

Tipo de artículo: Artículo original

Inteligencia computacional aplicada a la revisión estructural de la variante integral de losa con poliestireno expandido como cofre perdido

Computational intelligence applied to the structural revision of the integral variant of the slab with expanded polystyrene as a lost chest

Roberto Carlos Parrales Baque^{1*}
Gery Lorenzo Marcillo Merino²

¹Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

²Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

* Autor para correspondencia: parrales-roberto8678@unesum.edu.ec

Resumen

Al Proyecto Técnico Ejecutivo de los edificios multifamiliares del MININT en Villa Nueva, Holguín, Cuba, se le introducen modificaciones referentes a las cargas actuantes, el refuerzo estructural, las uniones y la secuencia constructiva de la cubierta y el entrepiso. Todas estas transformaciones, generadas por causas económicas, derivan en la variante integral de LPECP. Su ejecución resulta ventajosa, desde el punto de vista económico y de tiempo, para la Empresa Constructora del MININT, pero se desea corroborar si esta variante de LPECP ofrece seguridad a la estructura, mediante el cumplimiento de las Normas Cubanas de la Construcción y las Normas Ecuatorianas de la Construcción.

Palabras clave: Proyecto Técnico Ejecutivo; refuerzo estructural; losa con poliestireno expandido.

Abstract

Modifications are made to the Executive Technical Project of the MININT multi-family buildings in Villa Nueva, Holguín, Cuba regarding the acting loads, the structural reinforcement, the joints and the construction sequence of the roof and the mezzanine. All these transformations, generated by economic causes, lead to the integral variant of LPECP. Its execution is advantageous, from the economic and time point of view, for the Construction Company of the MININT, but it is desired to corroborate if this variant of LPECP offers security to the structure, by means of the fulfillment of the Cuban Norms of the Construction and the Norms Ecuadorian Construction.

Keywords: Executive Technical Project; Structural reinforcement; slab with expanded polystyrene.

Recibido: 03/01/2021

Aceptado: 22/02/2021



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Introducción

El incremento del empleo del poliestireno expandido (EPS) a nivel mundial es notable, al igual que el surgimiento y diversificación de sus aplicaciones en todas las áreas de la ingeniería civil. En el caso de las estructuras, las primeras soluciones se concentran en modelos con piezas de entrevigado de EPS destinados a forjados: casetones y bovedillas. En la actualidad se emplea, además, para platos y paneles de aislamiento termo-acústico, como moldes de encofrado, aditivo aligerante, entre otras aplicaciones (Orozco O, 2013)

En la actualidad, la mayoría de las aplicaciones del EPS en la construcción, están dirigidas a cubiertas y entrepisos y su empleo generalmente en viviendas. Las variantes más conocidas son: “Vigueta de hormigón pretensado y Bovedillas de poliestireno” y “Sistema de Losa de poliestireno expandido” (Díaz M, 2009).

El poliestireno expandido posee buenas propiedades de resistencia mecánica, aprovechables en una estructura. Constituye un excelente material para encofrado por su adecuado comportamiento frente al agua, lo que genera un ahorro de madera y del trabajo artesanal que implicaría trabajar con ella. Es un aislante termo-acústico. Por su ligereza: facilita y agiliza el proceso constructivo y disminuye el peso en una estructura que deriva en la reducción del volumen decimentación.

La solución de cubierta y entrepiso consiste en moldes de EPS que contienen reservaciones para hormigonar dos viguetas armadas a todo lo largo del cofre, más los cabezales necesarios para el apoyo. Encima de este elemento se vierte una carpeta de compresión de hormigón armado.

En la información técnica se proyectó (Proyecto Técnico, 2017), además, una losa de hormigón armado in situ de 10 cm de espesor para los entrepisos del baño y el patio de servicio de cada vivienda.

Las dificultades presentadas en Obra generaron que: en lugar de hormigonar las losas de 10 cm de espesor se decide la continuidad de la solución con poliestireno expandido, prevista para el resto delentrepiso.

Con esta última modificación surge la variante integral de Losa con Poliestireno Expandido como Cofre Perdido (LPECP)

Ante esta situación, se plantea el siguiente problema: Evaluar la sustitución de la construcción de una losa de hormigón y por una losa con poliestireno expandido como cofre perdido empleando las NCC y las NEC.

El objeto de investigación es: la Losa con Poliestireno Expandido como Cofre Perdido y el campo de investigación el diseño estructural de Hormigón Armado.

Los objetivos específicos se encaminan a:

- Realizar un estudio teórico referente al objeto de para lograr el aporte práctico de este trabajo.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

- Establecer una comparación entre la variante de losa inicial y la integral propuesta.
- Analizar y diseñar estructuralmente la variante integral de LPECP.

El alcance de la investigación se circunscribe a obtener un diseño estructural de la variante integral por medio de las NCC y NEC

Hipótesis: el diseño estructural de la variante integral de LPECP empleado en Obra, brinda un grado de seguridad adecuado bajo la acción de las cargas externas.

