

Análisis constructivo y de presupuesto de losas alivianadas de una dirección vs losas construidas en dos direcciones: estudio de caso en Cuenca y Azogues

Jonnathan Jesús Molina Ponce ¹  Claudio Fabricio Raiban Calle ¹  Jaime Xavier Nieto-Cárdenas ¹ 

¹ Universidad Católica de Cuenca, Campus Azogues.

✉ Correspondencia: jonnathan.molina.59@est.ucacue.edu.ec ☎ + 593 961473605

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj62073>

Resumen: El artículo trata sobre losas alivianadas en una y dos direcciones utilizando sistemas de viguetas, bloques de poliestireno expandido y bloques de pómez, se analizan dos estructuras construidas, una en Cuenca y otra en Azogues. Entre estas estructuras existen diferencias, las más destacables son las metodologías de construcción y la evolución de los materiales debido a las épocas en que se construyeron. Se discute resultados de diseño de las losas alivianadas según la normativa ACI (American Concrete Institute) y se muestran técnicas de construcción de estas losas en nuestro medio. Se indican ventajas estructurales y económicas de estas losas alivianadas analizadas frente a las construidas. Se observó que las losas alivianadas poseen una capacidad a cortante reducida debido a la reducción de área por el alivianamiento colocado. Las zonas más críticas del diseño se producen en los momentos negativos ubicados en los extremos continuos del pórtico. Finalmente, se realizó una comparación entre las estructuras puestas en obra y las losas analizadas teóricamente, los resultados muestran que las losas alivianadas analizadas ofrecen mayores beneficios estructurales y económicos frente a los puestos en obra cumpliendo con las resistencias de diseño.

Palabras claves: losa alivianada, losa en dos direcciones, losa en una dirección, viguetas de CR, estructuras de concreto, losa nervada.

Construction and cost analysis of one-way lightened slabs vs. two-way slabs. Case of study in Cuenca and Azogues.

Abstract: The article deals with one- and two-directional slabs using joist systems, expanded polystyrene blocks and pumice blocks. Two structures built, one in Cuenca and the other in Azogues, are analyzed. There are differences between these structures, the most outstanding ones are the construction methodologies and the evolution of the materials due to the times in which they were built. The results of the design of relieved slabs according to ACI (American Concrete Institute) standards are discussed and construction techniques of these slabs in our country are shown. Structural and economic advantages of these relieved slabs analyzed versus built-up slabs are indicated. It was observed that the relieved slabs have a reduced shear capacity due to the reduction of area by the placed relief. The most critical areas of the design occur in the negative moments located at the continuous ends of the portal



Check for updates

Cita: Molina Ponce, J. J., Raiban Calle, C. F., & Nieto-Cárdenas, J. X. (2023). Análisis constructivo y de presupuesto de losas alivianadas de una dirección vs. losas construidas en dos direcciones. Estudio de caso en Cuenca y Azogues. Green World Journalworldjournal, 06(02), 15. <https://doi.org/10.53313/gwj62072>

Received: 01/junio /2023

Accepted: 03/junio /2023

Published: 14/julio /2023

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2023 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.
Creative Commons Attribution (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

frame. Finally, a comparison was made between the as-built structures and the theoretically analyzed slabs; the results show that the relieved slabs analyzed offer greater structural and economic benefits compared to the as-built structures complying with the design resistances.

Keywords: lightened slab, two-way slab, one-way slab, RC joists, concrete structures, ribbed slab.

1. Introducción

La búsqueda de ejemplos óptimos de estructura es una de las motivaciones del desarrollo de la ciencia en la construcción, con la finalidad de ahorrar tiempo y dinero, brindando características de resistencia y seguridad estructural. En consecuencia, la optimización estructural de losas de piso de hormigón armado son una palanca poderosa para que la industria de la construcción de hormigón aborde una neutralidad más ecológica [1,2]. A pesar de su relevancia, la sostenibilidad ecológica no es el único requisito que deben cumplir las losas de piso, algunos criterios para una estructura funcional son: seguridad estructural, durabilidad, servicialidad, estética e integración, sostenibilidad ambiental y eficiencia en la construcción. Uno de los problemas más importantes de la construcción en nuestro país es poder generar una reducción de los materiales de construcción y el peso en general de la infraestructura, esto debido al alto riesgo sísmico que posee el Ecuador [3]. Estas fuerzas laterales están en función de la masa total de la estructura, mientras más pesado sea la estructura, mayor la energía inercial absorbe en el sismo (vigas y columnas mas esforzadas), con esto se busca un ahorro en construcción y seguridad estructural con las losas alivianadas, se reduce el riesgo por fracaso de la estructura por sismo, esto implica una reducción en la carga muerta en general de la estructura [4].

Las losas alivianadas se pueden aplicar si se emplea nuevas estructuras eficaces y se utiliza elementos de construcción aligerados. La introducción de estructuras coladas in situ son muy efectivas y no son algo recientes dentro de la edificación civil e industrial en nuestro país. Esta metodología reduce el precio de la construcción de estructuras como viviendas, urbanizaciones, edificios, hospitales, entre otros. En la rama de la construcción de viviendas en general, se tiene muy mal desarrollados y no se siguen especificaciones para su construcción [5]. Según [5-7], las estructuras con mayor deriva corresponden a diseños más económicos (losas alivianadas), pero para reducir el riesgo sísmico recomienda el uso de losas macizas para disminuir las derivas y deflexiones de la estructura, aunque influyan en el aumento del costo final del proyecto. Sin embargo, otros autores [1,8-10] sugieren el diseño de losas alivianadas de hormigón reticular bidireccional, esto debido a su adaptabilidad, eficiencia energética y sísmicamente seguros; también presenta ventajas estructurales permitiendo utilizarla en edificios de luces entre 5 a 6 metros. Otros estudios sugieren para zonas sísmicas es muy conveniente el uso de losas con viguetas, además de representar importantes ventajas económicas y beneficiosas para las estructuras [2,11]. Las principales ventajas se muestran en la reducción del peso, con esto se puede reducir el tamaño de las vigas, columnas, zapatas y otros elementos de soporte de carga; con la disminución del peso de la estructura se reduce la fuerza sísmica, considerando una rigidez general de la estructura segura y no excesiva para una buena respuesta sísmica. En este estudio se presentan los resultados de diseño de dos losas alivianadas de la ciudad de Cuenca y Azogues. Se consideran aspectos constructivos y de diseño en función de la época de construcción, además se analizan las ventajas económicas que poseen este tipo de losas alivianadas. En el presente estudio se propone el diseño de losas alivianadas, se diseñan losas con nervaduras en dos direcciones y otra con viguetas en una dirección, cumpliendo con las normativas de la ACI y la NEC que norman en nuestro país, adicionalmente se refiere al AIS 114-17 [12] en las recomendaciones para losas con viguetas de concreto.

2. Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolló a través de cálculos manuales, se siguió normativas del ACI (American Concrete Institute 1963 y 318-02) y de la NEC 2015 (Cargas No Sísmicas-CG y Hormigón Armado-HM), con ayuda del software EXCEL (versión libre) se desarrollaron hojas de cálculo para obtener las cargas actuantes y resistentes, momentos flectores, fuerzas cortantes, deflexiones, etc.; para poder discutir y comparar entre las secciones de concreto y el acero de refuerzo de las losas puestas en obra y las analizadas. Según [11], el uso de softwares para cálculos estructurales no es indispensable dentro de la práctica, comprobó un error despreciable entre el procesamiento de datos manual y softwares para cálculos estructurales complejos. A continuación, se muestran las ecuaciones utilizadas para el desarrollo del estudio, tener en cuenta que se utilizó el sistema MKS. La ecuación (1) muestra la Resistencia Nominal a flexión de una sección de concreto, donde M_u es el momento último en la sección crítica producida por las cargas de servicio factorizadas, que está en función respectivamente de las normativas de la ACI (1963 y 318-02), ϕ es el factor de 0.90 en flexión y b y d^2 corresponden a propiedades

geométricas de la sección de concreto, donde b es el ancho de la losa a analizar y d es el peralte efectivo de la sección de concreto medida desde la parte superior hasta el centro de la capa de refuerzo.

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} \quad (1)$$

Para la cuantía de acero (ρ) se muestra en la ecuación (2), donde $f'c$ es la resistencia del concreto en kgf/cm^2 y f_y es la resistencia de fluencia del acero en kgf/cm^2 :

$$\rho = \frac{0.85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 Rn}{0.85 f'c}} \right) \quad (2)$$

Dependiendo de la cuantía de acero que obtengamos con la ecuación (2), analizaremos los rangos de los diferentes tipos de cuantía de acero: real, balanceada, cuantía máxima por zona sísmica y cuantía de acero mínimo. Para la cuantía de acero real se muestra en la ecuación (3), donde A_s es el área de acero y A_c es la sección bruta de hormigón, se tiene en cuenta la cantidad de nervios de la losa en función de la luz:

$$\rho_{real} = \frac{A_s}{A_c} \quad (3)$$

Para la cuantía de acero balanceada se tiene la ecuación (4), esta hace referencia a la cantidad de acero que necesita una sección de hormigón para que puedan fallar al mismo tiempo, donde γ y β_1 son factores de seguridad para la flexión de 0.85, ϵ_u es la deformación unitaria del concreto (0.003) y ϵ_y es la deformación unitaria del acero (resulta la división entre f_y y el módulo de elasticidad del acero E):

$$\rho_{balanceada} = \gamma * \beta_1 * \frac{f'c}{f_y} \frac{\epsilon_u}{\epsilon_u + \epsilon_y} \quad (4)$$

En la cuantía de acero máxima por zona sísmica se tiene la ecuación (5), esta hace referencia a la cantidad de acero por actividad sísmica, esto dependerá de la región, en nuestro caso al ubicarnos en la cordillera de los Andes se presentan movimientos sísmicos, esta representa el 75% de la cuantía de acero balanceada:

$$\rho_{sismico} = 0.75 * \rho_{balanceada} \quad (5)$$

Para la cuantía de acero mínima se tiene la ecuación (6):

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} \quad (6)$$

También se verifico los esfuerzos de corte transmitidos a la losa, esto depende de la luz y del porcentaje de carga se transmite a cada lado (lado largo de la losa y lado corto de la losa). La ecuación (7) muestra la capacidad de corte admisible que puede soportar el concreto sin que se presenten fallas, donde ϕ es un factor de corte con un valor de 0.75 y b_w es el ancho del nervio de la losa:

$$\phi V_c = \phi 0.53 \sqrt{f'c} b_w d \quad (7)$$

En cuanto las deflexiones (Δd y Δl) se analizaron para ambos sentidos de la losa (lado largo y lado corto), para las deflexiones máximas según la ACI se tiene por el tipo de miembro estructural, en este caso de pisos o techos que pueden ser dañados debido a deflexiones, siendo $l/480$ (Δ admisible), donde l es el largo de la losa. En este caso las deflexiones actuantes están en función de los momentos actuantes, la ecuación (8) y (9) muestran las deflexiones actuantes, donde l es la luz del paño a analizar e I_{eff} es la inercia de un nervio del total de la sección, Δd y Δl están en milímetros:

$$\Delta d = \frac{1}{16} \frac{M l^2}{E I_{eff}} \quad (8)$$

$$\Delta l = \frac{3 M l^2}{32 E I_{eff}} \quad (9)$$

Finalmente, se comprueba si son necesarios la construcción de ábacos o macizados, en este caso se obtiene el momento admisible y se lo verifica con la sumatoria de los momentos actuantes. La ecuación (10) muestra el momento último límite (Mu_{lim}), donde ϕ_f es un factor por flexión de 0.9, b es el ancho de los nervios que están en 1 m^2 de losa, y es $0.85 \cdot 3/8$ de d (peralte efectivo de la sección de concreto), h es la altura total de la losa y x_u es $3/8$ de d .

$$Mu_{lim} = 0.85 \cdot \phi_f \cdot f'c \cdot b \cdot y - \left(h - x_u \frac{y}{2} \right) \quad (10)$$

Se muestra el análisis de precios unitarios para las losas calculadas vs. puesta en obra, se debe considerar que en este apartado no se consideran los precios unitarios de vigas borde, internas o columnas que sostienen la losa, también no se tiene en cuenta el precio del IVA (Impuesto de Valor Agregado), el transporte de los materiales a obra; en cuanto a la mano de obra puede influir considerablemente dependiendo de la zona de construcción.

