



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Análisis del esfuerzo por flexión en losa aligerada convencional y con la adición de botellas recicladas PET para viviendas unifamiliares,

Lima - 2021

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Valladares Torres, Cesar Francisco (ORCID: [0000-0001-5505-8590](https://orcid.org/0000-0001-5505-8590))

**ASESOR:**

Mg. Villegas Martinez, Carlos Alberto (ORCID: [0000-0002-4926-8556](https://orcid.org/0000-0002-4926-8556))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

A mis padres Elmer y Eliana, quienes con su esfuerzo, cariño y enseñanzas han sido los principales responsables del poder llegar hoy a alcanzar el sueño de ser profesional.

A la memoria de mi tío Martin, quien en vida me animo y me inculcó en este campo de estudios, siendo mi más grande mentor y ejemplo. Las obras que no pudiste hacer en vida las haré con tu guía desde el cielo.

A la memoria de mi abuela Bertha, quien en vida me dio todo su cariño y respaldo ante todos los problemas que pude tener, la vida no le alcanzo para poder verme formado como profesional, pero sé que desde el cielo hoy está orgullosa de mí.

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer a mi familia por haber sido siempre mi mas grande apoyo durante los difíciles años de la carrera. Agradecer a mis hermanas Ariana y Xiomara, que con sus risas y ocurrencias me animaban y me sacaban una sonrisa cuando más lo necesitaba.

Darle un agradecimiento especial a mi novia Pamela, quien con su apoyo moral y sentimental me dio las fuerzas para no rendirme y seguir en las largas noches de desvelo para lograr este objetivo.

Y para finalizar, un agradecimiento sincero a mi asesor el Mg, Carlos Villegas quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y asesoramiento constante permitió el desarrollo de esta tesis.

## Índice de contenidos

|   |     |
|---|-----|
| Carátula.....   | i   |
| Dedicatoria.....  | ii  |
| Agradecimiento.....   | iii |
| Índice de contenidos.....   | iv  |
| Índice de tablas.....   | v   |
| Índice de figuras.....  | vii |
| Resumen.....  | ix  |
| Abstract.....   | x   |
| I. INTRODUCCIÓN   | 1   |
| II. MARCO TEÓRICO   | 6   |
| III. METODOLOGÍA  | 27  |
| 3.1. Tipo y diseño de la investigación  | 27  |
| 3.2. Operacionalización de las variables                                      | 27  |
| 3.3. Población y muestra  | 27  |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad | 28  |
| 3.5. Procedimientos   | 29  |
| 3.6. Método de análisis de datos  | 30  |
| 3.7. Aspectos éticos  | 30  |
| IV. RESULTADOS  | 32  |
| V. DISCUSIÓN  | 63  |
| IV. CONCLUSIONES  | 70  |
| IV. RECOMENDACIONES   | 72  |
| REFERENCIAS   | 73  |
| ANEXOS  | 81  |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Propiedades físicas y mecánicas de PET.....   | 12 |
| Tabla 2. Tipos de cemento Portland Tipo de cemento y sus características.....  | 14 |
| Tabla 3. Espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones, ACI 318S-14.....                                       | 17 |
| Tabla 4. Deflexión máxima admisible calculada, ACI 318S-14.....  | 17 |
| Tabla 5. Espesores mínimos de losas sin vigas interiores*, ACI 318S-14.....  | 21 |
| Tabla 6. Dimensiones de Losas Bubble Deck.....   | 24 |
| Tabla 7. Propiedades del material Bubble Deck.....   | 25 |
| Tabla 8. Factor de modificación $\lambda$ . .....  | 46 |
| Tabla 9. Resultados totales del modelado matemático de la losa patrón.. .....  | 51 |
| Tabla 10. Deflexiones obtenidas por el deformímetro en el primer ensayo de la maqueta de losa convencional.....  | 53 |
| Tabla 11. Deflexiones obtenidas por el deformímetro en el segundo ensayo de la maqueta de losa convencional.....   | 54 |
| Tabla 12. Deflexiones obtenidas con el deformímetro en el primer ensayo de la maqueta de losa aligerada con botellas PET.....  | 57 |
| Tabla 13. Deflexiones obtenidas con el deformímetro en el segundo ensayo de la maqueta de losa aligerada con botellas PET.....   | 57 |
| Tabla 14. Costo referencial para la elaboración de losa aligerada convencional (Precio sin IGV, actualizados al mes de octubre de 2021 basados en la revista Costos).....                | 60 |
| Tabla 15. Costo referencial para la elaboración de losa aligerada con botellas recicladas PET (Precio sin IGV, actualizados al mes de octubre de 2021 basados en la revista Costos)..... | 62 |
| Tabla 16. Resultados de deflexiones del modelo practico de la losa nervada.....  | 63 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 17. Resultados de deflexiones del modelo practico de la losa aligerada con pelotas plásticas.....   | 63 |
| Tabla 18. Consolidado de los resultados obtenidos en los ensayos de carga de las maquetas de losa convencional.....   | 64 |
| Tabla 19. Consolidado de los resultados obtenidos en los ensayos de carga de las maquetas de losa aligerada con botellas recicladas PET. ....                                 | 64 |
| Tabla 20: Porcentaje de aumento del peso propio en ambos tipos de losas experimentales (Nervada y con pelotas plásticas). ....  | 65 |
| Tabla 21. Porcentaje de aumento del peso propio en ambos tipos de losas criticas evaluadas en la investigación (con ladrillo de techo y con botellas plásticas PET).....      | 66 |
| Tabla 22. Porcentaje de aumento del peso propio en ambos tipos de maquetas de losas propuestas en la investigación (con ladrillo de techo y con botellas plásticas PET). .... | 66 |
| Tabla 23. Cuadro comparativo entre el costo por m2 de una losa aligerada en dos direcciones y una losa maciza. ....   | 67 |
| Tabla 24. Cuadro comparativo del costo referencial de losa aligerada convencional y losa aligerada con botellas recicladas PET. ....  | 67 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Losas planas.....   | 20 |
| Figura 2. Losas desde 15 cm hasta 28 cm. con discos.....  | 22 |
| Figura 3. Losas desde 28 cm hasta 42 cm.....  | 22 |
| Figura 4. Componentes de la losa Bubble Deck.....   | 24 |
| Figura 5. Vista de la fachada frontal en elevación. ....  | 32 |
| Figura 6. Distribución de las columnas y el tablero crítico a analizar.....   | 33 |
| Figura 7. Tablero crítico a calcular. ....  | 34 |
| Figura 8. Detalle de pared. ....  | 35 |
| Figura 9. Detalle de corte de losa aligerada. ....  | 35 |
| Figura 10. Detalle de losa bidireccional por m2. ....   | 36 |
| Figura 11. Mosaico de tablero a analizar. ....  | 37 |
| Figura 12. División de franjas en la dirección larga. ....  | 39 |
| Figura 13. División de franjas en la dirección corta. ....  | 42 |
| Figura 14. Armado de acero del tablero analizado. ....  | 44 |
| Figura 15. Armado de losa aligerada. ....   | 45 |
| Figura 16. Distribución de momentos en dirección larga. ....  | 46 |
| Figura 17. Detalle del perímetro cortante para punzonamiento. ....  | 51 |
| Figura 18. Detalle del perímetro cortante para punzonamiento. ....  | 51 |
| Figura 19. Detalle de armado de maqueta de losa aligerada bidireccional convencional.....   | 52 |
| Figura 20. Proceso de ensayo de flexión con gata hidráulica y deformímetro para la toma de las deflexiones en maqueta de losa aligerada convencional..... | 53 |
| Figura 21. Gráfico de Deformación vs Carga para las maquetas de losa aligeradas convencionales. ....  | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 22. Detalle de armado de maqueta de losa aligerada bidireccional con botellas recicladas PET. ....   | 56 |
| Figura 23. Proceso de ensayo de flexión con gata hidráulica y deformímetro para la toma de las deflexiones en maqueta de losa aligerada con botellas recicladas PET. .... | 56 |
| Figura 24. Gráfico de Deformación vs Carga para las maquetas de losa aligeradas con botellas recicladas PET. ....   | 58 |
| Figura 25. Detalle de armado de losa critica aligerada bidireccional convencional de ladrillo de techo. ....  | 60 |
| Figura 26. Detalle de armado de losa critica aligerada bidireccional con botellas recicladas PET. ....  | 61 |
| Figura 27. Cuadro comparativo de los costos de los tipos de losas propuestas.....   | 68 |

## Resumen

La presente tesis de titulación tiene como objetivo analizar el esfuerzo por flexión en una losa aligerada convencional y con la adición de botellas recicladas PET como aligerante para viviendas unifamiliares. Al ser una investigación de carácter aplicado y cuasiexperimental se realizaron dos análisis, siendo el primero de estos el predimensionamiento, cálculo y análisis matemático de la losa patrón de la vivienda propuesta bajo la normativa ACI 318S-14 y el Reglamento Nacional de Edificaciones (2021); continuando con el análisis práctico-experimental de 04 maquetas de losa (aligerada convencional y con botellas recicladas PET), las cuales fueron sometidas a carga central distribuida en la longitud del ancho de la losa, como una viga simplemente apoyada. En la zona central de la carga distribuida se colocó un deformímetro para medir las deformaciones.

Los resultados obtenidos respecto a la deformación, para una carga de 8486 Kgf en ambas maquetas fueron de 8.24 mm para la losa aligerada PET y de 8.83 mm para la losa aligerada convencional; por lo cual podemos concluir que la losa aligerada PET presenta una menor deformación que la losa convencional. El resultado de los pesos de ambos tipos de losas observamos que la losa crítica convencional analizada tiene un peso menor en comparación la losa aligerada con botellas recicladas PET, siendo los pesos 5868 kg y 6159.21 kg teniendo una diferencia de 291.21 kg el cual significa un incremento del 4.963%, concluyendo que este tipo de aligerante reciclado no disminuye el peso propio de la losa. En lo referido a la viabilidad económica, la losa convencional tiene un costo referencial de S/. 2372.76; y la losa aligerada con botellas recicladas PET tiene un costo estimado de S/. 2189.77 denotándose una diferencia de S/ 182.99. Concluyendo que construir losas aligeradas con botellas recicladas PET como aligerante genera una reducción en el costo, para este caso planteado, de 7.712%.