Materiales y métodos

Para el logro de la investigación se emplearon los siguientes métodos:

Observación: permite acumular información acerca del comportamiento actual en Obra del objeto de investigación.

Análisis-síntesis: para el estudio y resumen de toda la información sobre la solución de LPECP y los medios que facilitan el alcance del trabajo.

Abstracción-integración: para la representación, a través de un modelo, de la variante integral de LPECP, las cargas actuantes, las solicitaciones resultantes e integrarlas.

Se emplearon como fuentes primarias:

El Proyecto Técnico Ejecutivo: “Manzana 4. Reparto Villa Nueva”.

Libros y normas relacionados con el diseño de las estructuras de hormigón armado y la determinación de cargas sobre edificaciones.

Manuales, libros e investigaciones acerca de los tipos de losas de hormigón armado y las soluciones de cubierta y entrepiso utilizando el poliestireno expandido.

Información en Internet sobre las características y aplicaciones del poliestireno expandido en la construcción.

Resultados y discusión

Las losas son elementos estructurales que tienen una dimensión (espesor) más pequeña respecto a las otras dos (ancho y largo). Dentro de una estructura pueden cumplir varias funciones entre las que sobresalen muros, cimientos, cubiertas, entrepisos y otros. Cuando se destinan a cubiertas y entrepisos, pueden ser pesadas, aligeradas o ligeras. Esta clasificación depende del material y geometría de sus elementos componentes.

Las losas aligeradas se conciben con el objetivo de disminuir el consumo de materiales y el peso en la estructura.



El sistema LPECP consiste en viguetas de hormigón armado que se vierten en cofres de poliestireno expandido. Cuando se montan estos dos elementos juntos en la estructura, se completa la losa con una carpeta de hormigón armado (Fanego S, 2007).

Existen diferentes secciones de cofres en relación a la luz de la losa, como se muestra en la figura 1. Este sistema está contenido en el Proyecto Técnico Ejecutivo de las viviendas multifamiliares, para dar solución al entrepiso y la cubierta.



Figura 1. Tipos de cofres de poliestireno expandido

Poliestireno Expandido como materialaligerante

El Poliéstireno Expandido o Expanded Polystyrene (EPS), es un material plástico celular obtenido a partir del poliestireno expandible. Su material base es el estireno (un líquido incoloro) cuyas moléculas se polimerizan junto con agua y un agente de expansión, dando lugar a las perlas de poliestireno. Al someter este material al calor en condiciones controladas las perlas se expanden hasta un volumen muy superior al original, obteniéndose el material preexpandido. Luego se moldea mediante un proceso que lo somete nuevamente a calor, inflando y soldando las perlas entre sí (Poliestireno, 2012). Su fórmula química es: C₈H₈.

Los productos y materiales de EPS presentan una excelente capacidad de aislamiento acústico y térmico frente al calor y al frío. Esto se debe a la propia estructura del material; aproximadamente un 98% del volumen es aire y un 2% materia sólida, lo que permite caracterizarlo como extraordinariamente ligero.

En función de la aplicación, las densidades se sitúan en el intervalo que va desde 0,1 kN/m³ hasta 0,35 kN/m³. Entre algunas de sus propiedades a los esfuerzos mecánicos se pueden mencionar:

- la resistencia a la compresión (para una deformación del 10%) de 30 a 250kPa,
- la resistencia a la flexión de 50 a 375kPa,
- la resistencia a la tracción de 100 a 580 kPay



- el módulo de elasticidad de 1,5 a 10.8MPa.

Sistema de LPECP en cubierta y entrepiso

El poliestireno expandido, dentro de la estructura, se aprovecha como cofre perdido y aislante termo-acústico y no cumplen ninguna función estructural. Estas piezas con dimensiones de 2.00 m x 1.00 m y 3.00 m x 1.00 m

Cuando llegan a obra se le realizan cortes para lograr cubrir las aéreas de cada uno de los locales. En las siguientes tablas se resumen las variantes de cofre que se emplea en un edificio del tipo analizado.

Cada uno de los cofres tiene 2 reservaciones simétricas con respecto al ancho del mismo y separadas a no más de 0.50 m. En estas reservaciones, con una profundidad de 0.10 m y un ancho de 0.08 m, como se muestra en la figura 2, se colocan a lo largo del cofre un acero de tracción de \varnothing 15.9 mm (5/8") y el de compresión de \varnothing 12.7 mm (1/2"), cuando se analiza el entrepiso. En la cubierta estos refuerzos son de \varnothing 12.7 mm. Los estribos para estas barras son de \varnothing 6 mm con una longitud de 0.20 m y espaciados a 0.15 m. Se garantiza un recubrimiento de 20mm.

En los extremos de los cofres se colocan cajuelas del mismo material fijados con grapas. Están destinados a servir de molde para proveer al elemento cofre-vigueta de un cabezal de apoyo de 10 cm de longitud.