2.1 Área de estudio

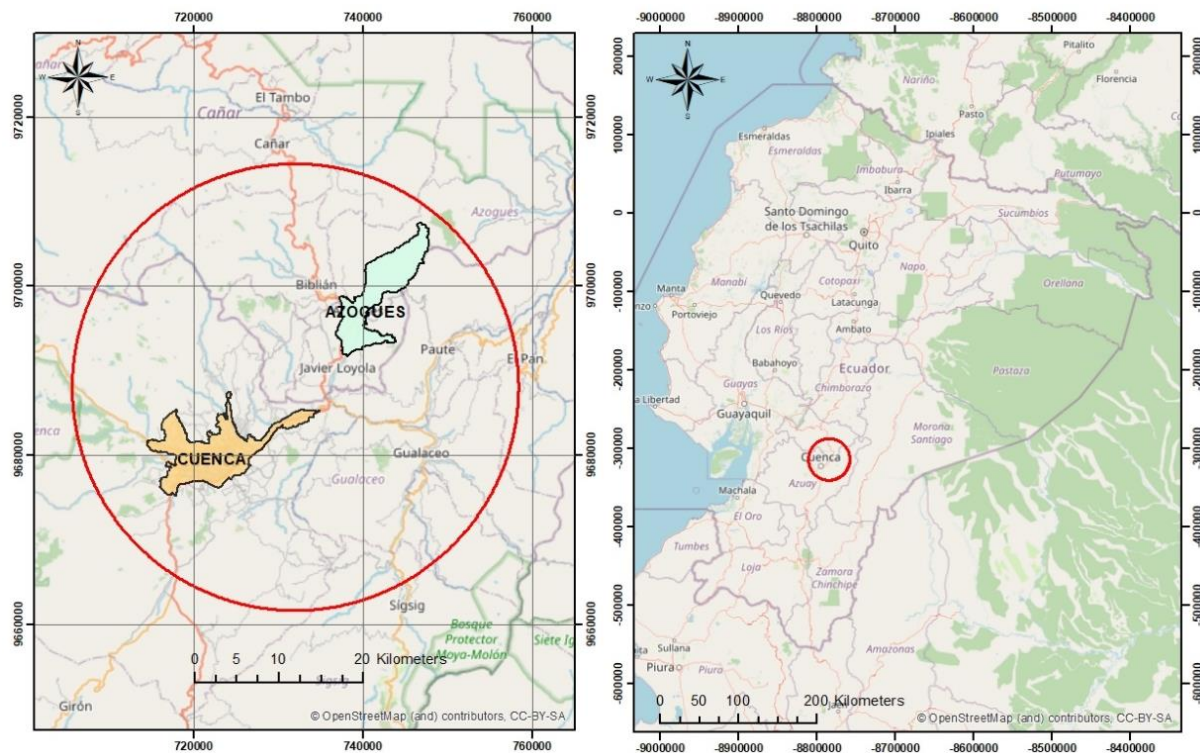


Figura 1. Ubicación de las losas puestas en obra. Fuente: [13].

Este estudio analiza dos losas construidas en 2 diferentes ciudades del sur del Ecuador (Figura 1). La primera estructura a analizar es la Unidad Educativa Particular "Sagrados Corazones", ubicada en la Av. Tres de Noviembre entre León XIII, y, Cuenca 010218. Esta obra comienza su construcción en febrero de 1985, los técnicos responsables de su cálculo y diseño fueron los Ings. Civiles Raúl Carrasco y Fabián Carrasco. Durante una inspección en la primera planta de la Unidad Educativa no se observó fisuras, grietas o alguna anomalía que comprometieran elementos estructurales (losas, vigas y columnas) o la seguridad para los docentes y alumnos que trabajan en esta institución (Figura 2). La segunda estructura está ubicada en la ciudad de Azogues (sector Charasol, Ciudadela de los Olivos Etapa II), esta estructura está en fase de construcción, con esto el estudio mostrará el proceso de construcción de losas en nuestro medio. El técnico responsable de su cálculo y diseño es el Ing. Civil Rómulo Ricardo Romero González. En este estudio se presentan los resultados de diseño de dos losas aliviadas de la ciudad de Cuenca y Azogues. También se consideran aspectos de construcción y diseño

en función de la época de su edificación, las ventajas económicas y técnicas que posee este tipo de losas alivianadas.



Figura 2. Inspección a la Unidad Educativa "Sagrados Corazones", no se encontró anomalías en su estructura. Ciudad de Cuenca.

Fuente: Propia (30 de marzo de 2023).



Figura 3. Proceso de Fundición de la losa alivianada con bloque pómez en la ciudad de Azogues.

Fuente: Propia (17 de abril de 2023).

1.2 Métodos

Se cuenta con los planos estructurales de ambas losas construidas (se anexan al final de este estudio), para ambos casos se analiza la losa central de la primera planta y se comparara con los planos estructurales los resultados obtenidos de nuestro diseño siguiendo las normativas de la ACI (318-02 y 1963) y ANSI/ASME B18.5.1-2014. Para ello propondremos casos y combinaciones de carga que nos da la NEC-2015 y poder así determinar la altura de la losa, el ancho de los nervios y el acero de refuerzo, cabe recalcar que estas losas no están diseñadas para resistir cargas sísmicas. Con estos datos podremos discutir e inferir los resultados obtenidos de nuestro diseño y compararlos con los planos estructurales. Primeramente, se obtienen las cargas permanentes

o muertas en base a los diseños puestos en obra y con las inspecciones realizadas en campo se deduce el tipo de uso que tiene la estructura. La Figura 4 muestra las secciones de losas alivianadas de los casos a analizar. La asignación de cargas utilizadas fueron de las normativas ASCE/SEI 7-22 y NEC Cargas No Sísmicas 2015.

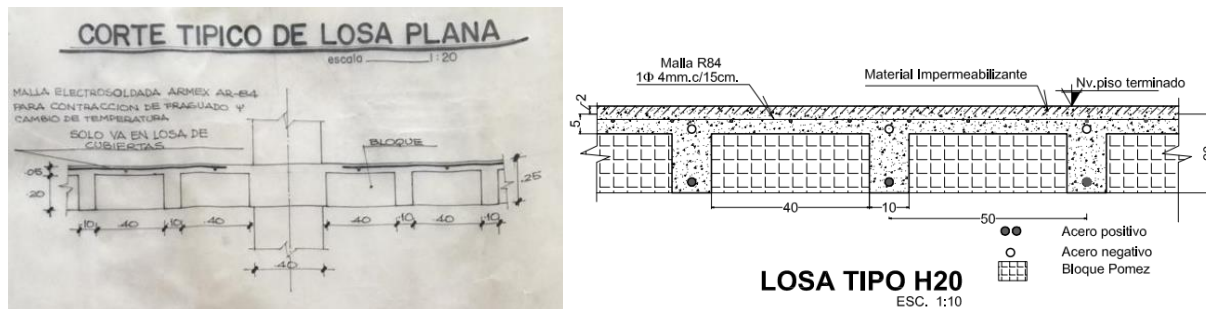


Figura 4. Secciones de losas alivianadas.

Fuente: Propia (Autorizada por los desarrolladores de los proyectos de construcción).

Para el diseño de momentos flectores (actuantes y resistentes), fuerzas cortantes, deflexiones, se utilizó las fórmulas que proponen ACI-318-02 y ACI 1963, con el fin de obtener el acero de refuerzo y secciones de losa necesarios para cumplir con los requisitos de una estructura funcional. Para la losa construida en 1985 se utilizó una versión anterior de la ACI (1963) y la ACI-318-02 para poder comparar los momentos de diseño y las cuantías de acero obtenidas. En la Tabla 1 se tienen las cargas permanentes aplicadas sobre las losas, la Tabla 2 muestra las cargas variables (vivas) por unidad de área y la Tabla 3 muestra los precios unitarios de cada actividad incluyendo el precio de materiales y mano de obra para obtener el precio por metro cuadrado de cada losa alivianada. En cuanto a los precios unitarios se consideraron los rendimientos en obra y precios en nuestra zona de estudio actuales (no considera IVA), y en para los casetones para alivianar se obtuvo en base a fichas técnicas proveniente de Italia (Tabla 3 – Actividad 7), cabe recalcar que este precio puede elevarse por su importe, además que este estudio propone el desarrollo de nuevas tecnologías de construcción en nuestro país. La Figura 5 muestra la sección del casetón de la empresa GeoPlast (Italia), con esto se analiza la losa con viguetas y se obtienen las cantidades de obra para realizar comparativas entre las losas puestas en obra y las analizadas [14].