**Palabras Clave:** Esfuerzo, flexión, deformación, losa aligerada y PET.

## **Abstract**

The objective of this degree thesis is to analyze the bending stress in a conventional lightened slab and with the addition of recycled PET bottles as lightener for single-family homes. As it is an applied and quasi-experimental investigation, two analyzes were carried out, the first of these being the predimensioning, calculation and mathematical analysis of the standard slab of the house proposed under the ACI 318S-14 regulations and the National Building Regulations (2021) ; continuing with the practical-experimental analysis of 04 slab models (conventional lightened and with recycled PET bottles), which were subjected to a central load distributed over the length of the slab width, as a simply supported beam. A strain gauge was placed in the central area of the distributed load to measure the deformations.

The results obtained regarding deformation, for a load of 8486 Kgf in both models were 8.24 mm for the PET lightened slab and 8.83 mm for the conventional lightened slab; Therefore, we can conclude that the PET lightened slab has less deformation than the conventional slab. The result of the weights of both types of slabs, we observe that the analyzed conventional critical slab has a lower weight compared to the slab lightened with recycled PET bottles, being the weights 5868 kg and 6159.21 kg having a difference of 291.21 kg which means an increase of 4,963%, concluding that this type of recycled lightener does not reduce the slab's own weight. Regarding economic viability, the conventional slab has a referential cost of S/. 2372.76; and the slab lightened with recycled PET bottles has an estimated cost of S/. 2189.77, denoting a difference of S/. 182.99. Concluding that building lightened slabs with recycled PET bottles as lightening generates a reduction in cost, for this case, of 7,712%.

**Keywords:** Stress, flexion, deformation, lightened slab and PET.

## I. INTRODUCCIÓN

En lo que es referente al uso del material reciclado en la construcción, se llegó a conocer que los existen distintos métodos para poder aprovechar y reutilizar el plástico desechado. En estudios realizados en la actualidad sobre el plástico reciclado de botellas se denotó una favorable relación como un aditivo para el hormigón. En un artículo de investigación realizado por los japoneses Yoshinori, y Yusuke, Uchida dieron a conocer las propiedades físicas básicas del concreto multifuncional aligerado con botellas PET, al realizarse este tipo de aligeramiento se obtuvo que una reducción considerable del peso a diferencia de los paneles de hormigón armado. En Chile, se ideó un novedoso sistema constructivo de losas aligeradas, el cual tuvo como creadores a los arquitectos Ricardo y Luciana Levinton, jefes de la constructora Prenova, ellos propusieron la construcción de losas de concreto armado con ausencia de vigas, aligeradas con esferas o discos hechos de plásticos recicladas, siendo esto novedoso y amigable con el medio ambiente.

En el ámbito nacional, se realizaron estudios en Piura, donde se planteó estudiar y hallar las propiedades mecánicas de las botellas PET rellenas con arena para ser utilizadas en la construcción de muros portantes, se determinó que el predimensionamiento de la estructura y su viabilidad económica, eran óptimas y eficientes. A su vez en la ciudad de Puno se realizó un estudio de carácter experimental de lo que resultaría de la reutilización de los filamentos de botella PET utilizándolas como una de las propiedades del concreto normal añadidas de manera porcentual, el cual se comparó con el concreto convencional (sin fibra PET). Se estudió el asentamiento, la resistencia a la compresión y a la flexión y densidad seca del concreto; del cual se obtuvo mejoras en el asentamiento aminora, una adecuada trabajabilidad y consistencia plástica, a su vez altas resistencias en las propiedades mecánicas del concreto. Por ultimo en la ciudad de Trujillo, se realizó un estudio para establecer cuál es la influencia de las fibras de polipropileno en la micro fisuración por fatiga del concreto fabricado con relación agua-cemento 0.40 y 0.50 y cemento portland MS,

esto permitió apreciar que la resistencia del concreto a la fatiga se incrementó, y en lo que concierne a un concreto con relación agua-cemento 0.50 a los 28 días de curación, la cantidad de ciclos hasta lograr la fisuración incremento en un 29.40% en comparación al mismo concreto pero sin fibras de polipropileno.

En el ámbito local, en la ciudad de Lima se realizó una investigación de un novedoso diseño de mezcla de concreto con la adición efectiva de fibras PET, producido netamente de material reciclado el cual mejoro las propiedades ya conocidas del hormigón en la construcción de losas ya que se logró la reducción de la resistencia a compresión y del asentamiento, en las pruebas realizadas a tracción por compresión diametral no se tuvo evidencia ningún tipo de influencia; mientras que por otro lado en el ensayo a flexión se ve una optimización en la resistencia, Por último, al agregar el aditivo plastificante Visco Crete se observó una mejoría en el asentamiento de los distintos diseños, potenciando sus propiedades físicas como son la resistencia a compresión, flexión y tracción por compresión diametral.

Acorde a la realidad de la población limeña, aproximadamente el 74.3% de casas en Lima Metropolitana están techadas a través del sistema de concreto armado, luego un 19.2% se encuentra techada por medio de planchas de calamina, fibrocemento o alguna de sus variantes, por último, tenemos que los techos de madera comprenden el 3.3% y un 3.2% de otros materiales menos eficientes (tejas, triplay, esteras, paja, etc.). Cómo se observa, más de la cuarta parte de las viviendas (25.7%) no poseen techo que proteja a sus habitantes de la lluvia y el frío los cuales afectan de gran manera a la. Según el informe del año 2018 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, existe una carencia de más de 1600000 familias que no cuentan con un techo propia y con condiciones básicas para vivir.

De los anteriormente mencionado se puede indicar que los elementos estructurales de concreto armado, para esta investigación específicamente las losas aligeradas, tienen un peso elevado, esto debido a diversos factores como la anticuada construcción convencional, con poca eficiencia

estructural y poca rentabilidad, lo cual puede ocasionar fallas en las losas por flexión, ocasionando rajaduras, asentamientos, y a su vez un alto coste constructivo por un diseño poco óptimo. Ante esta problemática se planteó la presente investigación reciclando botellas plásticas PET, la cual nos servirá como aligerante para la losa, reduciendo el peso de esta y el costo constructivo; a su vez colaborando en el cuidado del medio ambiente. De esta manera se planteó el siguiente problema general: ¿En qué medida influirá la adición de botellas recicladas PET en el esfuerzo por flexión de losas aligeradas para viviendas unifamiliares, Lima – 2021? Así también los problemas específicos: ¿Cuáles son las características de la deflexión generada por cargas en las losas aligeradas con la adición de botellas recicladas PET y en las losas aligeradas convencionales?, ¿Cuánto varía el peso de la losa aligerada con botellas PET recicladas en comparación con una losa aligerada convencional?, ¿Qué tan viable presupuestalmente será la construcción de una losa aligerada con botellas de plástico PET recicladas para una vivienda unifamiliar?

#### **Justificación de la investigación:**

- **Justificación teórica:** La aportación de teorías para establecer un proceso constructivo novedoso, viable y sustentable; a su vez se compararán estas teorías experimentales propuestas, con las teorías constructivas de losas convencionales, las cuales están descritas en las normativas del Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E.), y la norma para concreto estructural ACI-318S-14.
- **Justificación práctica:** Este proyecto de investigación busca evaluar un método constructivo que logre aliviar el peso de las losas, de una manera sustentable, rentable y beneficiosa para la comunidad y el medio ambiente.
- **Justificación económica:** Es importante porque debido a la reducción del coste constructivo que propone el proyecto, las personas podrán acceder a este sistema que es más rentable, ya

que por los elevados costos no todos optan por una correcta construcción de losas.

- **Justificación social:** Este proyecto tiene como incentivo beneficiar a las poblaciones más vulnerables de la localidad de Lima, ofreciéndoles una calidad de vivienda más adecuada y eludiendo los elevados presupuestos en la construcción de losas aligeradas.
- **Justificación metodológica:** Esta investigación es importante del punto de vista instructivo, como guía para crear un inédito instrumento de recolección de datos, mediante el cual se obtendrá datos referidos a la resistencia por flexión de losas aligeradas con botellas recicladas PET.
- **Justificación ambiental:** Fomentar el reciclado de materiales plásticos en la industria de la construcción, por la razón de que estos materiales son altamente aprovechables y beneficiosos para el sector.

## **Objetivos**

**Objetivo general:** Analizar la influencia de la adición de botellas recicladas PET en el esfuerzo por flexión de losas aligeradas para viviendas unifamiliares, Lima – 2021. De la misma manera se presentan los

**objetivos específicos:** Analizar la deflexión generada por las cargas en las losas aligeradas con la adición de botellas recicladas PET y ladrillos de techo convencional. Determinar los esfuerzos a la flexión de las losas con botellas PET y de una losa aligerada convencional. Evaluar la viabilidad presupuestal de la construcción de una losa aligerada con botellas de plástico PET recicladas para una vivienda unifamiliar.

## **Hipótesis**

**Hipótesis general:** La adición de botellas recicladas PET influirá significativamente en el esfuerzo por flexión de losas aligeradas para viviendas unifamiliares, Lima – 2021. Asimismo, las **hipótesis específicas:** Las características de la deflexión generada por cargas en las losas

aligeradas con la adición de botellas recicladas PET son óptimas y admisibles en comparación a las losas convencionales. El peso de la losa aligerada con botellas PET recicladas es menor en comparación con una losa aligerada convencional. Es viable presupuestalmente la construcción de una losa aligerada con botellas de plástico PET recicladas para una vivienda unifamiliar.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES

A nivel internacional.

En lo concerniente a los antecedentes internacionales tenemos a Basantes (2016), tuvo como **objetivo** principal el poder precisar la eficiencia estructural, de una la losa nervada y una losa aligerada con esferas de plástico, la **metodología** que se utiliza para realizar este proyecto será de carácter experimental. Se realizaron dos muestras escaladas; una de estas representaciones era la de una losa nervada y otra la de una losa alivianada con pelotas de plástico, para estas dos muestras se utilizó como **instrumento** de medición el deformímetro, poniendo cargas de pesos determinado y en igual cantidad a ambas. Se obtuvo como **resultados** que las dos tienen un acabado estructural eficiente y se obtuvo como producto del análisis práctico en donde se aplicó igual cantidad de carga, se denota que la losa aligerada con pelotas de plástico soporto una reducida deflexión si comparamos con el de la losa nervada, ya que se obtuvieron deflexiones de 1.0 cm a 1.2 cm correspondientemente, por tanto podemos **concluir** que de cierta manera estos no logran a ser valores acercados a la realidad, pero se denota una diferencia de 0.2 cm de deflexión favorable para la losa con pelotas de plástico.