Sobre este último elemento se coloca una malla electrosoldada, que se amarra al acero de compresión, cubre un área de 2.25 x 6.00 m² con barras \varnothing 6.8 mm y espaciamiento de 25 cm x 25 cm, con un recubrimiento de 20 mm. Sobre esta se hormigón a una carpeta de compresión de 5 cm de espesor. En las figura 3 se puede observar la descripción anterior.

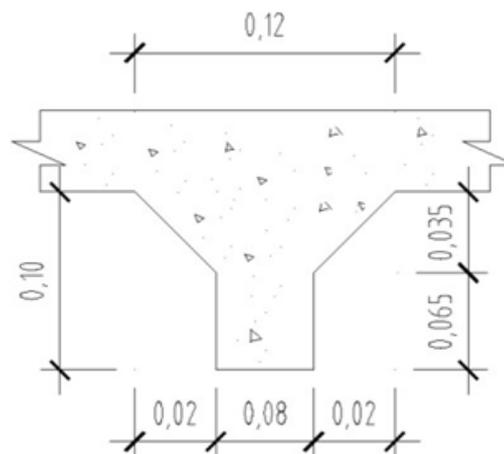


Figura 2. Sección transversal de la cajuela para viguetas.



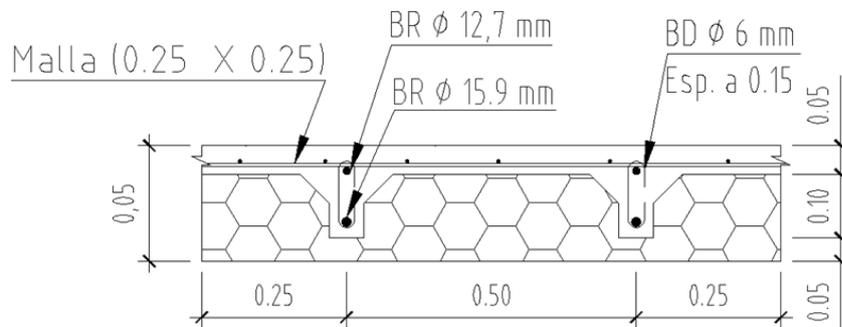


Figura 3. Sección transversal de la losa de cubierta y entrepiso.

La terminación interior de este sistema comprende un enlucido. Para garantizar la adherencia entre el poliestireno y el mortero, una vez terminada la losa, se transforma la superficie del cofre por medio de estrías.

Secuencia constructiva del sistema de LPECP

Según el Manual para construir entrepisos y cubiertas utilizando poliestireno expandido (INV, 2007)

Los cofres de poliestireno se colocan en el suelo, en una superficie horizontal y uniforme.

Se realizan los cabezales (longitud = 10 cm) o puntos de apoyos con la ayuda de las grapas de alambres para su unión, tal como se observa en la figura 4.



Figura 4. Conformación de los cabezales de viguetas

Se coloca el refuerzo en las cajuelas sobre no menos de 3 a 4 tacos que garanticen un recubriendo mínimo de 2cm. El hormigonado comienza a partir de los extremos y el centro para mantener centrado el acero y se completa aplicando fija, como se muestra en la figura 5.





Figura 5. Hormigonado de las viguetas

La terminación superior de las vigas hormigonadas debe ser rugosa a fin de garantizar un mayor agarre al hormigón de la carpeta. Las prelosas pueden manipularse después de tres días de vertido el hormigón, pero el montaje se realiza después de siete días. El traslado y manipulación de las prelosas se efectúa siempre en su forma de trabajo, es decir, por donde se fundieron las vigas y viendo estas. En la figura 6 se observa que nunca se debe invertir la pieza para realizar tales operaciones.



Figura 6. Manipulación de la losa en su forma de trabajo.

El montaje se ejecuta de forma manual, inclinándose 45° para apoyarla sobre la hilera de bloques macizados y sobresaliendo lo suficiente, como se expone en la figura 7, para que al colocarla horizontalmente pueda levantarse sin dificultad. Se apoya toda la longitud del cabezal (10 cm). Se recurre a los aditamentos o muletas de montaje.





Figura 7. Inclinación de la prelosa para el montaje

Luego del montaje se apuntala la prelosa; colocando cargaderas al centro de la luz y puntales espaciados como máximo 2 m. Deben arriostrarse los puntales convenientemente, así como se representa en la figura 8.



Figura 8. Apuntalamiento de la prelosa.

Las instalaciones eléctricas se efectúan sobre las prelosas, ranurando estas y quedando por debajo de la carpeta. Se dejan los pases para las acometidas o bajantes de las instalaciones hidrosanitarias. Las mallas se colocan efectuando un solape no inferior a 20 cm y garantizando el recubrimiento con la colocación de tacos de 2 cm de espesor. El traslado de hormigón en vagones se realiza sobre tablonés adecuadamente colocados. Para la terminación interior de la cubierta o techo primero se raspa la superficie del EPS formando estrías que aseguren la adherencia y luego se acomete el salpicado, el repello grueso y el fino.