Tabla 1. Cargas permanentes aplicadas sobre las losas.

Cargas	Tipo de Carga	Carga	Normativa
1	Peso propio de la estructura, hormigón armado.	2400 kgf/m ³	NEC (tabla 8, Apéndice: 4.1, Cargas muertas: pesos materiales)
2	Cielo raso e instalaciones	50 kgf/m ²	ACI (tabla 4.5.3.1 A, Cargas muertas mínimas elementos no estructurales)
3	Pared con ladrillo panelón y mortero.	220 kgf/m ²	NEC (tabla 8, Apéndice: 4.1, Cargas muertas: pesos de los materiales) y ASCE/SEI 7-22
5	Baldosas de cerámica con mortero de cemento, por cada cm de espesor.	75 kgf/m ²	NEC (tabla 8, Apéndice: 4.1, Cargas muertas: pesos de los materiales)

Tabla 2. Cargas variables aplicadas sobre las losas.

Tabla 3. Precios Unitarios

Cargas	Tipo de Carga	Carga	Normativa
1	Unidades Educativas - Aulas	200 kgf/m ²	NEC (tabla 9, Apéndice: 4.2, cargas vivas: sobrecargas mínimas)
2	Habitaciones de Hotel, residencias multifamiliares	200 kgf/m ²	NEC (tabla 9, Apéndice: 4.2, cargas vivas: sobrecargas mínimas)

Actividad	Rubro	Unidad	Precio (\$)
1	Bloque de Poliestireno	u	1.48
2	Bloque Pómez	u	0.25
3	Acero de refuerzo fy 4200 kg/cm ²	kg	1.98
4	Malla electrosoldada R-84	m ²	2.90
5	Hormigón f'c 210 kg/cm ² bombeado para losa	m ³	132.44
6	Alquiler de Encofrado	m ²	1.89
7	Casetón para alivianar	u	10.00

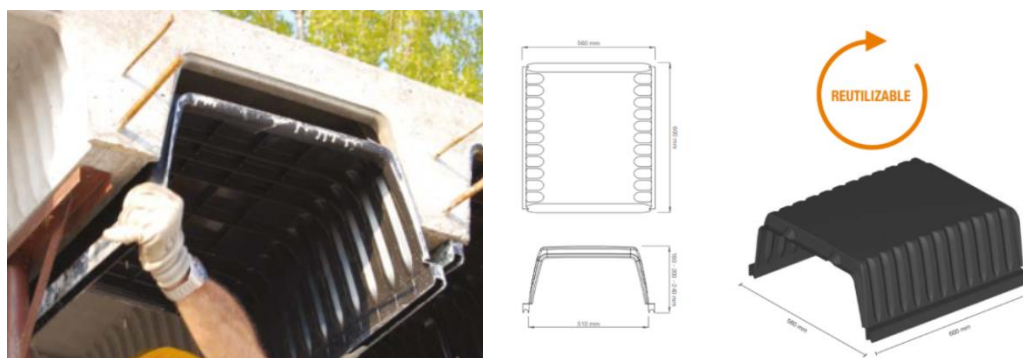


Figura 5. Sección de casetón para losa con viguetas. Fuente: [14].

2. Resultados

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos del análisis de cargas y combinaciones de la losa de la Unidad Educativa "Sagrados Corazones" en la ciudad de Cuenca. Se obtuvo el centroide y la inercia de la losa de obra (respecto del eje x) por metro cuadrado, su centro de gravedad es igual a 16.94 cm y una inercia de 39097.22 cm⁴, con esto obtuvimos el espesor de una losa maciza de 16.74 cm para un 1 m². Algunas recomendaciones de la ACI para losa plana con vigas un espesor mínimo de 9 cm y utilizando la fórmula $l_n/40.7$ tenemos 12.16 cm (longitud libre/40.7), en nuestro caso podemos inferir que la losa alivianada está mayorada un 27 % con respecto de los 12.16 cm (longitud libre/40.7), esto por las cargas que se aplicaron en el diseño de 1985. Con los resultados comparados con las dos metodologías se obtuvieron las mismas cuantías de acero, también considerando las cuantías de acero por riesgo sísmico. Para la dirección larga, tanto para los momentos negativos y positivos se consideró 1 Ø de 10 mm @ nervio en la parte superior y en la inferior. Para la dirección corta, tanto para los momentos negativos y positivos se consideró 1 Ø de 12 mm @ nervio en la parte superior y en la inferior. Considerando el esfuerzo cortante máximo (ϕV_c) que se le puede transferir al concreto es de 1324.87 kgf, de acuerdo a los cálculos no es necesario utilizar estribos para los nervios. Con respecto a la cortante en líneas de rotura se tiene en la losa un valor máximo de trabajo del 80% de su capacidad (considerando con factores de mayoración en la combinación de carga). De acuerdo con las deflexiones máximas permisibles según la ACI 318-12 para el lado largo es de 10.31 mm y para la dirección corta es de 7.92 mm, en este caso las deflexiones actuantes no superan el 15% y el 22% para ambos lados respectivamente. Además de esto se analizó el momento último en los aceros superiores (momentos negativos) donde se conectan con los diferentes paños de la losa, esto con la finalidad de obtener si es necesario o no el macizado de la losa (ábacos), en este caso con la sección de losa alivianada tenemos un momento último de 2428.98 kgf·m/m, esto nos indica que si los momentos actuantes son superiores al momento último será necesario la fundición de un ábaco. La losa de la Unidad Educativa "Sagrados Corazones" no requiere ábacos, pero en los planos estructurales constan, esto a factores

como el tipo de carga y la metodología de diseño, hay que considerar que el momento resistente se reducirá entre un 20 y 30%. En general los hierros obtenidos de nuestro análisis coinciden con los planos estructurales, pero solo considera malla electrosoldada en la cubierta y no en los pisos inferiores. Finalmente, nuestra losa analizada en 2 direcciones incidirá en los precios unitarios ya que se genera un ahorro al no existir la necesidad de generar macizos en la losa alivianada.

