

LOSAS ALIVIANADAS CON ENVASES DESCARTABLES

Jaramillo, Emilio^{a,b}

^aUniversidad Tecnológica Nacional (FRGP), jaramillo.emiliorodolfo@alumni.frgp.utn.edu.ar

^bUniversidad Autónoma "Juan Misael Saracho", ingemiliojaramillo@gmail.com

Palabras clave: hormigón, reciclaje, construcción

RESUMEN

La construcción de edificios indudablemente genera un impacto ambiental, ya sea para la fabricación de los materiales que la componen como en el medio en el cual se implantan.

Una forma usual de reducir la cantidad de material se puede ver en las losas alivianadas, éstas reducen su peso manteniendo características mecánicas similares, pero con menor cantidad de material; estos "alivianadores" cumplen correctamente su función, pero para poder reducir la cantidad de material (hormigón) es necesaria la fabricación de un tercero (bloques de poliestireno expandido, esferas de plástico, etc.). Nació de esta manera una iniciativa: utilizar envases descartables de bebidas para reducir el peso de las losas de hormigón y reutilizar un material que de otra manera sería basura.

Se presentarán los resultados alcanzados en el análisis de losas alivianadas con envases descartables, las conclusiones teóricas y una experiencia empírica en un caso real.

ABSTRACT

he construction of buildings undeniably generates an environmental impact, both in the production of the materials that compose them and in the environment where they are built. One common way to reduce the amount of material used can be seen in lightweight slabs; these slabs reduce their weight while maintaining similar mechanical properties but using less material. These "lighteners" effectively fulfill their function; however, in order to reduce the amount of material (concrete), it is necessary to manufacture an additional component (expanded polystyrene blocks, plastic spheres, etc.).

This led to an initiative: using discarded beverage containers to reduce the weight of concrete slabs while reusing a material that would otherwise become waste. This work presents the results obtained from the analysis of lightweight slabs incorporating disposable containers, the theoretical conclusions, and an empirical experience in a real case.

La propuesta desarrollada en este trabajo sigue el enfoque de reutiliza un elemento existente, originalmente concebido para otro propósito, adaptándolo para cumplir la función de alivianador. Esta decisión introduce nuevos desafíos geométricos y de modelación estructural, pero también incorpora una ventaja ambiental al permitir el reciclaje directo de envases PET, evitando procesos industriales intermedios.

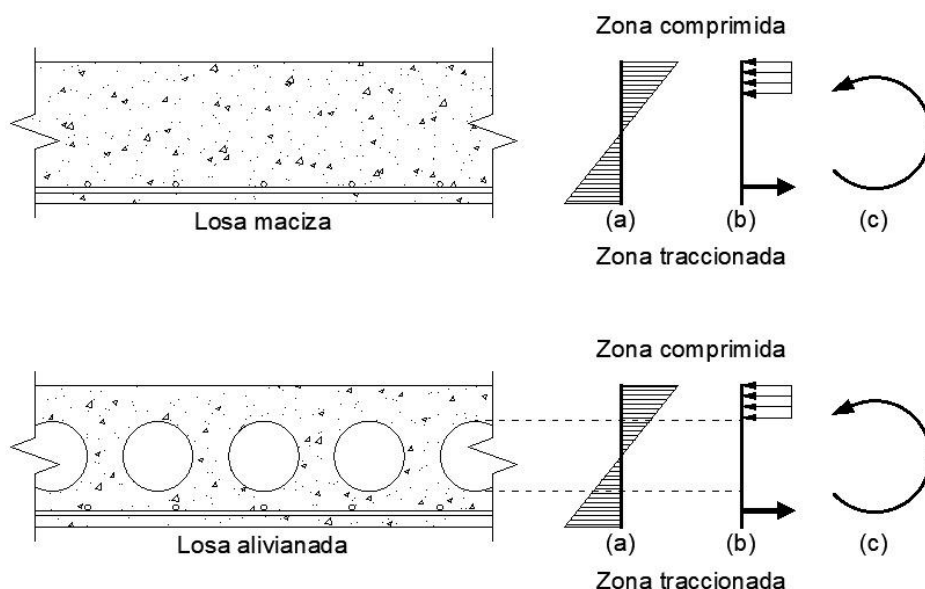


Figura 1. Flexión

Las soluciones comerciales disponibles comparten una filosofía común: el alivianador es diseñado específicamente para su función estructural. Se emplean geometrías regulares (cubos, esferas, discos o prismas) esta elección no es carichosa responde en pos de simplificar tanto el proceso constructivo como el cálculo estructural.