Esta estructura carece de dinteles sobre los vanos de puertas y ventanas. En su lugar se ubica la viga cerramento y mediante un enrase de boques se alcanza el nivel inferior de las viguetas. La unión losa-cerramento se realiza a través de insertos metálicos.

Aunque la zonificación sísmica lo ubica en un área de bajo riesgo (zona 1A de aceleración horizontal máxima del terreno = 7.5% de la gravedad), deben tomarse medidas sismorresistentes en todas las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas (INV, 1999)

De acuerdo a las recomendaciones especificadas por el Manual para construir entrepisos y cubiertas utilizando poliestireno expandido: “Las prelosas apoyarán sobre cerramientos o apoyos de hormigón, nunca sobre ladrillos, cantos o bloques de hormigón (INV, 2007)

Para la unión entre vigas cerramento se colocan cuatro barras en forma de escuadra de Ø12.7 mm con longitud de 0.40 m a ambos lados, en el refuerzo superior e inferior de esta, logrando un empotramiento.

El objetivo de elevar la altura de la viga cerramento es hormigonar al mismo tiempo este elemento con el entrepiso o cubierta, asegurando una unión articulada mediante el amarre entre los refuerzos del cerramento y la losa. Esta es la variación principal que origina la presente investigación, por lo que se analiza la solución de cubierta y entrepiso como una variante integral.

Para garantizar una unión articulada entre la losa y el cerramento se propone colocar barras en forma de escuadra, con 50 cm a cada lado, que se amarran a las viguetas y a las vigas cerramento, en el refuerzo superior e inferior. La malla electrosoldada también se amarra a las barras longitudinales de la viga cerramento.

Diseño de las viguetas: El diseño de las viguetas se realiza para los esfuerzos de flexión y cortante. Además se comprueba la deformación. No se tiene en cuenta la torsión por la inexistencia de cargas desequilibradas que generen tales solicitaciones.

Diseño por flexión: En la tabla 1 se ofrecen las máximas solicitaciones de momento flector de las viguetas, relacionadas con la combinación de carga más desfavorable y el número de paño al que pertenecen (Proyecto técnico, 2017).

Tabla 1. Solicitaciones máximas de momento de las viguetas

Paño	Viguetas (m)	cantidad x losa	M _{máx.} (kNm)	Combinación	M* _{máx.} (kNm)
1	3,20	8	3,28	2	3,77
2	3,20	6	3,27	2	3,76
3	2,20	6	1,55	2	1,78
4	2,10	8	1,41	2	1,62
5	1,75	6	0,98	2	1,13



6	1,50	6	0,65	2	0,75
7	1,45	6	0,93	2	1,07

El diseño de las viguetas se realiza por flexión simple, y la sección de cálculo es una viga en forma de T con dimensiones representadas en la figura 9.

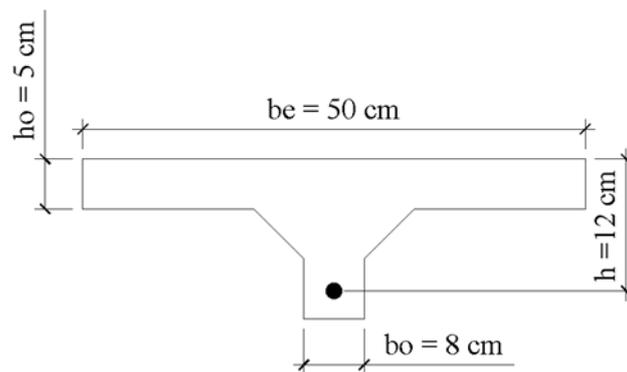


Figura 9. Sección transversal de cálculo de la vigueta.

Es necesario definir si la sección trabaja estructuralmente como una viga rectangular o T. Por tanto, es necesario comprobar si el bloque de compresiones afecta solamente al ala o, además de esta, a parte del alma (Hernández C, 2010). Para ello la siguiente relación compara el momento de diseño (actuante) con el momento resistido por el ala de la sección. Si $M^* \leq M^*_{ala}$, la sección trabaja como una viga rectangular. Si $M^* \geq M^*_{ala}$, la sección trabaja como una viga T.

$$M^*_{ala} = R' b^* \cdot be \cdot ho(h - 0.5ho) \tag{1}$$

$$M^* : M^*_{ala}$$

$$M^*_{ala} = 12500 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,05 \text{ m} (0,12 \text{ m} - 0,5 \cdot 0,05 \text{ m})$$

$$M^*_{ala} = 29,69 \text{ kNm}$$

Al comparar los momentos actuantes mayor dados de las viguetas con el momento resistido por el ala, se comprueba que la sección trabaja estructuralmente como una viga rectangular.