Artículos científicos internacionales en otros idiomas.

Continuando con Kitsutaka y Uchida (2012), tuvo como **objetivo** investigar las propiedades físicas básicas del concreto multifuncional alivianado utilizando botellas PET. La **metodología** que se uso fue la de observar experimentalmente un método que haga posible la colocación de hormigón con botellas de PET incrustadas. Los **instrumentos** empleados fueron experimentales, las botellas de PET fueron fijadas al molde, por tanto, las tapas resistirían el impacto y la presión durante la colocación del hormigón generando un acabado sin deformación, confirmando así la capacidad de llenado del hormigón. Los **resultados** fueron que la reducción de peso, de las botellas de PET con paneles de hormigón armado, tuvo como resultado

un 16%. A su vez las propiedades de resistencia de las botellas de PET de incrustación relacionadas a las muestras de hormigón y la resistencia a la compresión de estas botellas de inclusión de muestra con los intervalos inferiores de tamaño entre botellas fue del 55% de la muestra de hormigón sólido.

Siguiendo con Šál y Nováková (2019), tiene como **objetivo** evaluar si los bloques de concreto pueden realizarse sin equipo especializado. Esto puede resultar beneficioso, por ejemplo, en barrios marginales o áreas que no es posible obtener con facilidad una vivienda económica. La **metodología** usada para esta investigación fue aplicada, la producción de estos bloques de cavidades, también llamados bloques de mampostería de hormigón, se proponen distintos métodos para emplear botellas de PET para formar cavidades en bloques de hormigón. Las botellas de PET pueden salvar parte del concreto y originar una cavidad de aire cerrada que optimiza las propiedades térmicas del bloque. Se tuvo como **resultado** que estos bloques se puedan hacer incluso con materiales simples y sin equipo especializado. Se **concluye** que estos procesos y equipos resultan ser sencillos no pueden alcanzar la misma calidad para cada lote o mezcla, pero para la construcción de casas simples, mayormente en zonas de bajos recursos, es suficiente.

Siguiendo con Sagadevan y Rao (2019), tiene como **objetivo** denotar que el sistema de losas de núcleo hueco bidireccional (losa biaxial hueca) es un procedimiento de losas innovador, que se está adaptando en todo el mundo como una alternativa a la losa sólida normalmente conocida, este procedimiento reduce el peso propio hasta en un 50% en comparación con las losas macizas sin presentar un cambio o variación significativa en el rendimiento estructural. La **instrumentación** usada fue que las cargas aplicadas, las desviaciones y la tensión en los refuerzos y la superficie del concreto se cuantificaron a través de los instrumentos requeridos. Se utilizaron celdas de carga con un rendimiento de 1000 kN para medir las cargas aplicadas. Las muestras de losas vacías se prepararon y fueron llevadas a prueba con dos formas diferentes de huecos, es decir, esfera y

cuboides, las cuales estaban hechas de polipropileno reciclado. La **metodología** que se usó realiza un estudio analítico apoyándose en el análisis de la línea de rendimiento unido a los estándares indios (IS). Al comparar los estudios experimentales y analíticos dio como **resultado** que la capacidad de carga máxima de las losas canceladas era mayor o similar a la de las losas sólidas. Entonces se estableció que el rendimiento de la losa anulada se puede cuantificar mediante el análisis de la línea de rendimiento. La rigidez a la flexión de la muestra vaciada es de aproximadamente un 50% menor si lo comparamos con la losa sólida de idénticas dimensiones y refuerzo en la etapa de fluencia. La disminución de la rigidez a la flexión se deriva principalmente a la presencia de un formador de espacio y la relación de espacio máximo en una sección. Esto por tanto define la rigidez a la flexión del núcleo hueco. Sin embargo, la deserción es inferior al límite de servicio, de ambas muestras, para el 75% de la carga final. En última instancia, se **concluye** que el comportamiento de las losas anuladas bajo flexión unidireccional puede resultar predecible mediante disposiciones de las normas indias (IS) teniendo en cuenta la corrección necesaria para la pérdida de la sección transversal ocasionada por los huecos.

Por su parte, Sugyu; Kinam; Yeongmo y Kyusan (2018), presenta los resultados de investigaciones tanto de la manera analítica como experimental con el **objetivo** de saber la capacidad de flexión de losas de hormigón armado (RC) adheridas en flexión con una matriz de cemento reforzado con tela de basalto (FRCM). Se hicieron un total de 13 muestras para examinar el resultado a la flexión de las losas RC reforzadas con composite FRCM de basalto. La **metodología** fue analizar bajo una carga de cuatro puntos, el tipo de fibra, la relación de refuerzo a la tracción y el número de capas de tela, por medio de eso se establecieron variables experimentales. Los **resultados** dieron que la carga máxima de muestras reforzadas con FRCM aumentó de 11.2% a 98.2% si lo comparamos con las muestras de referencia. Teniendo como conclusión que la relación entre la energía y la ductilidad de las muestras reforzadas con FRCM se redujeron con la mayor cantidad de tela y refuerzo de tracción.

A nivel nacional.

Desde otro punto de vista, Reyes (2018), tuvo como **objetivo** el obtener un novedoso diseño de mezcla de concreto con la adición efectiva de fibras de polietileno tereftalato producido netamente de material reciclado por la razón de producir una mejora a las propiedades ya conocidas del hormigón, se tuvo una **metodología** cuantitativa y el nivel de estudio fue de carácter experimental, descriptivo y correlacional. Se siguieron por estudiar 7 muestras de diseños de mezclas, el diseño base que vino hacer la muestra, los 3 siguientes resultaron con distintos porcentajes de PET reciclado siendo estos, 0,5%; 1%; 1,5% contra al peso del cemento y los 3 restantes diseños brindaron similares porcentajes de PET reciclado, agregándose un 0,7% de aditivo plastificante Visco Crete 1110. Finalmente se prefirió por agregar la graduación del PET como resultado de la reutilización en forma de fibras de 0,5% a 1,5% para luego **obtener** la reducción de la resistencia a compresión y del asentamiento, por otro lado, en el ensayo a flexión se ve una optimización en la resistencia, incrementándose en un 5% en comparación a los resultados del diseño convencional. **Concluyéndose** que al agregar el aditivo plastificante Visco Crete se denota una mejoría en el asentamiento de los distintos diseños, potenciando de esta manera sus distintas propiedades mecánicas.

En contraste, Huaman y Pintado (2018), planteo como **objetivo** primario de la investigación buscar estudiar y hallar las propiedades mecánicas de las botellas PET rellenas con arena, empleándose la **metodología** científica de observación, por ser esta una investigación de carácter experimental. Se usaron como **instrumentos** los formatos de ensayos de laboratorio y cálculos técnicos. Se obtuvo como **resultado** la determinación del predimensionamiento de la estructura, el metrado de cargas, teniendo como consideración la clase de material que se usó, la rigidez de muros portantes de botellas plásticas recicladas admitidas para el proyecto, el centro de gravedad y de rigidez, luego se estimó la viabilidad económica de la construcción de una vivienda con muros portantes de botellas plásticas recicladas, para esto se evaluó 1m<sup>2</sup> del muro portante propuesto, se

especificó su precio y se cotejo con 1 m<sup>2</sup> de un muro portante tradicional, teniendo como **conclusión** que es un 67.61% más rentable edificar muros con botellas plásticas recicladas, tomando en cuenta adicionalmente la beneficencia al medio ambiente con la elaboración del proyecto, porque permitiría reutilizar alrededor de 4,000 botellas plásticas.

Concordando con Quenta (2019), tomo como **objetivo** principal realizar un estudio de carácter experimental de lo que resultaría el reciclado de las fibras de botella PET utilizándolas como una de las propiedades mecánicas del concreto simple, y estas fibras serían obtenidas mediante un reciclado mecánico. La **metodología** usada fue experimental. Los **resultados** muestran que el asentamiento aminora, refiriéndose al concreto con fibras de 4% de PET se logra una idónea trabajabilidad y consistencia plástica. El concreto con 2% de PET consigue su una optima resistencia a la compresión alcanzando un crecimiento de 2.6% y el concreto con 4% de PET se reduce en 6.3%, pero, a su vez logra una resistencia mayor a 210 kg/cm<sup>2</sup>. La flexo resistencia para el concreto con 4% de adición de fibras de PET incrementa a 24%. La densidad seca se reduce a rangos inferiores de la mezcla del concreto normal. En **conclusión**, podemos agregar hasta 4% de fibras de PET para obtener una resistencia y trabajabilidad apropiada del concreto.

Tomando en cuenta a Solano (2017) tuvo como **fin** principal el comparar el análisis y el diseño de las losas aligeradas en dos direcciones y las losas macizas en construcciones de 5 niveles. La **metodología**, de acuerdo con la naturaleza del estudio, fue aplicada, de nivel descriptivo, comparativo y explicativo. Todos los datos fueron obtenidos por medio de fuentes documentales y algunos registros. Por otro lado, los **instrumentos** que se usaron fueron las normativas dadas por el R.N.E., en sus respectivos lineamientos para el diseño. Como **resultado** se concluyó que la losa maciza tiene una mejor resistencia a la flexión en comparación a la resistencia de una losa aligerada bidireccional con esfuerzos de 6720.84 Kg-m y 2332.71 Kg-m. y una mayor resistencia a las fuerzas de corte cotejadas con la resistencia de una losa aligerada en bidireccional con

esfuerzos de 3581.40 Kg y 942.21 Kg. El modelado estructural fue el método que se usó, en el análisis de deflexiones de las losas, notamos que, para las mismas cargas vivas, es factible poder admirar un valor reducido de deformación si hacemos comparación de la losa maciza con el de la losa aligerada bidireccional con deformaciones de 0.476 cm y 0.738 cm, El precio por m<sup>2</sup> de la losa maciza es de S/. 299.16, a diferencia de la losa aligerada bidireccional que tiene un coste de S/. 200.59, es evidente por **conclusión** se denota una viabilidad en la ejecución de estas losas ya que la diferencia en el costo por m<sup>2</sup> es de S/. 98.57 el cual hace representación del 32.95%.