Tabla 4. Resultados losa construida "Sagrados Corazones"

	Características	ACI-1963	ACI-318-02.	Unidad
Geometría de la losa	Longitud (Lado Largo)		5.35	m
	Longitud (Lado Corto)		4.80	m
	Espesor mínimo para losa. (ln/40.7)		9.00	cm
	Espesor asumido.		25.00	cm
Geometría de las nervaduras	Ancho de bloque		40.00	cm
	Profundidad de bloque		40.00	cm
	Alto del casetón		20.00	cm
	Espesor del nervio		10.00	cm
Hormigón	f _c	210.00		kgf/cm ²
Acero	f _y	4200.00		kgf/cm ²
Combinación	1.2 D + 1.6 L	1088	1088	kgf/m
Lado Largo	Momento negativo	586.49	666.47	kgf·m
	Momento positivo	279.13	355.45	kgf·m
Lado Corto	Momento negativo	1084.04	1047.38	kgf·m
	Momento positivo	518.45	581.88	kgf·m
Esfuerzo Cortante	Lado Largo	74.32	80.51	kgf
	Lado Corto	180.67	175.92	kgf
Deflexiones	Lado Largo	1.13	1.56	mm
	Lado Corto	1.42	1.74	mm

En la Tabla 5 y 6 se muestra el costo de la losa analizada en dos direcciones y la losa puesta en obra por metro cuadrado. Para los rubros de hormigón y acero de refuerzo, se considera un porcentaje de pérdidas del 5 y 10% respectivamente, con este valor del precio final se le aumento un 5% para las 2 losas. Podemos asumir que la construcción con ábacos no es necesario para la de losa, esto implica más material y mano de obra, además de gran masa que soportan las vigas y columnas de la estructura en general, y que se transmiten a las zapatas. Para la losa puesta en obra se tiene **40.23** dólares por m² y la losa analizada de **32.76** dólares m². Como se muestran en las tablas 5 y 6 existe una diferencia de 958.03 dólares entre las losas. Existen muchos factores que van a cambiar el costo real de la losa puesta en obra como el cambio de moneda (en 1985 se utilizaba el sucre hasta 1999), precios de materiales y mano de obra de aquella época, además de la metodología y tiempo de construcción que se utilizó, estos factores pueden elevar el costo de la losa por metro cuadrado.

Tabla 5. Datos losa analiza 2D "Sagrados Corazones" **Tabla 6.** Datos losa construida "Sagrados Corazones"

Act.	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
1	Bloque de Poliestireno	u	1095.00	1.08	1182.60
3	Acero de refuerzo fy 4200 kg/cm2	kg	476.18	1.98	942.84
4	Malla electrosoldada R-84	m ²	134.47	2.90	389.96
5	Hormigón f _c 210 kg/cm2 bombeado para losa	m ³	18.44	132.44	2442.19
6	Alquiler de Encofrado	m ²	141.43	1.89	267.30
Total			1865.52	140.29	5224.90

Act.	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
1	Bloque de Poliestireno	u	913.00	1.08	986.04
3	Acero de refuerzo fy 4200 kg/cm2	kg	1028.37	1.98	2036.16
4	Malla electrosoldada R-84	m ²	0.00	2.90	0.00
5	Hormigón f _c 210 kg/cm2 bombeado para losa	m ³	21.85	132.44	2893.42
6	Alquiler de Encofrado	m ²	141.43	1.89	267.30
Total			2104.64	140.29	6182.92

Teniendo en cuenta que existe un ahorro en precio por m² en la losa en 2 direcciones analizada en comparación a la puesta en obra del 22.80%, esto debido a que no es necesario la construcción de macizados o ábacos en la losa y también es mucho más ligera con un 19.44 %. Esto nos indica que se puede reducir las secciones de las columnas, vigas y zapatas de la estructura en general, puesto que se reduce la carga muerta también existirá una reducción de masa sísmica y reducción de carga sobre la estructura vertical. Ahora bien, el estudio también analiza el desarrollo de losa con viguetas en una dirección, esta metodología es muy aplicada en países de Europa como Italia, donde usan este sistema debido al alto riesgo sísmico que existe, esto con el fin de reducir la masa sísmica y las vibraciones que se generan en las losas [15]. Con los cálculos obtenidos se obtuvo una cuantía mínima para la sección o nervio de la losa, es necesario una varilla de 1 Ø de 12 mm para la parte superior e inferior del nervio, y para la sección maciza es necesario 8 varillas de Ø de 12 mm por cada metro de losa, la Tabla 7 muestra los materiales y el costo total de la losa con viguetas, hay que tener en cuenta que se usaron ganchos en forma de "S" para sujetar el acero superior e inferior con la normativa ANSI/ASSE A10.9-2013 [16], con este análisis se tiene un precio de **73.09** dólares por m². La Tabla 8 muestra la comparativa de los 3 sistemas de losas analizados en cuanto a peso y costo, además de tomar como punto de referencia a la losa construida y compararla con los dos sistemas de losas alivianadas analizadas y ver su diferencia porcentual. La Figura 6 y 7 muestra las secciones de losas alivianadas (nervada y viguetas) y un histograma comparativo donde se resume las diferencias porcentuales que existen entre la losa construida y las losas alivianadas.

Tabla 7. Datos losa 1D "Sagrados Corazones"

Act.	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
7	Casetón para alivianar	u	395.00	10.00	3950.00
3	Acero de refuerzo fy 4200 kg/cm2	kg	1894.53	1.98	3751.17
4	Malla electrosoldada R-84	m ²	134.47	2.90	389.96
5	Hormigón f'c 210 kg/cm2 bombeado para losa	m ³	14.94	132.44	1978.65
6	Alquiler de Encófrado	m ²	141.43	1.89	267.30
Total			2580.37	149.21	10337.09

Tabla 8. Comparativas losas "Sagrados Corazones"

Características	Losa 1D Viguetas	Losa 2D Nervada	Losa construida
Precio (\$/m ²)	73.09	32.76	40.23
Peso (Tn)	37.75	44.82	53.53
Precio (\$/m ²)	181.67%	81.44%	100%
Peso (Tn)	70.52%	83.72%	100%

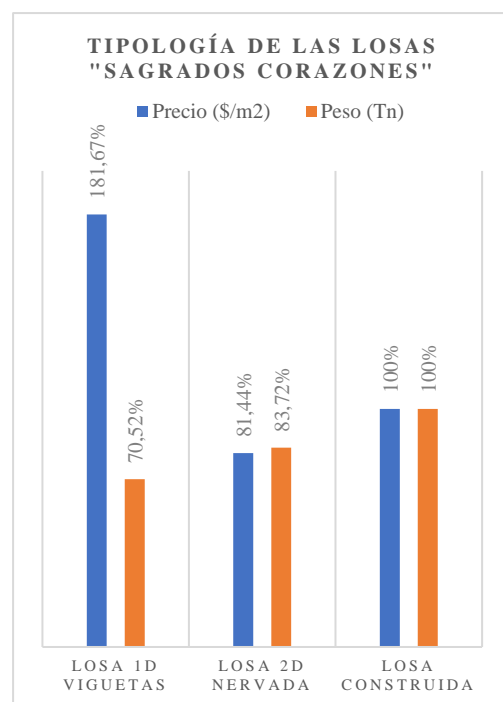
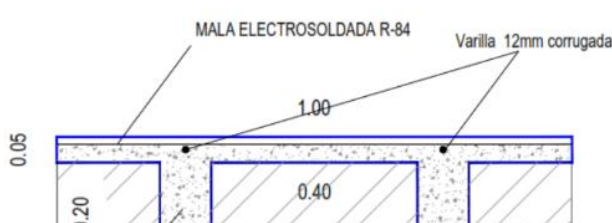


Figura 6. Histograma Comparativo



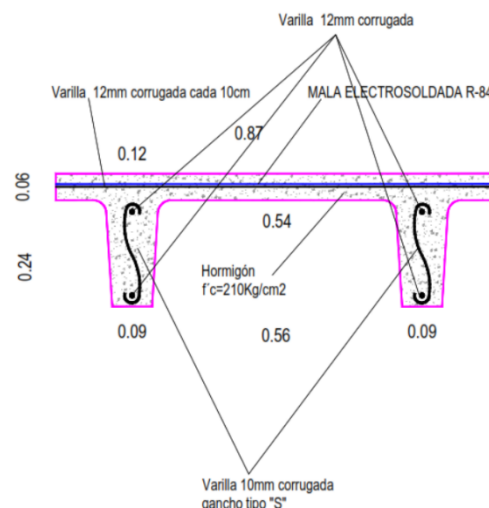


Figura 7. Secciones de losa nervada y viguetas respectivamente para "Sagrados Corazones". Fuente: Propia.