Figura 2. Sistema comercial de esferas



Figura 3. Sistema comercial de cubos

A diferencia de los alivianadores comerciales, cuya geometría suele ser simétrica, la forma semicilíndrica del elemento reutilizado genera un comportamiento ortótropo, con propiedades diferentes según la dirección analizada. Esta característica exige el desarrollo de una metodología específica para representar adecuadamente el comportamiento del sistema.

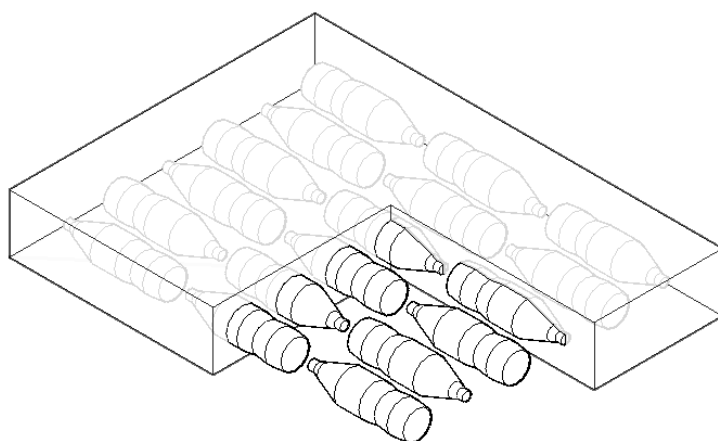


Figura 4. Esquema del sistema propuesto

Con el fin de simplificar la aplicación práctica del método, se adopta una geometría genérica representativa de los envases predominantes en el mercado. Asimismo, los elementos se disponen de manera que sus baricentros coincidan con el del prisma de hormigón del módulo de análisis, facilitando la determinación de las propiedades equivalentes. La separación mínima entre elementos se establece de modo que permita el correcto ingreso del vibrador durante el hormigonado.

Modelación estructural

La metodología desarrollada tiene como finalidad representar estructuralmente un elemento reutilizado cuya geometría no fue concebida originalmente para desempeñar funciones resistentes. Para ello se establece un procedimiento de modelación que permite transformar sus propiedades geométricas en propiedades equivalentes de un elemento de hormigón armado, posibilitando su incorporación a formulaciones clásicas en el análisis de placas. De esta manera, la innovación propuesta no consiste

en desarrollar una nueva teoría estructural, sino en generar un procedimiento capaz de integrar elementos de geometría arbitraria dentro de herramientas convencionales de cálculo.

Hipótesis.

- Se define una geometría genérica representativa del elemento reutilizado.
- Los baricentros del prisma de hormigón y del volumen sustraído deben coincidir.
- Todos los elementos mantienen una orientación uniforme dentro del paño estructural.
- La separación mínima entre elementos garantiza el correcto vibrado del hormigón.
- El espesor bruto de la losa debe ser compatible con las dimensiones del elemento y los recubrimientos estructurales.
- La ortotropía del sistema surge como consecuencia de la geometría del alivianador.

Caracterización geométrica

La geometría del elemento reutilizado presenta superficies curvas que dificultan la obtención analítica de sus propiedades geométricas. En consecuencia, se recurre a un modelo sólido tridimensional desarrollado en AutoCAD®, a partir del cual se obtienen directamente el volumen, la posición del baricentro y los momentos de inercia volumétricos respecto de los ejes principales. Estas propiedades constituyen la información de partida para la construcción del modelo equivalente.

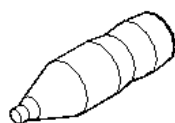


Figura 5. Modelo grafico 3D dela botella analizada

Construcción del módulo equivalente

El módulo resistente se representa mediante un prisma macizo de hormigón del cual se sustrae el volumen correspondiente al elemento reutilizado. En primer lugar, se determinan las propiedades geométricas del prisma y, posteriormente, se obtienen las propiedades equivalentes mediante la diferencia entre las propiedades del prisma y las del volumen sustraído.