Para finalizar, Mendo y Rojas (2017), desarrollo como **objetivo** primario el establecer cuál es la influencia de las fibras de polipropileno en la microfisuración por fatiga del concreto fabricado con relación agua-cemento 0.40 y 0.50 y cemento portland MS. La **metodología** utilizada fue cuantitativa y de carácter experimental-aplicativo, el trabajo se realizó mediante ensayos de laboratorio haciendo uso de una maquina universal de carga artesanal no regularizada, un deformímetro con una exactitud de 0.0001", una gata hidráulica de 2 Toneladas y la construcción como muestra de cuatro vigas rectangulares de concreto simple, a estas se le aplicaron cargas constantes que generaron fatiga y deformación en las muestras evaluadas. Se tomo como instrumento aplicativo el uso de las normativas ASTM y la normativa del R.N.E en su capítulo E-060 de diseño de concreto armado. El suministro de 1000gr/m<sup>3</sup> de fibras de polipropileno en la dosificación de concreto con relación agua-cemento 0.40 dieron como **resultado** el aumento en el número de ciclos siendo este un aproximado del 32% cotejándose al mismo concreto sin fibras de polipropileno esto por tanto nos permite apreciar que la resistencia del concreto a la fatiga se incrementara, y en lo que concierne a un concreto con relación agua-cemento 0.50 a los 28 días de curación, la cantidad de ciclos hasta lograr la agrietación incremento en un 29.40% en comparación al mismo tipo de concreto patrón.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Botellas recicladas PET

Este material plástico es uno de los más relevantes y extensamente consumidos en el planeta, en especial para la elaboración de envases de bebidas. Pero, gran cantidad de las botellas de PET son usadas como envases de bebidas que posteriormente se desechan luego de un solo uso en vertederos o son quemadas lo cual causa grandes problemas a nuestro medio ambiente (Kim, Yi, Kim, Kim, & Sgong, 2010). Las botellas de PET están en la cabeza de materiales contaminantes por su rápida fabricación y demanda (Akçaözoğlu, Agtiş, & Akçaözoğlu, 2010), citado por (Quenta, 2019, p. 7).

Siendo una de las más grandes invenciones del siglo veinte, el plástico ha aportado enormes beneficios a la vida humana, se consumen numerosos productos plásticos con el avance de la sociedad. Pero lamentablemente grandes cantidades de desechos plásticos ejercen mucha presión sobre el medio ambiente debido a la muy baja biodegradabilidad del plástico. Es prioritario que se desarrolle una cultura racional y pensante para poder eliminar estos residuos, que sea factible económicamente como empático con el medio ambiente (Yang, Yue, Liu, & Tong, 2015, p. 444). Se tiene conocimiento de que, las botellas plásticas de PET tienen un tiempo de descomposición en el ecosistema que se encuentra en el rango de duración de entre 200 a 300 años (Valencia, López, Cortes & Froese, 2012).

#### 2.2.1.1 Propiedades físicas y mecánicas de PET:

**Tabla 1.** *Propiedades físicas y mecánicas de PET.*

| PROPIEDADES MECANICAS                     | UNIDAD            | VALOR     |
|---|-------------------|-----------|
| Densidad                                  | g/cm <sup>3</sup> | 1.38      |
| Absorción de agua, 24h                    | %                 | 0.10      |
| Resistencia a la tensión última, 23<br>°C | g/cm <sup>2</sup> | 8.09×10e5 |

|                                 |                   |                       |
|---------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Módulo de tensión, 23 °C        | g/cm <sup>2</sup> | 2.8×10 <sup>e7</sup>  |
| Alargamiento a la rotura, 23 °C | %                 | 70                    |
| Resistencia a la flexión, 23 °C | g/cm <sup>2</sup> | 1.05×10 <sup>e6</sup> |
| Módulo de flexión, 23 °C        | g/cm <sup>2</sup> | 2.8×10 <sup>e7</sup>  |

Fuente: Adaptado de (Ávila et al., 2013, p. 3)

### 2.2.1.2 Formas de reciclaje de PET para concreto:

En la actualidad tenemos 3 métodos eficientes de reciclaje de materiales PET los cuales son:

- Primer método: Hacer una trituración del PET, hasta lograr dejarlo en filamentos y posteriormente reutilizarlo como reemplazo del agregado para elaborar concreto, adicionado a esto el concreto con PET tiene un menor consumo de agua y es más liviano, esta forma de reutilización es la más ecológica y viable para reciclar el PET. La desventaja es que al incrementar el porcentaje de PET este disminuye las propiedades del concreto fraguado.
- Segundo método: Usar fibras de PET reciclado en concreto para mejorar sus propiedades físicas, que para este caso será su ductilidad, así de esta forma se podrá reducir el agrietamiento debido a la contracción plástica. Lo contraproducente de esta manera de reciclaje es que reaprovecha una menor cantidad de PET.
- Tercer método: Realizar una mezcla de mortero o concreto con polímero, empleando resina de poliéster insaturada hecha de PET despolimerizado. Lamentablemente, el costo de este método es muy elevado. Las propiedades de esta resultante de mortero y/o concreto con adición de polímero es que son muy sensibles a la temperatura (Zhi, Hongya & Renjuan, 2015, p. 1-2).

### 2.2.1.3 Uso de PET como refuerzo en concreto:

En los últimos 20 años, los desechos plásticos se han analizado para incorporarse como aditivos para concreto. Siendo incorporados como

agregado, aglutinante del cemento y sustitutorio de fibras para refuerzo (Mahdi, Abbas, & Khan, 2010, p. 25). La puesta en práctica de fibras de botellas PET descartables como aditivo del concreto se está encaminada y propuesta, generando de esta forma la ocasión ideal para darle un segundo uso a estos residuos reutilizables en el concreto. Se han realizado estudios pertinentes para la adición del PET en forma de aglutinante para el concreto, a lo que se le suele conocer también como concreto polímero (Islam, Meherier, & Islam, 2016, p. 947).

## 2.2.2 Esfuerzo por flexión en losas aligeradas

### 2.2.2.1 Concreto

Es un material pilar de la construcción convencionalmente producido de la combinación de agua, cemento y agregados. Se le considera como una roca conglomerada artificial con las mismas propiedades que brinda ésta, incluyéndose una adecuada resistencia a la compresión y una baja resistencia a la tensión (Foti, 2019, p. 387).

#### 2.2.1.1.1 Componentes del concreto

##### a) Cemento Portland

Agregado constituido de una aleación de caliza y arcilla calcinadas y que luego son pulverizadas con agregado de yeso, el cual tiene la cualidad de secar y endurecer una vez que se le agrega agua. Al mezclarse el cemento con agregados como la grava, arena y agua, se obtiene un conglomerado homogéneo, moldeable y plástica que fragua y se endurece, como si se tratase de una roca artificial, a esta se le conoce como hormigón o concreto (Rebozov, 2015, p.5).

Existen gran variedad de cemento de diferentes grupos del tipo Portland según ASTM C150 (Tabla 1).

**Tabla 2.** *Tipos de cemento Portland Tipo de cemento y sus características.*

| TIPO DE CEMENTO | CARACTERISTICAS |
|-----------------|-----------------|
| Tipo I          | Portland Normal |

|          |  |
|----------|--|
| Tipo II  | Portland moderada resistencia a sulfatos           |
| Tipo III | Portland fraguado rápido, alta resistencia inicial |
| Tipo IV  | Portland bajo calor de hidratación                 |
| Tipo V   | Portland alta resistencia a sulfatos               |

Fuente: según la norma ASTM C150 (p.1).

#### b) Agregados

Los agregados vienen siendo los componentes dinámicos dentro de una mezcla, pero la variabilidad en sus características suele acaecer durante el proceso de explotación, manejo y transporte. Se ve por tanto la importancia de fabricar con un concreto de calidad óptima sabiendo así el detalle de cada una de sus propiedades por que tanto la resistencia como la durabilidad están relacionados directamente a sus características físicas y químicas de estos, y principalmente de sus agregados. Tomando en cuenta las dimensiones tenemos que los agregados se distinguen en dos grupos los cuales son agregados finos y gruesos (Chan Yam, Solís Carcaño, & Moreno, 2003), citado por (Quenta, 2019, p. 4).

**Agregado grueso:** Se refiere a aquellas partículas que se encuentran retenidas en el tamiz N°4 (4.75mm) y son obtenidas mediante el despedazamiento natural o ya sea mediante maquinaria de las rocas y estas deben satisfacer los lineamientos dados en la norma ASTM C33. Están considerados la piedra chancada, grava, etc.

**Agregado fino:** Se le caracteriza de esta forma a la arena o piedra natural finamente desmenuzada en medidas mínimas, las cuales deben pasar por el tamiz 3/8" y que quedaran retenidas en el tamiz N° 200 como lo estipula la normativa ASTM C33.

**Agua:** El ingrediente de agua para la construcción se usa para hidratar el concreto y que este desarrolle su resistencia que debe cumplir los requerimientos dados por la normativa (NTP 399.088, 2014, p. 4-5).

#### 2.2.1.1.2 Propiedades mecánicas del concreto:

##### a) Resistencia a la compresión:

Se tiene por conocimiento que es la mayor dimensión de resistencia que brinda un elemento o material de concreto a una fuerza axial. Están establecidos acorde a las delimitaciones de los lineamientos ASTM C39.

#### b) Resistencia a la flexión

Esta resistencia se puede considerar como una medida inversa otorgada de la resistencia a la tracción del concreto. Se le considera como la facultad de soportar una falla por momento sometido a una losa o viga de concreto no reforzada. El Módulo para la Rotura suele fluctuar entre un 10% al 20% de la equivalencia a la resistencia de compresión, independientemente de las variantes, dimensiones y volumen del agregado grueso con el que se diseñara (Masías, 2018, p. 18).