Viguetas 1 y 2: Se agrupan estas dos viguetas por tener las mismas longitudes y similares valores de solicitaciones. Se calcula el momento reducido de la sección.



$$\mu = \frac{M^*}{b \cdot h_e^2 \cdot f'_c} = \frac{3,77 \text{ kNm}}{0,08 \text{ m} \cdot (0,12 \text{ m})^2 \cdot 12500 \text{ kN/m}^2} = 0,26 \quad (2)$$

Donde:

$b = 0,08 \text{ m}$ (ancho de la sección)

$h_e = h_t - d_2 = 0,15 - 0,03 = 0,12 \text{ m}$ (peralte efectivo)

$d_2 = 0,03 \text{ m}$ es tomado del refuerzo actual en obra. $\mu_{lim} = 0,42$; para aceros G-40

$\mu = 0,26 < \mu_{lim} = 0,42$ no necesita acero de compresión (A1). Se calcula la cuantía mecánica de la sección (ω_r)

$$\omega_r = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,26} = 0,31 \quad (3)$$

$$\omega_r = 0,31 > \omega_{mín.} = 0,04$$

Se calcula el área de acero a tracción (A2)

$$A_2 = \frac{\omega_r \cdot b \cdot h_e \cdot f'_c}{f_y} = \frac{0,31 \cdot 8 \text{ cm} \cdot 12 \text{ cm} \cdot 12,5 \text{ MPa}}{243,5 \text{ MPa}} = 1,53 \text{ cm}^2 \quad (4)$$

$$\text{cant. barras} = \frac{A_{\text{acero}}}{a \text{ } \varnothing 15,9 \text{ mm}} = \frac{1,53 \text{ cm}^2}{1,99 \text{ cm}^2} = 0,77 \approx 1$$

Teniendo en cuenta que las viguetas 1 y 2 son las más solicitadas, se aplica el mismo diseño a las restantes.

Diseño por cortante: En la tabla 2 se ofrecen las máximas solicitaciones de cortante de las viguetas, relacionadas con la combinación de carga más desfavorable y el número de paño al que pertenecen.

Tabla 2. Solicitaciones máximas de cortante en viguetas.

Paño	Viguetas (m)	cantidad x losa	Vmáx. (kN)	Combinación	V*máx. (kN)
1	3,20	8	5,13	2	5,90
2	3,20	6	5,12	2	5,89
3	2,20	6	3,48	2	4,00
4	2,10	8	3,32	2	3,82
5	1,75	6	2,75	2	3,16
6	1,50	6	2,36	2	2,71
7	1,45	6	3,43	2	3,94

Una vez realizado el diseño por flexión de las viguetas debe comprobarse el fallo por compresión diagonal según la siguiente fórmula, para secciones con estribos verticales, donde debe garantizarse que (NC 207:2003):



$$V^* \leq V_{c2}^* \cdot \gamma_s \quad (5)$$

Donde:

V^* : cortante de cálculo máximo producido por las cargas externas.

V_{c2}^* : fuerza cortante resistente debido a la compresión del alma.

$$V_{c2}^* = 0,25 \cdot f'_c \cdot b \cdot h_e = 0,25 \cdot 12500 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,08 \text{ m} \cdot 0,12 \text{ m} = 30 \text{ kN} \quad (6)$$

$$V^* < 30 \text{ kN} \cdot 0,87 \quad V^* < 26,1 \text{ kN}$$

Al observar en tabla los valores de cortante de cálculo se chequea que todos los elementos cumplen.

Luego se comprueba que teóricamente se necesita armadura transversal por cálculo. Si $V^* \leq V_{c1}^* \cdot \gamma_s$, no se necesita refuerzo transversal y se coloca por especificación.

Donde:

V^* : cortante de cálculo máximo producido por las cargas externas.

V_{b1}^* : fuerza cortante resistente del hormigón.

$$V_{c1}^* = 160 \sqrt{f'_c} \cdot b_0 \cdot h = 160 \sqrt{12,5 \text{ MPa}} \cdot 0,08 \text{ m} \cdot 0,12 \text{ m} = 5,43 \text{ kN} \quad (7)$$

$$V^* \leq 5,43 \text{ kN} \cdot 0,87$$

$$V^* \leq 4,7 \text{ kN}$$

Al comparar este resultado con los mostrados en la tabla para cada una de las viguetas, se observa que a los elementos del 3 al 7 se le coloca el refuerzo transversal por especificación.

