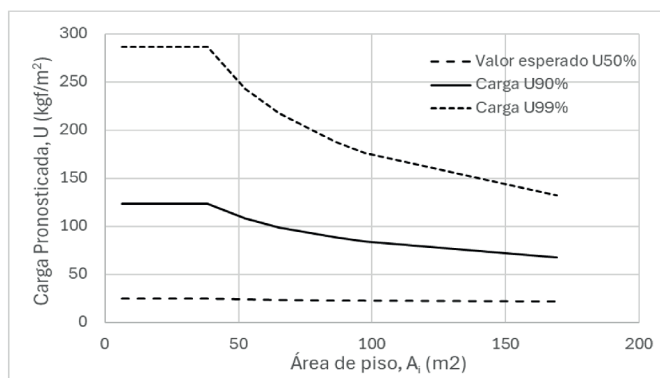


Figura 7. Carga de construcción pronosticada en función del área de piso.

Las ecuaciones 24 a 29 describen el pronóstico de cargas máximas en función del área de piso involucrada:

$$U50\% = 25 \quad \text{si } A \leq 38 \quad (24)$$

$$U50\% = 20 + \frac{33}{\sqrt{A}} \quad \text{si } A > 38 \quad (25)$$

$$U90\% = 124 \quad \text{si } A \leq 38 \quad (26)$$

$$U90\% = 18 + \frac{655}{\sqrt{A}} \quad \text{si } A > 38 \quad (27)$$

$$U99\% = 305 \quad \text{si } A \leq 38 \quad (28)$$

$$U99\% = 9 + \frac{1827}{\sqrt{A}} \quad \text{si } A > 38 \quad (29)$$

donde  $U50\%$ ,  $U90\%$  y  $U99\%$  se expresan en  $\text{kgf/m}^2$ .

NSR-10 define un valor mínimo de carga para evaluar funcionamiento y un factor de amplificación para la carga de diseño. En este estudio se toma como valor mínimo la carga  $U90\%$  y como valor de diseño  $U99\%$ , con lo que el factor de amplificación puede ser calculado como:

$$F = \frac{U_{99\%}}{U_{90\%}} \quad ; \quad U = F * W \quad (30)$$

$$F = 2.2 \quad (31)$$

donde  $W$  es la carga típica de construcción en  $\text{kgf/m}^2$ ,  $U$  es la carga máxima o de diseño para la etapa de construcción en  $\text{kgf/m}^2$  y  $F$  es el factor de amplificación adimensional. El valor  $F$  elegido (ecuación 15) corresponde al promedio aritmético de los valores dados por la ecuación (14) cuyo C.V. resultó ser de 6%.

NSR-10 establece un valor típico de carga viva en cuartos privados y corredores de viviendas de  $180 \text{ kgf/m}^2$  que al multiplicarse por el factor de amplificación (1.6) resulta ser  $1.6 * 180 = 288 \text{ kgf/m}^2$  para áreas menores que  $35 \text{ m}^2$  (AIS, 2010) (Tapia-Hernández, Dominguez-Palacios, & Martínez-Ruiz, 2019). En contraste, el máximo valor de carga de construcción dado por la ecuación (10) es  $2.2 * 124 = 273 \text{ kgf/m}^2$  que se aproxima al de la carga viva.

## Conclusiones

El coeficiente de variación (CV) de los descriptores de mayor peso (acero, líquidos, escombros) osciló alrededor de 70% mostrando una variabilidad de carga medianamente alta. Más del 95% de las losas estudiadas carecían de soportes provisionales lo que confirmó que las cargas de construcción actuaban con toda su magnitud sobre losas con luces libres. Solo se observaron cargas en losas entre el 15% y el 85% del avance de obra. Las cargas más frecuentes en diferentes momentos resultaron ser menores o iguales que  $150 \text{ kgf/m}^2$  y solo se observaron valores excepcionales cercanos a  $200 \text{ kgf/m}^2$  en 5 momentos diferentes durante la construcción. Se evidenció una mayor dispersión en tamaños de áreas pequeñas (CV=81%) que, en tamaños de áreas grandes (CV=5%). En contraste, los valores de carga sostienen una dispersión parecida para cualquier tamaño de área (CV=55%).

Se pronosticaron cargas que tienen probabilidades de exceder al 50%, 90% y 99% del resto de valores. Como resultado parcial se observó que los valores medios de datos de campo exceden a cerca del 67% de los valores esperados según el modelo (50%).

Al aplicar el modelo, la varianza y la media pronosticadas de las cargas para áreas de piso menores o iguales que  $38 \text{ m}^2$  aumentó de manera importante. Considerando la incapacidad física de esas áreas para albergar cargas mayores que las máximas observadas se concluye que, los datos de áreas pequeñas en el ajuste final no se deben considerar, dado que no hay modificación del mismo. El valor límite tomado para el área ( $38 \text{ m}^2$ ) es similar al dado por NSR-10 para límite de cargas vivas ( $35 \text{ m}^2$ ).