Tipos de flexión:

- Flexión Simple: Este tipo de flexión, será en el que una determinada sección o material es sometido a un momento flector y esfuerzo cortante al mismo tiempo.
- Flexión Pura: Se da cuando en una determinada sección de la viga, únicamente se encuentra momento flector.
- Flexión Compuesta: Se le da esta denominación cuando una sección de la viga u otro material, se encuentran sometidos a fuerzas de flexión, tracción y compresión simultáneamente (Angulo y Rodríguez, 2017, p. 23).

#### 2.2.2.2. Método del ACI para el Control de Deflexiones

La normativa ACI nos brinda dos formas para realizar la verificación de deflexiones desde la premisa referida a cargas de servicio. Uno de estos métodos se aplica a agentes que son supeditados a flexión que están acoplados a elementos estructurales que se pueden ver dañados debido a deflexiones desmesuradas. Esta metodología de control explica que se debe tomar un espesor mínimo para losas y vigas, la cual debe dar las garantías para que las

deformaciones fluctúen dentro de un rango admisible. El otro método de control pertinente trata en hacer una estimación de la magnitud y corroborar que esta no supere las limitantes dadas (Harmsen, 2005, p. 200-201).

**Tabla 3.** *Espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones, ACI 318S-14.*

| Espesor mínimo (h)                      |   |                         |                          |             |
|---|---|-------------------------|--------------------------|-------------|
|   | Apoyo Simple  | Con un extremo continuo | Ambos extremos continuos | En voladizo |
| Elementos                               | Estructuras que no tengan que soportar o que no estén sujetos a divisiones u otro tipo de elementos que puedan dañarse por causa de deflexiones excesivas |                         |                          |             |
| 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: según la norma ACI 318S-14 (p. 130).

**Tabla 4.** *Deflexión máxima admisible calculada, ACI 318S-14.*

| Tipo de elemento  | Deflexión considerada  | Limitación |
|---|--|------------|
| Techos que no soportan ni están sujetos a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones desmedidas.     | Deflexión instantánea en consecuencia de la aplicación de la carga viva. | L/180*     |
| Pisos que no soportan ni están sujetos a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones desmedidas.      | Deflexión instantánea en consecuencia de la aplicación de la carga viva. | L/360      |
| Techos o pisos que soportan o están sujetos a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones desmedidas. | Parte de la flecha que ocurre después de colocación de elementos         | L/480***   |

|  |                   |           |
|--|-------------------|-----------|
| Techos o pisos que soportan o están sujetos a elementos no estructurales que no se dañan con deflexiones desmesuradas. | estructurales. ** | L/240**** |
|--|-------------------|-----------|

Fuente: según la norma ACI 318S-14 (p. 132).

1. \* En esta limitación no se tiene por objetivo el constituirse en un respaldo contra el estancamiento de aguas. Por lo cual este último debe ser corroborado mediante cálculos de deflexiones pertinentes, teniendo en consideración las deflexiones debidas al agua estancada, y teniendo en cuenta los efectos a largo plazo de todas las cargas perennes, la contra flecha, las conformidades de construcción y la fiabilidad en las medidas acatadas para el drenaje de aguas.
2. \*\* Las deflexiones a largo plazo pueden ser disminuidos en la cuantía de deflexión determinada que acontezca antes de acoplarse los elementos no estructurales. Esta cantidad es hallada en base a datos de ingeniería admisibles concerniente a los caracteres de tiempo-deflexión de elementos con similitud a los que se tienen contemplados.
3. \*\*\* Este límite podría verse excedido si se efectúan medidas pertinentes para evitar afección en elementos apoyados.
4. \*\*\*\* Pero no exceder la tolerancia instaurada para los elementos no estructurales. Esta limitación se puede sobrepasar si se provee una contra flecha de manera que la deflexión total menos la contra flecha no rebase este límite.

#### 2.2.2.3. Cálculo de Deflexiones

La deflexión en elementos de concreto armado están supeditados al tiempo y por lo cual están comprendidas en dos: instantáneas y de largo plazo. Las instantáneas se deben básicamente a la conducta elástica de la estructura y se dan seguidamente luego de que las cargas son administradas. Las deflexiones de largo plazo son resultado del creep, debido a la contracción del concreto y las cargas aplicadas a través del tiempo de vida de la estructura (Harmsen, 2005, pág. 201).

#### 2.2.2.4 Losas

Es el elemento estructural con mayor uso en las construcciones, cumple con la funcionalidad de constituir pisos y techos de una edificación, este elemento suele apoyarse en las trabes, columnas, muros o placas. Su función estructural es

traspasar las cargas gravitacionales hacia las columnas y que a su vez estas trasladan hasta los cimientos, formando un diafragma con una elevada rigidez en su plano. Su dimensionamiento y cálculo debe estar basado para su correcta resistencia a fallas por esfuerzos de flexión, cortante o torsión para prevenir de esta manera colapsos repentinos y calamitosos (Segura, 2017, p. 5).

Existen diferentes tipos de losas según su uso, entre las cuales tenemos:

- Losas de cimentación.
- Losas de entrepiso.
- Losas de cubierta

Según sus materiales y proceso constructivo se clasifican en:

- Losas macizas o sólidas.
- Losas nervadas.
- Losas alivianadas con materiales prefabricados.

Las losas son estructuras que tienen como razón primordial la de resistir las cargas verticales y distribuirlas sobre sus apoyos que son las columnas. La capacidad de cargas verticales que deberá resistir la losa tiene que ser equivalente a la suma de la carga generada por su mismo peso, acabados, tabiquería, piso terminado y la carga viva acorde con el uso que tendrá la edificación. La losa a su vez tiene como función ser el principal medio por el cual se distribuirán las fuerzas generadas por un eventual sismo (Ramos, 2002, p.1).

#### 2.2.2.4.1 Tipos de losa

Para la presente investigación, nos enfocaremos en las losas planas, específicamente en las losas planas aligeradas con materiales prefabricados.

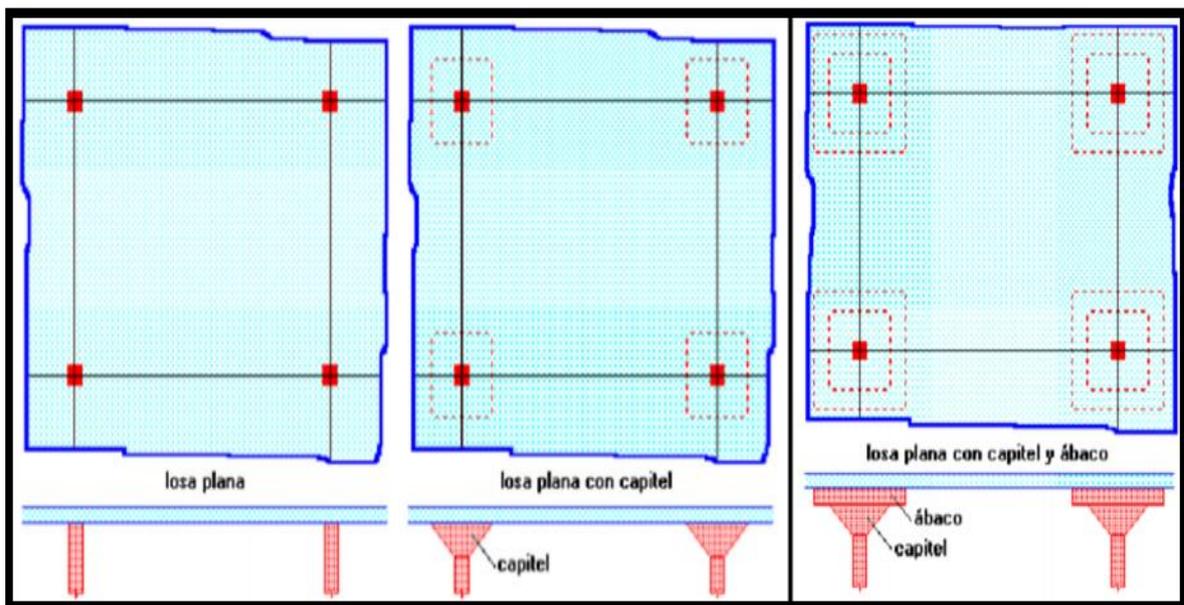
##### a) Losas Planas.

Este tipo de losa consiste en una estructura apoyada de manera directa sobre las columnas y no se encuentran supeditadas al soporte en vigas de apoyo; solo se colocan ábacos para acrecentar el acoplamiento entre losa y columnas; el ábaco debe de ser mínimo 1,3 del peralte de la losa o máximo 1,5. Para un eficiente y correcto funcionamiento sísmico de estas

losas se pueden usar vigas embutidas o vigas tipo banda las cuales no sobresalen de la losa, de allí es que nace su nombre, y pueden ser útiles para edificios de hasta 4 niveles, con luces y cargas pequeñas y/o medianas (Romo, 2008 p.102).

La diversidad en su construcción radica en el componente con el que se realiza su alivianado, ya que pueden utilizarse bloquetas huecas de mortero o casetones de Tecnopor, como materiales que quedan embutidos en la losa. La idea principal y central es disminuir el peso de la losa en las áreas en el que el concreto tiene reducidos esfuerzos y obtener de esta forma una construcción en una o dos direcciones; a su vez al reducirse el peso de la losa se logran abarcar luces más largas de una forma más viable y eficiente (Quino, 2019, p. 11).

**Figura 1.** Losas planas.



. Fuente (Romo Proaño), citado por (Jalca, 2016, p. 8).

**Tabla 5. Espesores mínimos de losas sin vigas interiores\*, ACI 318S-14.**

| Fy'<br>MPa | Sin ábacos         |                    |                    | Con ábacos         |                    |                    |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|            | Paneles exteriores |                    | Paneles interiores | Paneles exteriores |                    | Paneles interiores |
|            | Sin vigas de borde | Con vigas de borde |                    | Sin vigas de borde | Con vigas de borde |                    |
| 280        | Ln/33              | Ln/36              | Ln/36              | Ln/36              | Ln/40              | Ln/40              |
| 420        | Ln/30              | Ln/33              | Ln/33              | Ln/33              | Ln/36              | Ln/36              |
| 520        | Ln/28              | Ln/31              | Ln/31              | Ln/31              | Ln/34              | Ln/34              |

Fuente: según la norma ACI 318S-14 (p. 133).