Viguetas 1 y 2: El refuerzo transversal que se coloque debe garantizar que:

$$V^* \leq (V_{c1}^* + V_s^*) \cdot \gamma_s \quad (8)$$

Donde:

V_s^* : aporte del acero transversal.

$$V_s^* = \frac{A_n \cdot h \cdot f_y^*}{t} \quad (9)$$

Donde:

A_n : área nominal del cerco por su número de patas

h : peralte efectivo de la vigueta



t: espaciamiento de los cercos

$$t = \frac{A_n \cdot h \cdot f_y^*}{V^* - V_{c1}^*} = \frac{0,283 \text{ cm}^2 \cdot 12 \text{ cm} \cdot 20,87 \text{ kN/cm}^2}{5,9 \text{ kN} - 4,7 \text{ kN}} = 59 \text{ cm} \quad (10)$$

Se determina el espaciamiento por cuantía mínima.

$$\sum (A_\alpha f_y^*) \geq 0,02 \cdot f_c^* \cdot b_o l_u \quad (11)$$

$$\sum A_\alpha \geq \frac{0,02 \cdot 12,5 \text{ MPa} \cdot 8 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm}}{208,7 \text{ MPa}} = 0,96 \text{ cm}^2$$

$$\text{cant. estribos} = \frac{0,96 \text{ cm}^2}{0,283 \text{ cm}^2} = 3,4 \approx 4 \text{ cercos } \varnothing 6 \text{ mm}$$

$$\text{espaciamiento} = \frac{100 \text{ cm}}{4} = 25 \text{ cm}$$

Como el espaciamiento por cálculo es mayor que el mínimo se toma este último. Por tanto se propone para todas las viguetas que los cercos se espacien a 25 cm.

Para colocar los cercos es necesario ubicar una barra de compresión en cada vigueta, para lo que se propone un diámetro de $\varnothing 9,5$ mm.

Chequeo por fisuración: Se debe comprobar que el momento que provoca la fisuración de la sección (M_{fis}) sea mayor que el momento actuante característico (M) para asegurar que la sección no está fisurada (Hernández C , 2010)(NC 207:2003). En la figura 10 se muestra la sección transversal de la vigueta, resultado del diseño por flexión y cortante.

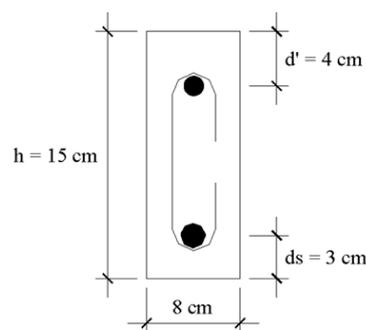


Figura 10. Sección transversal de la vigueta.



(12)

$$M_{fis} = \frac{f'_{ckf}}{V_2} \cdot I_h$$

$$f_{ckf} = 0,62\sqrt{f'_{ck}} = 0,62\sqrt{20 \text{ MPa}} = 2,77 \text{ MPa}$$

$$V_2 = \frac{S_h}{A_h} = \frac{1014,374 \text{ cm}^3}{142,41 \text{ cm}^2} = 7,123 \text{ cm}$$

$$S_h = \frac{bh^2}{2} + (n-1)A_s \cdot d_s + (n-1)A'_s \cdot (h-d')$$

$$S_h = 1014,374 \text{ cm}^3$$

$$A_h = bh + (n-1)A_s + (n-1)A'_s$$

$$A_h = 142,41 \text{ cm}^2$$

$$I_h = \frac{bh^3}{12} + bh\left(V_2 - \frac{h}{2}\right)^2 + (n-1)A_s(V_2 - d_s)^2 + (n-1)A'_s(h - d' - V_2)^2$$

$$I_h = \frac{8 \text{ cm} \cdot (15 \text{ cm})^3}{12} + 8 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm} \left(7,123 \text{ cm} - \frac{15 \text{ cm}}{2}\right)^2 + (9,3 - 1)1,99 \text{ cm}^2(7,123 \text{ cm} - 3 \text{ cm})^2 + (9,3 - 1)0,71 \text{ cm}^2(15 \text{ cm} - 4 \text{ cm} - 7,123 \text{ cm})^2$$

$$I_h = 2636,403 \text{ cm}^4$$

$$M_{fis} = \frac{0,277 \text{ kN/cm}^2}{7,123 \text{ cm}} \cdot 2636,403 \text{ cm}^4$$

$$M_{fis} = 102,52 \text{ kNcm} = 1,02 \text{ kNm}$$

$$3,28 \text{ kNm} > 1,02 \text{ kNm}$$

$$M \leq M_{fis}$$

Se comprueba que la sección está fisurada por lo que se verifica el estado límite de abertura de fisura. Se escoge dicho estado para condiciones ambientales no agresivas, considerando la combinación de las cargas permanentes y las temporales de larga duración y para armaduras normalmente sensibles a la corrosión (NC 207:2003).

Como $f_{yk} \geq 280 \text{ MPa}$ para el acero de refuerzo en tracción y la estructura no está expuesta a un medio muy agresivo, se debe reforzar la sección transversal de modo que el valor de C sea inferior a 15300 N/mm.

Viguetas 1 y 2: $C \leq 15300 \text{ N/mm}$



Donde: C: cantidad que limita la distribución del acero de refuerzo por flexión.