De igual forma se analizó la losa ubicada en la ciudad de Azogues, esta era una losa aligerada apoyada sobre vigas y sin ábacos. La diferencia entre la losa de la Unidad Educativa "Sagrados Corazones" y esta es que el aligeramiento es de bloque de pómez y las épocas en que se realizaron. Del análisis obtenido se concluyó que la losa soporta las cargas de diseño, no existe una gran diferencia con respecto del acero de refuerzo de los nervios de la losa puesta en obra y la analizada, los resultados se muestran en la Tabla 9. Los hierros usados para la dirección larga, tanto para los momentos negativos y positivos se consideró 1 Ø de 10 mm @ nervio en la parte superior y en la inferior y para la dirección corta, tanto para los momentos negativos y positivos se consideró 1 Ø de 12 mm @ nervio en la parte superior y en la inferior.

Tabla 9. Resultados losa "Ciudad de Azogues"

Características		ACI- 1963.	ACI-318-02.	Unidad
Geometría de la losa	Ancho	4.78		m
	Profundidad	2.59		m
	Espesor min. (ln/40.7)	6.00		cm
	Espesor asumido.	22.00		cm
Geometría de las nervaduras	Ancho	40.00		cm
	Profundidad	40.00		cm
	Alto del casetón	20.00		cm
	Espesor del nervio	10.00		cm
Hormigón	f'c	210.00		kgf/cm ²
Acero	f _y	4200.00		kgf/cm ²
Combinación	1.2D+1.6L	1257	1257	kgf/m
Lado Largo	Momento negativo	154.79	161.24	kgf·m
	Momento positivo	64.73	93.81	kgf·m
Lado Corto	Momento negativo	592.02	573.66	kgf·m
	Momento positivo	305.52	344.2	kgf·m
Cortante	Lado Largo	19.65	22.92	kgf
	Lado Corto	159.01	157.32	kgf
Deflexiones	Lado Largo	0.24	0.42	mm
	Lado Corto	0.40	0.50	mm

La losa cumple con las deflexiones máximas permisibles según la ACI 318-12. Dentro de los planos constructivos se tiene para todos los hierros varillas de 12 mm, esto debido a las cargas utilizadas y por temas de seguridad. Dentro de nuestros cálculos utilizando varillas de 12 mm para acero superior e inferior cumple con las normas de diseño. En nuestro caso no existe mucha diferencia con respecto a los precios entre la losa

analizada y la puesta en obra (Tablas 10 y 11). El valor por metro cuadrado de la losa puesta en obra es de **34.57** dólares por m² y la losa analizada nervada en dos direcciones con **32.70** dólares por m². La diferencia que existe entre la losa puesta en obra y la analizada de la ciudad de Azogues es de 1.88 dólares por m², en este caso no hay gran variabilidad en cuanto a la cuantía de hierros utilizada.

Tabla 10. Datos losa analiza 2D "Ciudad Azogues"

Act.	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
1	Bloque Pómez	u	424.00	0.25	106.00
3	Acero de refuerzo fy 4200 kg/cm ²	kg	434.09	1.98	859.51
4	Malla electrosoldada R-84	m ²	78.43	2.90	227.45
5	Hormigón f'c 210 kg/cm ² bombeado para losa	m ³	12.13	132.44	1606.50
6	Alquiler de Encofrado	m ²	89.15	1.89	168.49
Total			1037.80	139.46	2967.94

Tabla 11. Precio losa construida "Ciudad Azogues"

Act.	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
2	Bloque Pómez	u	424.00	0.25	106.00
3	Acero de refuerzo fy 4200 kg/cm ²	kg	491.88	1.98	973.91
4	Malla electrosoldada R-84	m ²	78.43	2.90	227.45
5	Hormigón f'c 210 kg/cm ² bombeado para losa	m ³	12.13	132.44	1606.50
6	Alquiler de Encofrado	m ²	89.15	1.89	168.49
Total			1095.59	139.46	3082.35

Ahora bien, también se presenta el análisis de la losa con viguetas en una dirección, de igual forma se propone el uso de casetones reutilizables de plástico para realizar la losa alivianada, en este caso la altura de las vigas principales es de 20 cm, al igual que con la losa alivianada puesta en obra el rendimiento para construir la losa con viguetas será mucho más eficiente, porque se busca realizar un encofrado al mismo nivel que las vigas y la losa para poder fundir todos estos elemento estructurales al mismo tiempo. En cuanto al precio por metro cuadrado la losa con viguetas es 3.73 \$/m² mayor que la losa analizada en 2 direcciones, y en cuanto al peso la losa con viguetas es más ligera con 10.76 toneladas menos de peso que la losa analizada en 2 direcciones. La Tabla 12 muestra el costo total de la losa en la ciudad de Azogues y la Tabla 13 la comparativa de los 3 sistemas de losas en cuanto a peso y costo, y la Figura 8 y 9 muestra un histograma comparativo de las losas y sus secciones respectivamente.

Tabla 12. Datos losa 1D "Ciudad de Azogues"

Act.	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
7	Casetón para alivianar	u	178.00	10.00	1780.00
3	Acero de refuerzo fy 4200 kg/cm ²	kg	870.46	1.98	1723.52
4	Malla electrosoldada R-84	m ²	134.47	2.90	389.96
5	Hormigón f'c 210 kg/cm ² bombeado para losa	m ³	7.48	132.44	915.16
6	Alquiler de Encofrado	m ²	141.43	1.89	267.30
Total			1331.84	149.21	5151.43

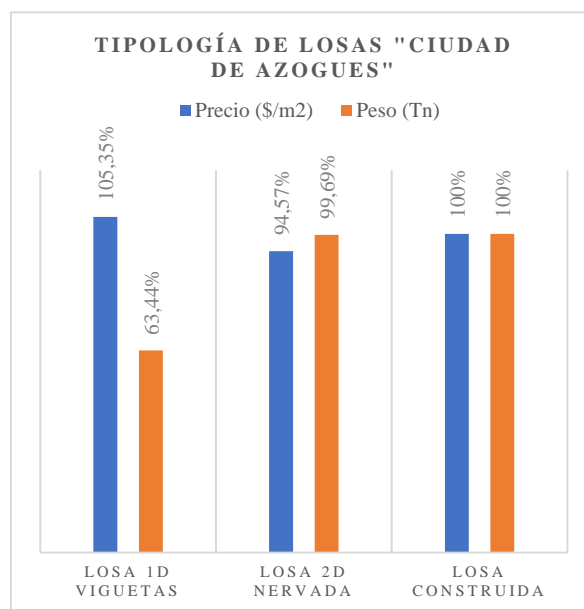


Figura 8. Histograma Comparativo

Tabla 13. Comparativas losas "Ciudad de Azogues"