\*Cuando es para losas bidireccionales, Ln se define como la luz libre en el sentido más extenso de la losa, esta medida esta dada entre cara de apoyos en losas sin vigas y entre caras de las vigas, para losas con vigas o diferentes tipos de apoyos en diferentes circunstancias.

b) Tipos de losas alivianadas con materiales prefabricados.

La mayoría de losas son aligeradas con materiales prefabricados que se elaboran de manera industrial y son transportados al sitio de la construcción, para su respectivo montaje y acoplamiento según el proceso constructivo a utilizar.

b.1) Losas aligeradas con esferas o discos de plástico reciclado  
PRENOVA

Este método de construcción de losas es edificado de concreto armado con la ausencia de vigas, aligeradas con esferas o discos plásticos. Este método permite economizar hasta un 30% el volumen de hormigón y un 20% de acero estructural. De la misma manera, se obtiene la seguridad referente a la plasticidad obligatoria para soportar recibir las cargas estáticas (cargas muertas) y dinámicas como son las cargas sísmicas y la fuerza del viento debido a la cooperación mutua de los tabiques de la fachada, la losa y el núcleo. El funcionamiento estructural y la metodología de cálculo para las

losas Prenova es el mismo que el diseño de una losa maciza. Está comprobado, por pruebas de carga in situ en los proyectos de este tipo que, se obtiene una mejor resistencia a la flexión y deformación en comparación a las losas macizas, por el simple hecho de la reducción del peso propio de la losa (PRENOVA GLOBAL).

**Figura 2.** Losas desde 15 cm hasta 28 cm con discos



. Fuente (PRENOVA GLOBAL).

**Figura 3.** Losas desde 28 cm hasta 42 cm con esferas.



con esferas. Fuente (PRENOVA GLOBAL).

Ventajas:

- Reducción de hasta 30% de hormigón y 20% de acero.
- Omisión de los trabajos de acabados como contrapisos, carpetas y cielorrasos.
- Reducido peso de la edificación.
- Adaptabilidad de inclusión para el entubado de instalaciones eléctricas, sanitaria y losa radiante.
- Amplitud ilimitada de ejecución ya que no se requiere el uso de grúas de algún tipo para su construcción.
- Se lograr reducir a la mitad los tiempos constructivos y de ensamblaje, haciendo viable y eficiente su edificación.
- Habilita la construcción de más niveles por edificio.
- Mejor resistencia a las fuerzas sísmicas.
- Sencillez de instalación para tuberías y conductos (agua contra incendio, aire acondicionado, etc.)

favorables ya que se eliminan las vigas dentro de la edificación.

- Cumplimiento de las normativas CIRSOC y ACI-| (2011).
- Facilita cubrir extensas luces con ausencia de vigas y mayores volados.
- Alta flexibilidad de uso.
- Propiedades aislantes tanto térmica como acústica por las propiedades de los discos y esferas plásticas.
- Reducción de los costos constructivos, que van desde el 5% y 20% de acuerdo con la escala de la obra.
- Su cálculo es desarrollado como una losa maciza sin vigas. (PRENOVA GLOBAL).

#### b.2) Losa con vacíos Esféricos sistema Bubble Deck

Empezada la década de los noventa, se establece un novedoso sistema de construcción de losas el cual une el volumen de aire, el acero y el concreto en una losa ahuecada en dos direcciones, obteniéndose el nacimiento de un novedoso sistema de losas aligeradas llamado Bubble Deck. El ingeniero alemán Jorgen Breguning fue el partícipe de esta patente y las cual tiene como beneficio la reducción del peso de las losas, la eliminación de elementos como vigas logrando tener así losas planas. (Segura, 2017, p. 9).

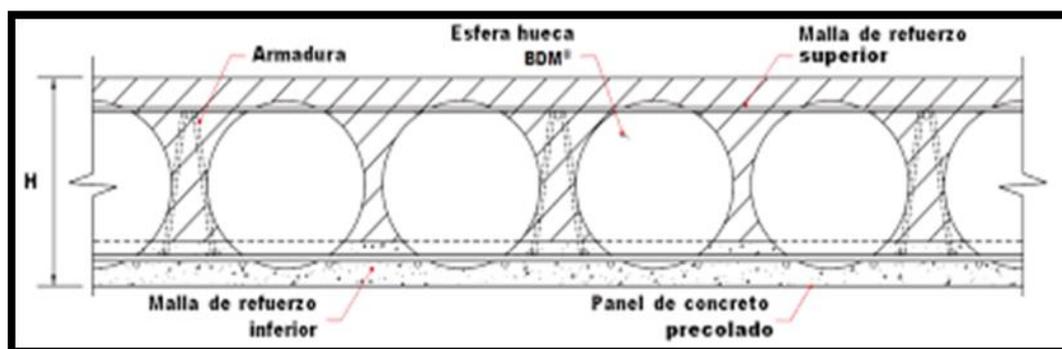
- Características Principales

Este sistema está compuesto de una losa plana alivianada emplea esferas de plástico reciclado las cuales ocuparan el espacio del concreto inefectivo de la losa, bajo la premisa de que los aligerantes estén ubicados en áreas donde los momentos sean reducidos y a su vez donde los esfuerzos por compresión y tensión no se encuentren afectados al repartirse con libertad en la losa. Este sistema trabaja como una losa

maciza en cualquier dirección y por lo cual permite construir claros con más luces entre sus apoyos.

El proceso constructivo reside en ubicar la malla de acero electrosoldada de refuerzo inferior, continuando con las esferas y la armadura para poder colocarla en la posición final y para posteriormente soldarse; luego se coloca la segunda malla electrosoldada que funcionará como refuerzo superior, obteniéndose así una especie de jaula de acero con las esferas embutidas. Una vez terminado este proceso, teniéndose ya lista esta jaula se coloca sobre el refuerzo inferior la capa de 6 cm de espesor de concreto que va acorde al diseño, el cual fraguara por 24 horas, para obtenerse el Panel BDM (Quino, 2019, p. 13).

**Figura 4.** Componentes de la losa Bubble Deck



Fuente: (Segura, 2017, p. 10).

**Tabla 6.** Dimensiones de Losas Bubble Deck.

| DIMENSIONES DE LOSAS BUBBLE DECK |         |
|----------------------------------|---------|
| Diámetro Bubble Deck             | 6.50 cm |
| Espesor                          | 14 cm   |
| Ancho                            | 30 cm   |
| Mayor espesor del concreto       | 3.75 cm |
| Menor espesor del concreto       | 3.75 cm |

Fuente: (Pandey & Srivastava, 2016, p. 600).

**Tabla 7. Propiedades del material Bubble Deck.**

| <b>Material</b> | <b>Fuerza a la Compresión (kN/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Módulo de Young (kN/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Coefficiente de Poisson (kN/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Expansión Térmica</b> | <b>Densidad (kN/m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------|--|---|---|--------------------------|------------------------------------|
| Concreto        | 25000  | 2.48E+07                                  | 0.16  | 5.5E-6                   | 25                                 |
| HDPE            | 30000  | 8.00E+05                                  | 0.42  | 2.0E-5                   | 10.01                              |

Fuente: (Pandey & Srivastava, 2016, p. 601).

En relación con el diseño y cálculo de las losas aligeradas PET y la losa convencional se emplearán las normativas:

- Norma NTP-E.020
- Norma NTP-E.060
- ACI 318S-14

### **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

Losas: Componentes estructurales que hacen permisible la realización de los pisos y los techos en las edificaciones (Blanco, 1994, p. 15).

Losas aligeradas: Son en naturaleza losas nervadas, con la distinción de que el vacío existente entre las nervaduras o viguetas se encuentra relleno por un ladrillo aligerado con áreas de vacíos en forma de tubos (Blanco, 1994, p. 18).

PET: El Tereftalato de Polietileno es un poliéster termoplástico el cual es producido partiendo de dos componentes, las cuales en esencia son: Ácido Terftálico y Etilenglicol, de la misma forma también se puede utilizar dimetil tereftalato en lugar de Ácido Tereftálico, que al ser polimerizados en presencia de catalizadores y aditivos producen los distintos tipos de PET (Cayllahua, 2014, p. 6).

Reciclaje: El Reciclaje tiene como principal meta transformar materiales usados, que de ser otra su finalidad sería simplemente desechada, en bienes muy útiles y productivos. La recolección de botellas desechadas, latas o cualquier otro desperdicio como el papel, son materiales reusables,

permite posteriormente poder ser llevados a un puesto de acopio, esta es la primera instancia para iniciar un proceso en el cual se pueden generar bienes de gran valor de estos simples desechos, pero sobre todo son favorables para el medio ambiente y la sociedad (Caballero y Flores, 2016, p. 33).

**Concreto:** Es el material de construcción formado por el acoplamiento del cemento, agregado fino, agregado grueso, aire, agua y aditivos en cantidades apropiadas para la adquisición de la resistencia deseada (Mariano, 2019, p. 15).

**Resistencia a la compresión del concreto:** Esta comprendida como el máximo esfuerzo al que puede ser sometido este material sin fallar o romperse. Esto es importante puesto que el concreto tiene como finalidad primordial soportar esfuerzos de compresión, la capacidad de resistencia a estos esfuerzos es la que se emplea como indicativo de su calidad (Sanca, 2016, p. 17).

**Peso unitario del concreto:** El concreto habitual por lo general tiene un peso específico que oscila entre 2200 a 2400 kg/m<sup>3</sup>. La densidad del concreto cambia de acuerdo con la dosificación y la densidad del agregado, la cantidad de aire retenido o deliberadamente incorporado y las dosificaciones de agua y cemento (Masías, 2018, p. 17).

**Costo:** Es la derivación de los gastos económicos y requerimientos indispensables para crear y adquirir un bien o servicio (Mariano, 2019, p. 36).

**Deflexión:** Se le denomina deflexión al grado en el que un elemento estructural se deforma al momento en el que se le aplica o somete a una fuerza (Sanca, 2016, p. 48).