(13)

$$C = \sigma_a \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A_k}$$

$$\sigma_a = \frac{M}{A \cdot Z_f} = \frac{3,28 \text{ kNm}}{1,99 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 0,108 \text{ m}} = 152614,93 \text{ kN/m}^2 = 153 \text{ MPa}$$

$$C = 8019,47 \text{ N/mm} < 15300 \text{ N/mm}$$

Donde:

σ_a : tensión en el acero traccionado

M: momento característico

A: área de acero en tracción

Zf: brazo del par de fuerzas interiores.

Para vigas rectangulares con refuerzo a compresión: $z_f = 0,9h = 0,9 \cdot 12 \text{ mm} = 10,8 \text{ mm}$

Ak: área efectiva en tracción del hormigón.

(14)

$$A_k = \frac{2bd}{n\emptyset} = \frac{2 \cdot 8 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm}}{1 \text{ barra}} = 48 \text{ cm}^2 = 4800 \text{ mm}^2$$

Donde:

d: distancia del centro de gravedad de la armadura en tracción por flexión a la fibra extrema.

n \emptyset : cantidad de barras en tracción por flexión.

dc = 3 cm = 30 mm (espesor del recubrimiento de hormigón, medido desde la fibra extrema en tracción hasta el centro de las barras más cercanas a esa fibra)

Chequeo por deformación: La flecha límite para un sistema de entrepiso o azotea que soporta a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños por grandes deformaciones, es de L/240 (ININ, 2003) En la tabla 3 se ofrecen las flechas máximas de las viguetas y se comprueba que todas cumplen (Proyecto técnico 2017) (NC284:2003).

Tabla 3. Chequeo de deformación de las viguetas

Paño	Viguetas (m)	cantidad x losa	flecha(m)	Combinación	flecha límite (m)
1	3,20	8	0,0072	2	0,0130
2	3,20	6	0,0072	2	0,0130



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

3	2,20	6	0,0016	2	0,0092
4	2,10	8	0,001	2	0,0087
5	1,75	6	0,0006	2	0,0073
6	1,50	6	0,0003	2	0,0063
7	1,45	6	0,0004	2	0,0060

Análisis y diseño de esta variante por las normas ecuatorianas de construcción

Se analizará como una losa alivianada armada en una dirección, con un espesor de 15 cm, con loseta de compresión de 5 cm de espesor, con nervios de 8 cm de ancho cada 50 cm.

Cálculo de la altura mínima: La NEC establece la altura mínima del peralte de las losas armadas en una dirección

Tabla 4. Altura mínima de una losa cuando actúa en una dirección.

Miembros	Altura mínima h			
	Libremente apoyados	Con un extremo Continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Losas macizas en una dirección	L/20	L/24	L/28	L/10
Vigas o losas nervadas en una dirección	L/16	L/18.5	L/21	L/8

Fuente: (Romo, 2008)

$$h_{\min} = Ln / 18.5 = 3.00 / 18.5 = 16.21 \text{ cm}$$

$$h = 15 > h_{\min}$$

No cumple la condición NEC-SE-HM

En la figura 11 se representa el diseño estructural de la carpeta de compresión, luego de comprobarse la flexión, la fisuración y la deformación, así como, el diseño de las viguetas.

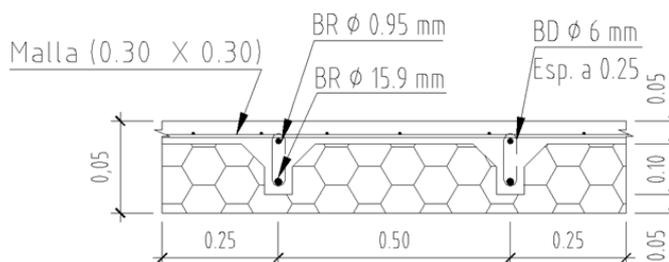


Figura 11. Diseño obtenido en la investigación



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Al comparar la variante integral empleada en obra y el diseño obtenido en la investigación), se demuestra que el espaciamiento del acero de distribución en las losas es superior al máximo permisible (45 cm) y al recomendable por área mínima (30 cm). Se corrobora el empleo de un espaciamiento de 30 cm para el acero principal. Es comprobada la seguridad estructural que ofrece el diseño de las viguetas, por el empleo de una barra de \varnothing 15,9 mm a tracción, con la posibilidad de aumentar el espaciamiento entre cercos, de 15 cm a 25 cm y de disminuir el diámetro del acero de compresión, de 12,7 mm a 9,5 mm. Se pudo comprobar que la estructura no cumple con los parámetros establecidos por las NEC en lo referente a su geometría.

Conclusiones

La realización de la presente investigación permitió arribar a las siguientes conclusiones:

Las modificaciones en la secuencia constructiva de la cubierta y el entrepiso resultan ventajosas por garantizar una mejor unión cerramento-vigueta-losa, evitar las juntas frías con el hormigonado integral de estos tres elementos y disminuir su tiempo de ejecución. El refuerzo principal de la carpeta de compresión absorbe las sollicitaciones de momento flector, pero se necesita disminuir el espaciamiento del acero de distribución de 60 cm (aplicado en obra) a 30 cm (resultado del diseño por cuantía mínima para barras lisas). Las losas reforzadas en obra pueden sufrir fisuras que sobrepasen los valores permisibles. Se corrobora el refuerzo empleado en obra de las viguetas y por tanto la seguridad estructural que ofrece. Es posible aumentar el espaciamiento de los cercos de 15 cm (empleado en obra) a 25 cm (resultado del diseño por cuantía mínima). Esta variante no cumple con los parámetros de las NEC.