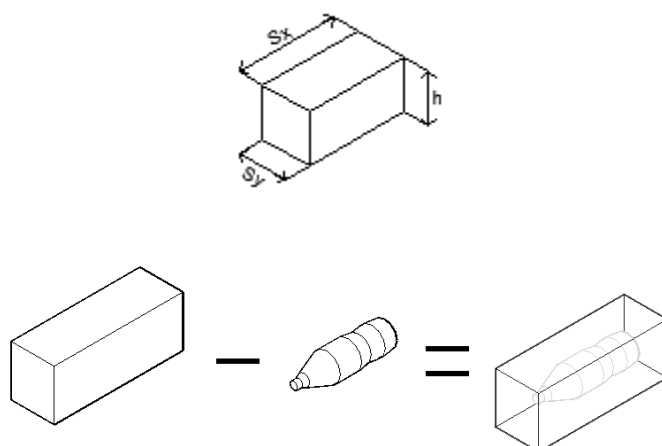


Figura 6. Interpretación grafica del modelo geométrico

Las propiedades equivalentes obtenidas representan el comportamiento geométrico del módulo alivianado y constituyen la base para el desarrollo del modelo estructural equivalente

Definición de la placa equivalente

Conocidas las propiedades geométricas equivalentes, se determina una placa maciza de igual dimensión en planta cuyo comportamiento flexional resulte equivalente al del módulo alivianado. Para ello se igualan los momentos de inercia del prisma equivalente con los de una placa de espesor desconocido, obteniéndose los espesores equivalentes en ambas direcciones principales

$$h_{ey} = \sqrt[3]{\frac{6 I_y}{S_x S_y} + \sqrt{\frac{36 I_y^2}{(S_x S_y)^2} + \frac{S_x^6}{27}}} + \sqrt[3]{\frac{6 I_y}{S_x S_y} - \sqrt{\frac{36 I_y^2}{(S_x S_y)^2} + \frac{S_x^6}{27}}} \quad (1)$$

$$h_{ex} = \sqrt[3]{\frac{6 I_x}{S_x S_y} + \sqrt{\frac{36 I_x^2}{(S_x S_y)^2} + \frac{S_y^6}{27}}} + \sqrt[3]{\frac{6 I_x}{S_x S_y} - \sqrt{\frac{36 I_x^2}{(S_x S_y)^2} + \frac{S_y^6}{27}}} \quad (2)$$

Donde:

h_{ey} : Espesor equivalente en la dirección y

h_{ex} : Espesor equivalente en la dirección x

I_x : Momento de inercia del prisma de hormigón alivianado respecto del eje x

I_y : Momento de inercia del prisma de hormigón alivianado respecto del eje y

Los espesores equivalentes permiten determinar las rigideces flexionales del sistema y construir la matriz constitutiva ortótropa empleada por el modelo estructural. Esta etapa establece el vínculo entre las propiedades geométricas equivalentes y el análisis estructural convencional.

Caso de estudio

El resultado de este análisis fue aplicado en un caso real, el cual corresponde a la construcción de una vivienda unifamiliar construida en el barrio Estancias de Domselaar, provincia de Buenos aires. La obra consiste en una construcción de hormigón armado de dos plantas en la cual la losa de la planta alta fue resuelta con el sistema de losas alivianada con botellas descartables.



Figura 7. Esque del caso presentado

Para este proyecto se utilizaron 320 botellas descartables de 1.5lts de capacidad, a tal efecto la losa tuvo un espesor bruto de 15cm.