**Vivienda unifamiliar:** Una vivienda unifamiliar es una construcción el cual se encuentra asignado para una unidad familiar, de esta manera se distinguen de las edificaciones colectivas, donde se desarrollan de manera horizontal las propiedades (Pérez y Merino, 2017, párr. 2).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

Una Investigación es de carácter aplicada debido a que se trata de conocer, accionar, edificar y cambiar una realidad problemática, quiere decir que está más orientado en la aplicación inminente para una problemática como prioridad, dejando de lado el desarrollo de un estudio de carácter universal (Borja, 2016, p.10).

El tipo de investigación es aplicada, porque especifica las propiedades y características de la losa aligerada con botellas recicladas PET. De la misma manera, será correlacional debido a que se vinculan las variables por medio de un modelo pronosticable para una población.

El diseño de una investigación es cuasi experimental por motivo de que es una opción a los experimentos de asignación no aleatoria, en aquellos contextos sociales donde no se tiene el pleno control experimental (Cook y Campbell, 1986, p. 142).

El diseño de la investigación es del tipo cuasi experimental, por las razones de que se va a cotejar la resistencia a la flexión de una losa convencional con la una losa alivianada con botellas recicladas, luego de haberse un cálculo matemático y un análisis experimental de ambas losas referidas.

#### 3.2. Operacionalización de las variables:

- Variable independiente: Botellas recicladas PET
- Variable dependiente: Análisis de esfuerzo por flexión en losas aligeradas.

(Ver anexo 1 en el capítulo de anexos).

#### 3.3. Población y muestra:

La presente investigación tendrá como población a la losa aligerada de una vivienda unifamiliar típica de la localidad de Lima. Para desarrollar el proyecto experimental, se designó como muestra 04 maquetas de losa, 02 correspondiente a una losa aligerada convencional y 02 correspondientes

losas aligerada con botellas recicladas PET y a su vez 08 probetas de concreto  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  para los respectivos ensayos de calidad del concreto.

Debido a que no contamos con una normativa correspondientes a maquetas de losas para ensayos en laboratorio, tomaremos una sección de 0.8 m x 1 m; definida de esta manera por motivos económicos, de elaboración, transporte y simplicidad constructiva.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad:

- Técnica: Análisis Documental
- Instrumento: Protocolos y fichas de registro de datos.
- Tipo de Investigación: Aplicada

Técnica:

Las técnicas utilizadas para la recopilación de datos son todos aquellos métodos que se utilizaran para recolectar toda la información que obtendremos durante la realización de la investigación, tanto en trabajos de campo como en trabajos de gabinete (Borja, 2016, p.33).

Las técnicas implementadas para este proyecto fueron la observación, aplicación de instrumentos y recopilación de información y trabajo de gabinete (cálculo de diseño); cuya realización nos van a permitir obtener resultados favorables.

Dentro de las técnicas encontraremos:

- La observación, que permite inspeccionar, denotar y estudiar hechos de la realidad.
- La aplicación de instrumentos, que permite obtener datos verídicos en relación con el proyecto de investigación.
- Recopilación de información, el cual permite que los datos adquiridos en esta investigación tengan una validez y confiabilidad para el

juicio de expertos en la materia; para esto se empleara los protocolos (normativa) y las fichas de registro de datos como instrumentos.

### 3.5. Procedimientos:

En el ensayo experimental, en la elaboración de nuestras maquetas de losas nos guiaremos de la NTP 339.033 (2009), las cual nos da las pautas para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. En lo referido a las probetas de concreto para ensayo de resistencia por comprensión, se tomará las referencias de la NTP 339.037 (2008) dando las normativas para el refrentado de testigos cilíndricas de concreto.

- Primero para el análisis practico - experimental de este tipo de losa, tomaremos como referencia los resultados obtenidos en el cálculo matemático de la losa proyectada; datos como la cuantía de acero, resistencia del concreto y tipo de aligerantes.
- Segundo, se realizará el empaquetado de las botellas plásticas recicladas PET; estas serán encasetonadas en grupo de 3 botellas y encintadas para su fijación, para luego ser embutida en la losa como aligerante.
- Tercero, se realizará el armado y encofrado de ambas losas (aligerado convencional y aligerado PET) adicionando sus respectivos agentes aligerantes.
- Cuarto, luego del armado y encofrado se procederá al vaceado de concreto  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , teniendo los cuidados y procesos normados como el vibrado para evitar los vacíos no contemplados en la losa, testigos para prueba de resistencia del concreto (09 probetas).
- Quinto, terminado la construcción de nuestras maquetas de losa y respetando los días para su correcto fraguado y alcance de la resistencia deseada; procedemos a realizar el ensayo de la losa aligerada con botellas PET y de la losa convencional, las cuales serán realizadas a los 28 días respectivamente para cada tipo de losa, haciendo un total de 04 maquetas ensayadas. Se colocarán las

maquetas de losa en la gata hidráulica para que esta ejerza la carga gradualmente, luego se realiza la nivelación del deformímetro que nos permitirá medir la deflexión; por consiguiente, se toman todas las cargas a aplicarse en ambas losas.

- Sexto, se procede a ejercer las cargas en las losas de manera gradual, aplicando la misma cantidad de cargas en ambas para realizar la comparación, terminado se toma las deflexiones marcadas por el deformímetro.
- Séptimo, para finalizar el análisis de este proyecto se realizará un análisis comparativo de los resultados obtenidos previamente del ensayo.

### 3.6. Método de análisis de datos

La metodología de análisis para la información será alcanzada mediante distintos protocolos y la normativa ACI-318S-14 y la norma de diseño de concreto armada E.0.60 para el cálculo, diseño de la losa y su deflexión ocasionada por las cargas sometidas. También mediante la aplicación de instrumentos que nos facilitara la recolección de datos y valores, los cuales denotaran la veracidad del estudios y ensayo.

Complementario a esto, se realizará un análisis severo de los resultados, una tabulación comparativa de los estudios, una representación gráfica de la información recolectada y un balance de los resultados acorde a lo requerido para la corroboración de la hipótesis tanto general como específicas.

### 3.7. Aspectos éticos

Dentro de lo que se refiere a los lineamientos éticos, el responsable de la investigación tiene como compromiso:

- Velar por la veracidad y autenticidad de los resultados, es decir no expropiar información de otras fuentes o investigadores anteriores sin ser debidamente citado, teniendo como guías las referencias estilo ISO 690-1 e ISO 690-2.

- Se garantiza que en el presente proyecto de tesis no se ha realizado algún tipo plagio.
- El presente proyecto de investigación está elaborado con total sinceridad, compromiso y responsabilidad referidas a la información de su contenido.
- Para los procedimientos, estos seguirán los lineamientos y normativas del Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E.), siendo más exactos en la norma E.060 (Concreto Armado) y E.020 (Cargas), también las normas para concreto estructural ACI-318S-14, las normas para los tipos de cemento ASTM C150, la norma para los agregados, tanto finos como gruesos ASTM C33, también la resistencia del concreto debe cubrir las normativas mínimas de las NTP 399.088 (2014).