Recomendaciones

Una vez concluido del desarrollo de la investigación, se proponen las siguientes recomendaciones:

Analizar por el Departamento de ingeniería de la empresa constructora la aplicación de esta variante así como su implementación en obras con las mismas características, tanto estructurales como geológicas.

Se recomienda un correcto curado de la losa para evitar fisuraciones debido a la retracción

Realizar estudios e investigaciones relacionadas con el poliestireno expandido y sus diversas aplicaciones en especial la LPECP, tomando en consideración las ventajas que aporta como su ligereza y rapidez en la ejecución, para su aplicación en el Ecuador pero se deben de tomar en cuenta otros elementos como las características sísmica del país y realizar las modificaciones necesarias en las dimensiones de la cajuela para la vigueta.



Conflictos de intereses

Los autores de la presente investigación declaran que no poseen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Roberto Carlos Parrales Baque, Gery Lorenzo Marcillo Merino.
2. Curación de datos: Roberto Carlos Parrales Baque, Gery Lorenzo Marcillo Merino.
3. Análisis formal: Roberto Carlos Parrales Baque, Gery Lorenzo Marcillo Merino.
4. Investigación: Roberto Carlos Parrales Baque, Gery Lorenzo Marcillo Merino.
5. Metodología: Roberto Carlos Parrales Baque, Gery Lorenzo Marcillo Merino.
6. Software: Roberto Carlos Parrales Baque, Gery Lorenzo Marcillo Merino.
7. Supervisión: Gery Lorenzo Marcillo Merino.
8. Validación: Gery Lorenzo Marcillo Merino.
9. Visualización: Roberto Carlos Parrales Baque.
10. Redacción – borrador original: Roberto Carlos Parrales Baque, Gery Lorenzo Marcillo Merino.
11. Redacción – revisión y edición: Roberto Carlos Parrales Baque, Gery Lorenzo Marcillo Merino.

Financiamiento

La investigación no requirió fuente de financiamiento externa, ha sido financiada por los autores.

Referencias

- Díaz Morfí, Manuel, Salgado Domenech, Juan Raúl. “Cubierta y entepiso de hormigón aligerados con poliestireno expandido”. Centro Técnico de la Vivienda y el Urbanismo. Ciudad de la Habana, 2009.
- Fanego Serrat, Selene. Poliestireno 2007. Grupo industrial PERDURIT.[pps]
- Guía Técnica EPS Poliestireno Expandido v06. [on line]. Disponible en:
http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_GUIA_TECNICA_EPS_Poliestireno_Expandido_v06_972d8feb.pdf [Consulta: 4 de diciembre 2012].
- Hernández Santana, Juan José; Bermúdez Machado, Mario y Broche Lorenzo, Jorge. Hormigón armado: Vigas de hormigón armado. Cuba: Universidad Central de las Villas. p(157-188).



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

- ININ/ Oficina Nacional de Normalización. Código de buenas prácticas para Obras de mampostería. NC 774: 2012. Ciudad de La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 2012. p(13-18).
- ININ/ Oficina Nacional de Normalización. Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción. NC 46:1999. Ciudad de La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999. p(6-24).
- ININ/ Oficina Nacional de Normalización. Edificaciones. Carga de uso. NC 284:2003. Ciudad de La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 2003. p(3-5).
- ININ/ Oficina Nacional de Normalización. Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón. NC 207:2003. Ciudad de La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 2003. p(141).
- Instituto Nacional de la Vivienda (INV), Centro Técnico de la Vivienda y Urbanismo (CTVU), MICONS. Manual para construir entresijos y cubiertas utilizando poliestireno expandido. Octubre 2007. 10p.
- Medina Torri, Francisco. Hormigón Estructural. t I. La Habana: Editorial Félix Varela, La Habana Cuba2005.
- NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción “Estructura de hormigón armado”NEC-SE-HM
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec>
- Orosco, Odalis. “Manual de aligeramiento de estructuras”, [on line]. 13 enero 2021. Mensaje electrónico a el autor.
- Poliestireno en la construcción. [on line]. Disponible en: <http://www.monografias.com>
[Consulta: 27 de noviembre2012]
- Proyecto Técnico Ejecutivo: Manzana 4. Reparto Villa Nueva. Objeto de Obra: Edificio 8 apartamentos. MININT.22/10/2017.
- Romo Proaño, Marcelo “Temas de Hormigón armado” <http://www.academia.edu>(2008) Escuela Politécnica del Ejercito, Ecuador