Características	Losa 1D Viguetas	Losa 2D Nervada	Losa construida
Precio (\$/m ²)	36.42	32.70	34.57
Peso (Tn)	18.82	29.58	29.67
Precio (\$/m ²)	105.35%	94.57%	100%
Peso (Tn)	63.44%	99.69%	100%

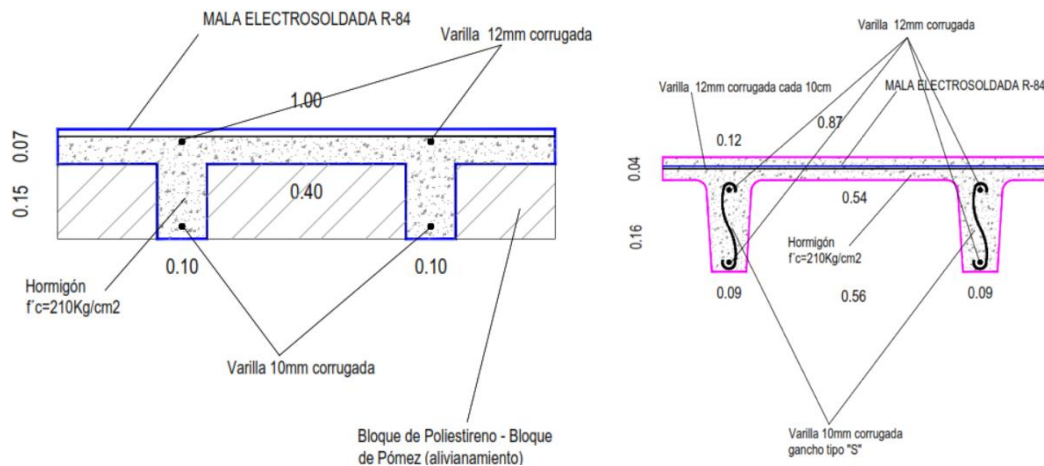


Figura 9. Secciones de losa nervada y viguetas respectivamente para "Ciudad de Azogues". Fuente: Propia.

De acuerdo con esto se muestra el proceso constructivo en obra de la losa alivianada en la ciudad de Azogues. Con el respectivo cálculo estructural y diseño para nuestro análisis, tenemos la cimbra o encofrado listo para recibir el concreto (Figura 10). Para el armado de la losa iniciamos con el trazado de las calles o nervaduras y colocar los bloques entre ellas, definimos bien los trazos (Figura 11). Se procede a colocar el acero de refuerzo en las nervaduras, realizamos los amarres entre cruces de varillas y los ganchos que se ubiquen hacia arriba, y cuidar el recubrimiento que tendrá el acero de refuerzo (Figura 12). Después de tener el acero de refuerzo en nuestra losa procedemos a colocar los bloques entre nervadura y nervadura por eso el trazo era muy importante en el proceso anterior, y por último colocamos la malla electrosoldada sobre toda la losa (Figura 13). Iniciamos el proceso de fundición con hormigón premezclado de 210 kg/cm² o 21 MPa requerido en el proyecto (Figura 14), procedemos al tendido, se le va a ir con una regla metálica extendiendo y con el vibrador en las partes donde son difíciles que se compacte y así dejar la capa uniforme de la losa (Figura 15). Hay que tener en cuenta que en el proceso de fundición se utilizó camión mixer (hormigón premezclado) para garantizar la resistencia final del hormigón. Se recomienda sacar la cimbra luego que se fragüe la losa para así no tener deflexiones, recomendación 14 días. Procedemos a retirar las simbras o nuestro encofrado, se puede seguir construyendo mientras fragua, pero lo recomendable es dejar que siga adquiriendo resistencia el concreto y evitar perturbaciones o impactos que se puedan generar durante la construcción. Se adjunta el link del video de su proceso de construcción: https://youtu.be/7k_jlqBTbq0.



Figura 10. Cimbra o encofrado.



Figura 11. Trazo para colocación de nervaduras y vigas.



Figura 12. Armado de acero de refuerzo.



Figura 13. Colocación de bloque pómez y malla.



Figura 14. Fundición de losa y vigas con hormigón.



Figura 15. Extendido y vibrado del hormigón.

3. Discusión

De la losa analizada de la Unidad Educativa “Sagrados Corazones”, se tiene una diferencia de costos considerable, esto debido al cálculo y la metodología usada en 1985 con respecto a la actual en nuestro medio, existe una diferencia de costos en comparación a la losa puesta en obra y las analizadas. Esto significa un gran ahorro de materiales y mano de obra dentro de la construcción, la losa analizada en 2 direcciones es mucho más ligera que la puesta en obra, la losa en obra tiene 53.53 toneladas de peso y la losa analizada tiene 44.82 toneladas, pero la losa analizada con viguetas en 1 dirección es mucho más ligera pesando 37.75 toneladas, pero su costo es mucho más elevado con 73.09 dólares por m^2 cuadrado que la losa construida y la losa 2 direcciones. De igual manera para la losa de la ciudad de Azogues en cuanto a la losa construida y la losa en 2 direcciones no existe una diferencia notable en cuanto a peso y precio por metro cuadrado, pero la losa con viguetas en comparación a la construida se tiene una diferencia de peso del 36.56 % menor que la construida en obra, aunque su precio es mayor en un 5.35 %. El peso de la estructura influye con los movimientos sísmicos, mientras más peso tenga la estructura, se tendrá más carga sísmica que se transmiten al pórtico (vigas y columnas) y a las zapatas, lo que puede influir con la pérdida de rigidez de la estructura en general. Con el análisis en campo no se observó ninguna anomalía dentro de la estructura de la ciudad de Cuenca (Unidad Educativa “Sagrados Corazones”) aún pasados 38 años desde su construcción hasta la fecha. En la losa de la ciudad de Azogues se obtuvieron cuantías de acero muy similares a las usadas en obra en cuanto a la losa en 2 direcciones y no existe una gran diferencia de precios de la losa puesta en obra y las analizadas, pero en cuanto a peso total la losa con viguetas es mucho más ligera. En países como Perú e Italia no recomiendan el uso de losas alivianadas en 2 direcciones por la gran masa sísmica que pueden tener, esto debido al alto riesgo sísmico, es por esta razón que el uso de losas con viguetas reduce esta masa sísmica y la carga vertical transmitida a la estructura en general, además que influyen condiciones de rigidez [17,18]. El uso de losas con viguetas reduce las vibraciones en comparación a una losa alivianada en 2 direcciones, pero se pueden reducir mucho más estas vibraciones con diferentes métodos constructivos como: el uso de hormigón de un hormigón más pesado, fibras de acero dentro del hormigón, aumento del peralte de las viguetas, etc.