El valor de las cargas máximas de construcción pronosticadas resultó ser 2.2 veces el de las cargas de servicio durante la etapa de construcción. La carga máxima de construcción pronosticada ( $305 \text{ kgf/m}^2$ ) para áreas de piso pequeñas tiene un valor similar al valor máximo de la carga viva de diseño ( $288 \text{ kgf/m}^2$ ) establecida en NSR-10.

## Recomendaciones

Para verificar deflexiones y esfuerzos en términos elásticos durante la etapa de construcción se propone usar las siguientes expresiones:

$$W = 18 + \frac{655}{\sqrt{A}} \quad \text{si } A > 38$$

$$W = 124 \quad \text{si } A \leq 38$$

donde  $W$  es la carga de funcionamiento durante la etapa de construcción en  $\text{kgf/m}^2$  y  $A$  es el área de piso donde puede ocurrir la carga en  $\text{m}^2$ .

Para verificar los posibles efectos sobre la resistencia y rigidez se propone usar la siguiente expresión:

$$U=2.2*W$$

donde U es la carga de diseño para la etapa de construcción en kgf/m<sup>2</sup>.

## Referencias

- AIS, A. C. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.
- Albán, C. A., Vélez, R. R., Gallardo, C. E., & Marmolejo, L. C. (2008). Características antropométricas y funcionales de individuos físicamente activos. *IATREIA / VOL 21/No. 2 / JUNIO*, 121-128.
- Benjamin, J. R., & Cornell, C. A. (2014). *Probability, statistics, and decision for civil engineers*. New York: Dover Publications.
- Calderón García, M. J. (2007). *Medición de la variabilidad de peso en los sacos de cementos Argos - planta Valle S.A.* Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Calderón, P., Alvarado, Y., & Adam, J. (2011). A new simplified procedure to estimate loads on slabs and shoring during the construction of multistorey buildings. *Engineering Structures*, 1565-1575.
- Claisse, P., & Dean, C. (2013). Compressive strength of concrete. *Construction Materials*, 1-6.
- Department of the Interior, U.S . (1993). *Twentieth Century Building Materials: 1900-1950*. Washington: NPS Reading List.
- Fernandes, F. M. (2019). 1 - Clay bricks. *Long-term Performance and Durability of Masonry Structures*, 3-19.
- ICONTEC. (2007). *Norma técnica colombiana NTC 2289 Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para refuerzo de concreto*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC.
- Instituto Departamental de Salud de Norte de Santander. (2022). *Diagnostico nutricional vigencia 2022 sistema de vigilancia nutricional "winsisvan" Norte de Santander población adulta*. Cúcuta: Instituto Departamental de Salud de Norte de Santander.
- Márquez, J. F., Cáceres, J. R., & Jácome, J. L. (2022). *Diseño de estructuras en concreto reforzado según nsr-10 primera parte: fundamentos y diseño de vigas y losas armadas en una dirección*. Cúcuta: Ediciones ECOE.
- Márquez, J. M., Gallardo, H. d., & Vergel, M. (2020). Variability of live loads computed from the analysis of internal forces produced during service life of dwellings. *Journal of Physics: Conference Series 1708 (2020) 012029*.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). *Indicadores Básicos de Salud en Colombia*. Bogotá.
- NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). (2024). Worldwide trends in underweight and obesity from 1990 to 2022: a pooled analysis of 3663 population representative studies with 222 million children, adolescents, and adults. *The lancet Vol 403*, 1027-1050.
- Picon, A. (2005/2006). Construction history: between technological and cultural history. *Construction history (21)*, 5-19.
- Quintero, C. L., Cantillo, O., & Robles, D. (2018). Análisis de la variabilidad del peso de los ladrillos y la importancia de estos parámetros para la producción en la ladrillera Las Casitas, Valledupar. *Revista Agunkuyâa*. Volumen 1,

5-20.

- Silva, V., Brzev, S., Scawthorn, C., Catalina, Y., Jamal, D., & Helen, C. (2022). A Building Classification System for Multi-hazard Risk. *Int J Disaster Risk Sci* 13, 161-177.
- Tapia-Hernández, E., Dominguez-Palacios, A., & Martínez-Ruiz, M. (2019). Live loads on floors of libraries and newspaper archive buildings. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 11, 285-296.
- The European Union. (2005). *EN 1991-1-6 (2005) (English): Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-6: General actions - Actions during execution*. Bruselas: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].
- The European Union. (2013). *Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-6: General actions – Actions during execution*. Brussels: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].
- Vargas-Zárate, M., Becerra-Bulla, F., & Prieto-Suárez, E. (2008). Evaluación Antropométrica de Estudiantes Universitarios en Bogotá, Colombia. *Rev. salud pública*. 10 (3), 433-442.
- Xue, W., Zhang, H., Li, H., & Xu, W. (2021). Effect of early age loading on the subsequent mechanical and permeability properties of concrete and its mechanism analysis. *Journal of Materials Research and Technology*, 1208-1221.