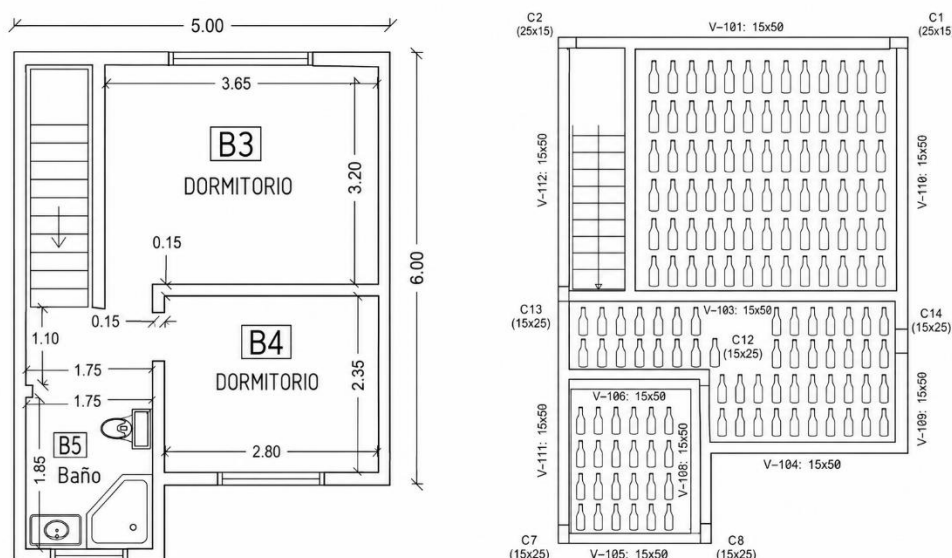


Figura 8. Esquema de la estructura

Para el cálculo estructural se utilizó un modelo plano del software CEDRUS V-3.02, si bien es un software utilizado mayormente en el cálculo de losas postensadas, su entorno permite el modelado de losas de hormigón armado, con la particularidad de que se pueden modelar losas ortótropas.

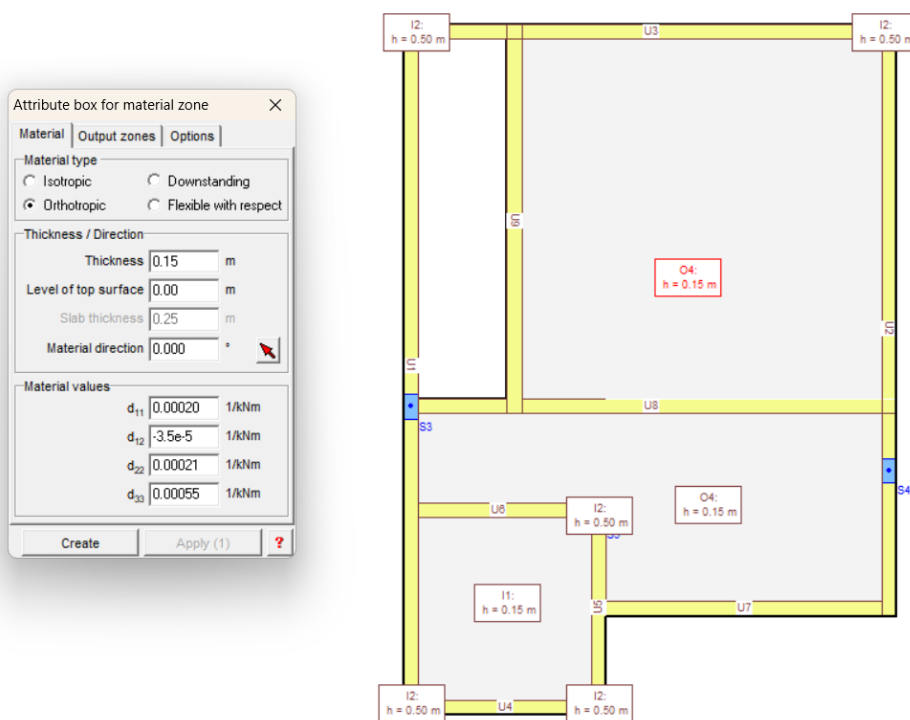


Figura 9. Modelo de cálculo de la losa

En este calculo la adición de las botellas trajo una reducción del peso del orden del 15%