4. Conclusión

El uso de losas alivianadas son una ventaja frente a losas de hormigón tradicionales o macizas, esto nos puede significar la reducción de carga muerta vertical transmitida a la estructura, representando un ahorro de materiales y costo de construcción en cuanto a vigas, columnas y cimentación (zapatas y excavación); la losa con viguetas de la ciudad de Cuenca es un 29.48 % más ligera que la puesta en obra, pero su costo aumenta debido al uso de varillas de acero de mayor diámetro, pero con la losa analizada en la ciudad de Azogues no existe mucha variación en cuanto a precios por m² de losas. la losa con viguetas disminuye en un 36.56 % de peso. En zonas sísmicas la reducción de la masa de una estructura es importante ya que mejora el rendimiento sísmico en general de la estructura. Para losas con viguetas en cuanto a instalaciones mecánicas, eléctricas y recubrimientos (térmicos y acústicos), se tiene más espacio de montaje y en general mayor eficiencia energética. Para ambos casos de losas analizadas de las dos ciudades, las losas con viguetas son más ligeras que las losas en 2 direcciones, esto debido a la reducción del volumen de hormigón, lo que implica una reducción en la huella de carbono, además de la reutilización de los casetones de plástico en vez de bloques de poliestireno o bloques de pómez utilizados en nuestro medio. En temas constructivos la losa con viguetas es mucho más rápida para construir que losas en 2 direcciones, esto significa un ahorro en mano de obra y materiales al reutilizar los casetones de plástico para los siguientes niveles de pisos que pueda tener una construcción. Esta tipología constructiva puede ser un emprendimiento en nuestra zona de estudio, generar nuevas fuentes laborales tanto en venta de nuevos casetones, alquiler de casetones o encofrado, además desde el punto de vista técnico, nuevo conocimiento en diseño y construcción para edificaciones de concreto con losas de una dirección que garantizan menos vibraciones y un comportamiento de piso (o diafragma) rígido.

Contribución de autores: conceptualización, X.N-C., J.M. y C.F.; metodología, X.N-C.; software, J.M. y C.F.; validación, X.N-C., J.M. y C.F.; análisis formal, X.N-C.; investigación, J.M. y C.F.; recursos, C.F.; curaduría de datos, X.N-C.; redacción-revisión y edición, J.M.; visualización, X.N-C.; supervisión, X.N-C.; administración de proyectos, X.N-C.; adquisición de fondos, C.F."

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Aladžić, V.; Kekanović, M.; Miličić, I. Traditional Thick Concrete Floor Slabs - an Obstacle to the Flexibility, Energy Efficiency and Seismic Safety. *Teh. Vjesn.* **2019**, *26*, 1794-1802, doi:10.17559/TV-20180419101316.
2. Mata-Falcón, J.; Bischof, P.; Huber, T.; Anton, A.; Burger, J.; Ranaudo, F.; Jipa, A.; Gebhard, L.; Reiter, L.; Lloret-fritschi, E.; et al. Digitally Fabricated Ribbed Concrete Floor Slabs: A Sustainable Solution for Construction. *RILEM Tech. Lett.* **2022**, *7*, 68-78, doi:10.21809/rilemtechlett.2022.161.
3. Herrera Herrera, A.D. OPTIMIZACIÓN DEL COSTO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL EN FUNCIÓN DE LA DERIVA PARA EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO, Escuela Politécnica Nacional, 2022.
4. Rupidara, Y.A.; Cornelis, R.; Sir, T.M.W. Comparative Analysis of Seismic Performance of Building Structures with Conventional Slab, Waffle Slab, and Flat Slab. *J. FORUM Tek. SIPIL* **2022**, *2*, 80-91, doi:10.35508/forteks.v2i1.5496.
5. Cunalata, F.; Caiza, P. State of the Art of Seismic Vulnerability Studies in Ecuador. *Rev. Politec.* **2022**, *50*, 55-64, doi:10.33333/rp.vol50n1.06.
6. La Torre Esquivel, J. elvis Optimización Del Diseño Estructural, Enfocado En El Costo de Edificaciones Educativas de Concreto Armado, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018.
7. Baig, M.M.; Rashid, A.; Reddy, Y.P.S.D.; Krishna, T.G.N.. V. A Comparative Study on Seismic Analysis of G+6 Building with Ribbed Slab & Conventional Slab Using SAP2000 Software. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **2021**, *1112*, 012026, doi:10.1088/1757-899x/1112/1/012026.
8. Nithyambigai, G.; Rameshwaran, P.M.; Stella Mary, F. Behaviour of Waffle Slab. *Mater. Today Proc.* **2020**, *46*, 3765-3768, doi:10.1016/j.matpr.2021.02.016.
9. Pandey, A.K. Seismic Analysis of Commercial Building with Grid/Waffle Slab Using ETABS. *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.* **2021**, *9*, 679-685, doi:10.22214/ijraset.2021.38486.
10. Robati, M.; McCarthy, T.J.; Kokogiannakis, G. Integrated Life Cycle Cost Method for Sustainable Structural Design by Focusing on a Benchmark Office Building in Australia. *Energy Build.* **2018**, *166*, 525-537,

doi:10.1016/j.enbuild.2018.02.034.

11. Lima, J.P. dos S. Structural Comparative Analysis Between Conventional Solid Slabs and Reinforced Concrete Ribbed Slabs Through Manual Calculation and Tqs Software. *J. Eng. Res.* **2022**, 2, 2-16, doi:10.22533/at.ed.3172262222113.
12. Colombiana, A.C.I.S. *AIS 114-17 - Requisitos Esenciales Para Edificaciones de Concreto Reforzado de Tamaño y Altura Limitados*; ACI, AIS, Eds.; 1st ed.; AIS 114: Bogotá, 2017; ISBN AIS 114-17.
13. Instituto Geográfico, E. *INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DEL ECUADOR. Base Nacional Escala 1 : 50 000*; Quito, 2010;
14. Sustainability, P. Geoplast Catalogue 2022. **2022**.
15. Alexander, M.G.; Dehn, F.; Moyo, P. *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting IV*; 2015; ISBN 9780203124253.
16. ANSI American National Standard. *SMPTE J.* **2013**, 95, 601-602, doi:10.5594/j17740.
17. Colonia, Y.; Valentin, S. Análisis Comparativo Entre El Sistema de Losa Convencional y Losa Con Viguetas Prefabricadas En El Diseño Sísmico de Una Vivienda En Arequipa, Universidad César Vallejo, 2020.
18. Sorace, S.; Terenzi, G. Structural Assessment of a Modern Heritage Building. *Eng. Struct.* **2013**, 49, 743-755, doi:10.1016/j.engstruct.2012.12.012.



© 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>