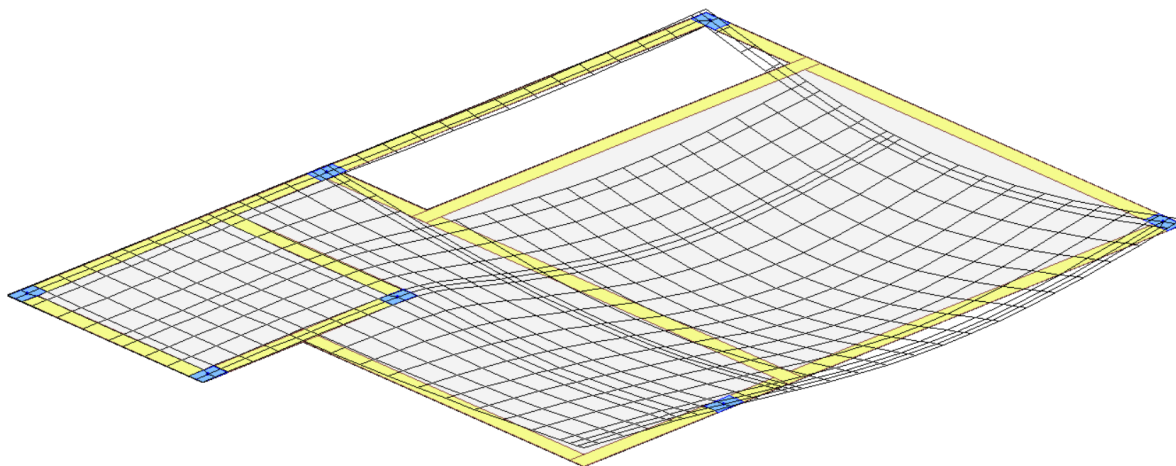


Figura 10. Losa deformada

Como una particularidad para esta obra se utilizaron botellas rellenas con bolsas de plástico, esto resulto ser un beneficio adicional puesto que no solo se reciclan las botellas sino también las bolsas. Esta situación confiere a las botellas una mejor trabajabilidad dado que de esta manera son más compactas.



Figura 11. Foto de losa antes de hormigonar



Figura 12. Foto de losa antes de hormigonar

Conclusiones

El documento presentado surge de la aplicación práctica del Trabajo Final Integrador y constituye, a su vez, la base para una futura Tesis de la Maestría en Ingeniería Estructural cursada en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Al finalizar este trabajo, se pudieron identificar dos grandes tópicos que permiten establecer conclusiones relevantes. En una primera parte se abordará el aporte ecológico de la propuesta estudiada; posteriormente, se describirán las particularidades asociadas al desarrollo matemático.

Aporte Ecológico:

Como se pudo ver en la primera parte del trabajo, el potencial beneficio ecológico es de gran magnitud con la adopción del método desarrollado. Si se deja de lado las particularidades geométricas con los problemas matemáticos derivados de éstos, se pone en evidencia que el emplear los envases descartables como elementos alivianadores en losas de hormigón sería un gran aporte en la gestión de residuos plásticos en grandes ciudades. En un principio, siguiendo la visión de los productos comerciales, se planteó utilizar botellas vacías con su tapa puesta, sin embargo, es posible incrementar el material a reciclar si se considera que los envases puedan ser llenados con bolsas de polietileno de baja densidad (bolsas de comercio) (ver la siguiente figura) Esta iniciativa, fomentada por la ONG Botella de Amor y apoyada por el Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires es una excelente idea que permite dos ventajas asociadas: por un lado, al llenar los envases éstos adquieren una compacidad mayor que al estar vacíos y permite mayor trabajabilidad en obra, mientras que otra ventaja es que del uso de botellas rellenas se consiente el reciclaje. Esto es así puesto que, se reciclan dos plásticos: por un lado se recicla el Polietileno Tereftalato (botellas PET) y el polietileno de baja densidad (bolsa PEBD) y con esto se estaría aportando una alternativa al reciclaje del 60% de los tipos de plásticos caracterizados por el CEAMSE (Alejandro Cittadino, 2020)



Figura 13. Botellas de Amor.

Particularidades del análisis según placas planas

Evidentemente, la diferencia respecto de los productos existentes en el mercado actual radica principalmente en la forma. Mientras las soluciones comerciales optan por elementos con simetría respecto de, al menos, los ejes (x) e (y), los envases descartables carecen de esta propiedad, lo cual introduce una complicación adicional que no se encuentra contemplada en dichas soluciones y para la cual se propone un procedimiento específico.

Del análisis realizado se concluye que el camino más conveniente consiste en adoptar una solución basada en el concepto de “espesor equivalente”. Sin embargo, debido a la geometría de los envases, resulta imposible obtener un único espesor equivalente que reproduzca adecuadamente las características mecánicas de la losa en ambas direcciones. Por este motivo, se determinan espesores equivalentes independientes para las direcciones (x) e (y), a partir de los cuales se obtienen los coeficientes de rigidez correspondientes a cada una de ellas.

La excepción corresponde al coeficiente (D33) de la matriz de rigidez, asociado a la respuesta torsional de la placa. Dado que este término vincula el momento torsor con la curvatura de torsión y, por lo tanto, no puede atribuirse exclusivamente al comportamiento en una única dirección, se propone para su determinación la utilización de un espesor equivalente promedio entre ambas direcciones. De este modo, los restantes coeficientes conservan las propiedades derivadas del espesor equivalente correspondiente a cada dirección, mientras que únicamente (D33) se obtiene a partir del espesor promedio.