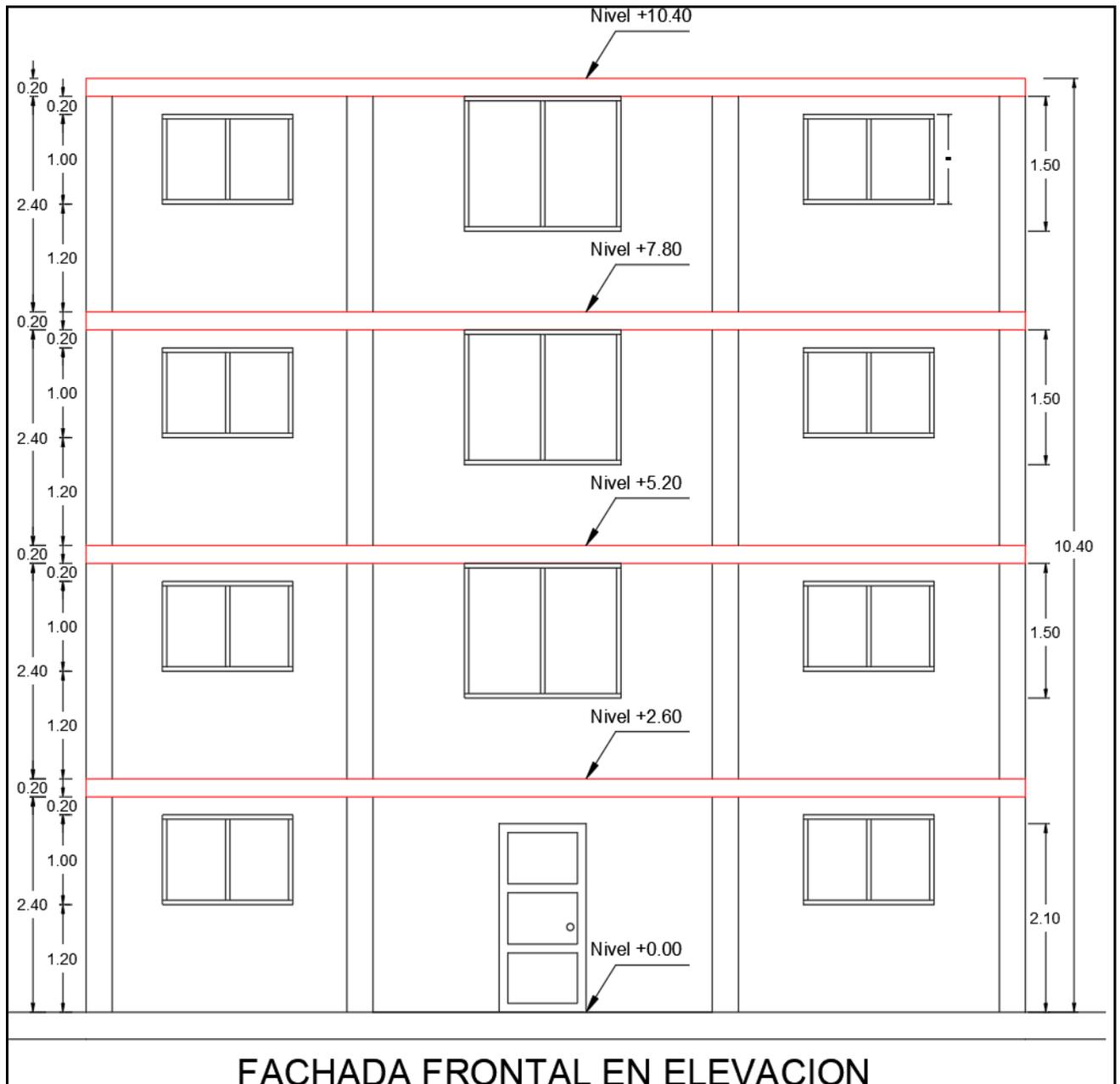
## IV. RESULTADOS

### 4.1 Toma de información para el cálculo.

#### 4.1.1 Análisis Matemático de losa aligerada.

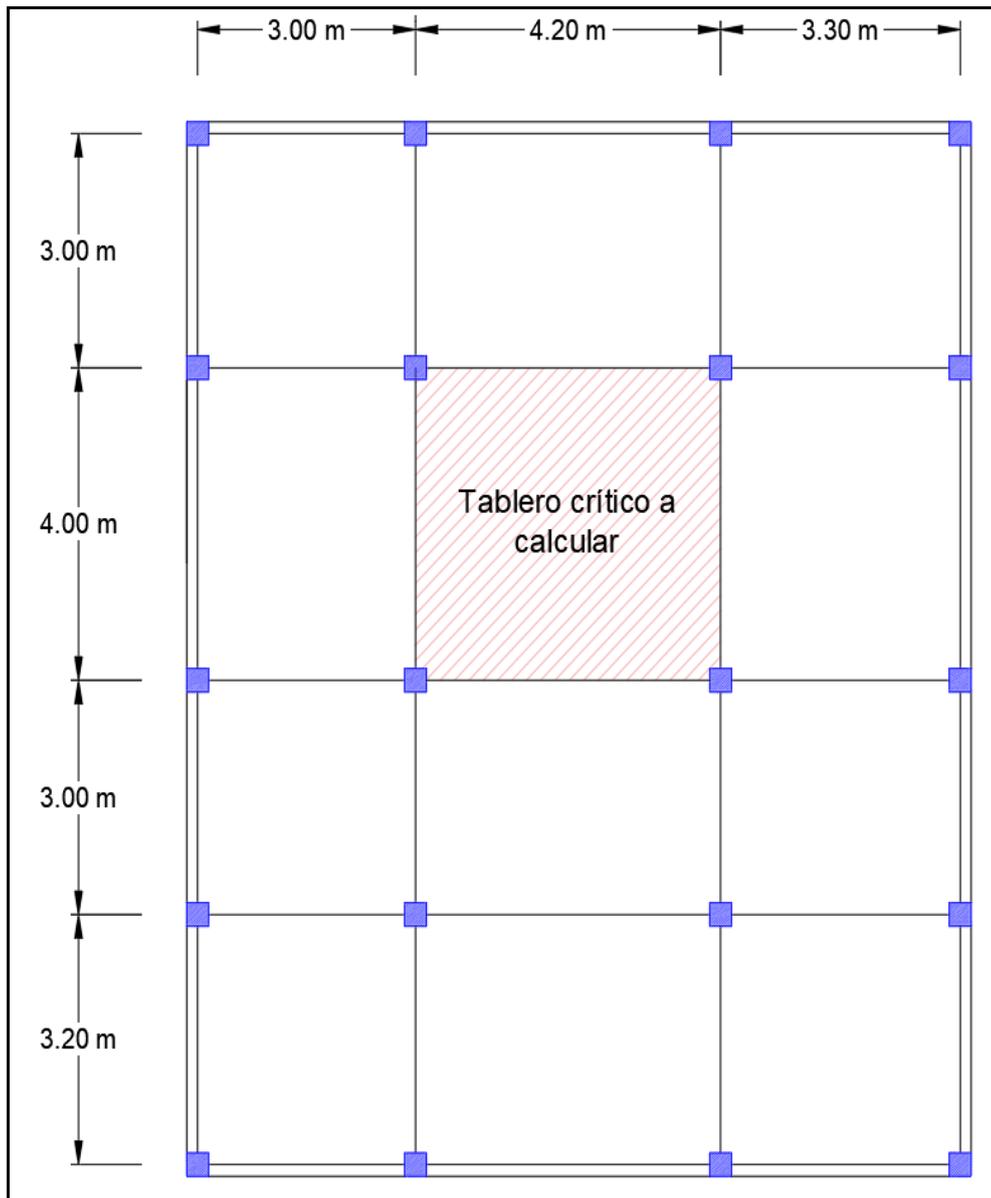
##### 4.1.1.1 Cálculo y diseño de la losa aligerada por el método ACI.

Figura 5. Vista de la fachada frontal en elevación.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6.** Distribución de las columnas y el tablero crítico a analizar.



Fuente: Elaboración propia.

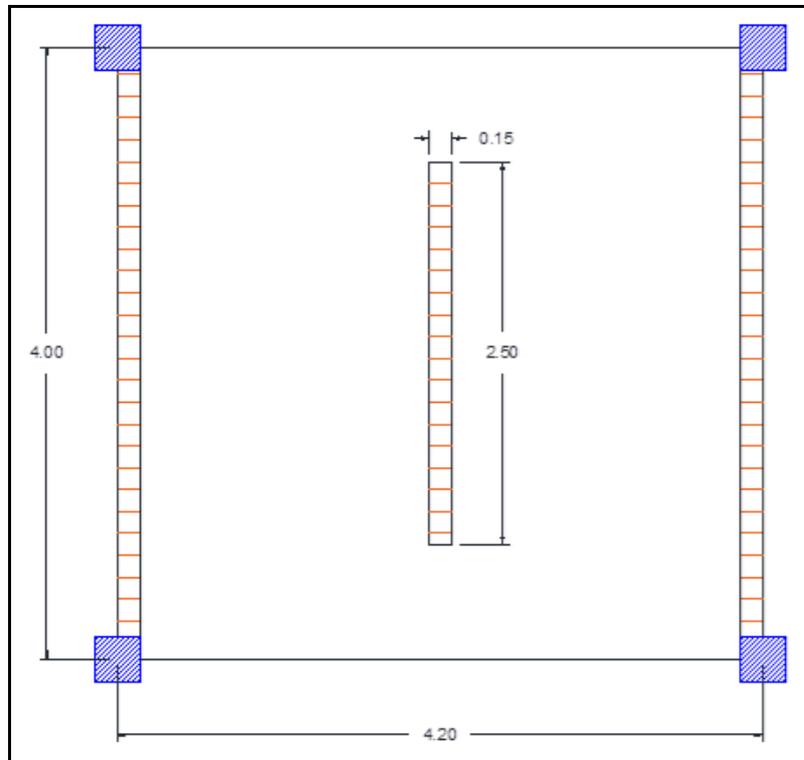
DATOS:

- Altura de entrepiso: 2.40 m
- Dimensiones de las Columnas: 30x30 cm
- No presenta viga de borde.
- Carga de servicio: 200 kg/m<sup>2</sup> (Vivienda)
- $f'_c$ : 210 kg/cm<sup>2</sup>

-  $f_y$ : 4200 kg/cm<sup>2</sup>

-  $r$  = 3cm

**Figura 7.** Tablero crítico a calcular.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.1.1 Cálculo del diseño geométrico de la losa aligerada.

- **Diseño preliminar para determinar la altura de la losa.**

Para una losa sin vigas, el espesor de losa mínimo requerido total  $h$ , se encuentra definido en la Tabla N° 5.

Entonces:

$$h = \frac{l_n}{33}$$

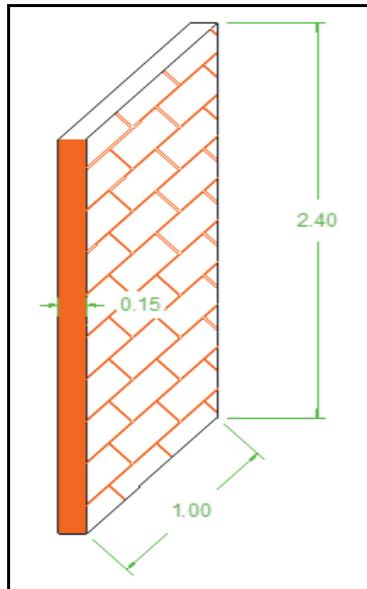
$$h = \frac{420 \text{ cm}}{33}$$

$$h = 12.727 \text{ cm}$$

**Asumo  $h = 15 \text{ cm}$**

- Cálculo de elementos no estructurales.

**Figura 8.** Detalle de pared.



Fuente: Elaboración Propia.

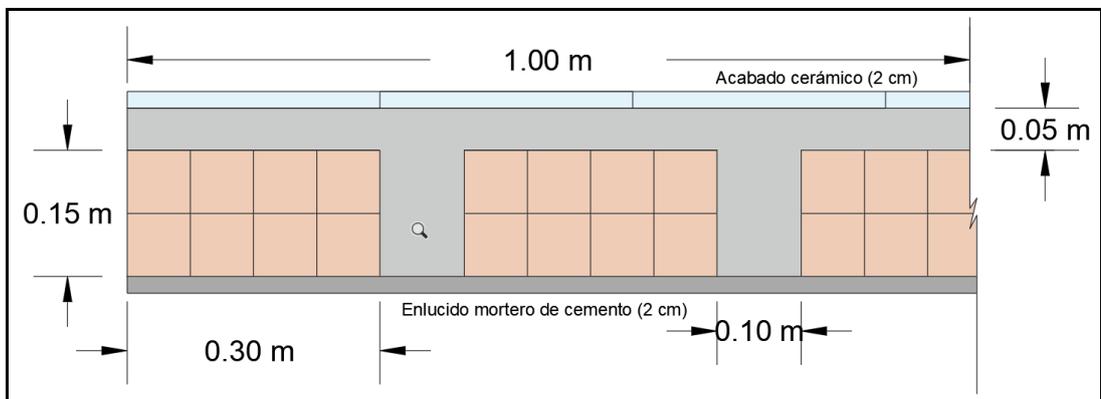
$$\text{Peso pared completa} = 0.15 \text{ m} * 1 \text{ m} * 2.40 \text{ m} * 1350 = 486 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pared Completa} = (2.50 * 486 \text{ kg/m}) = 1215 \text{ kg/m}$$

$$\Delta p = \frac{\text{Peso Pared}}{\text{Área Tablero}}$$

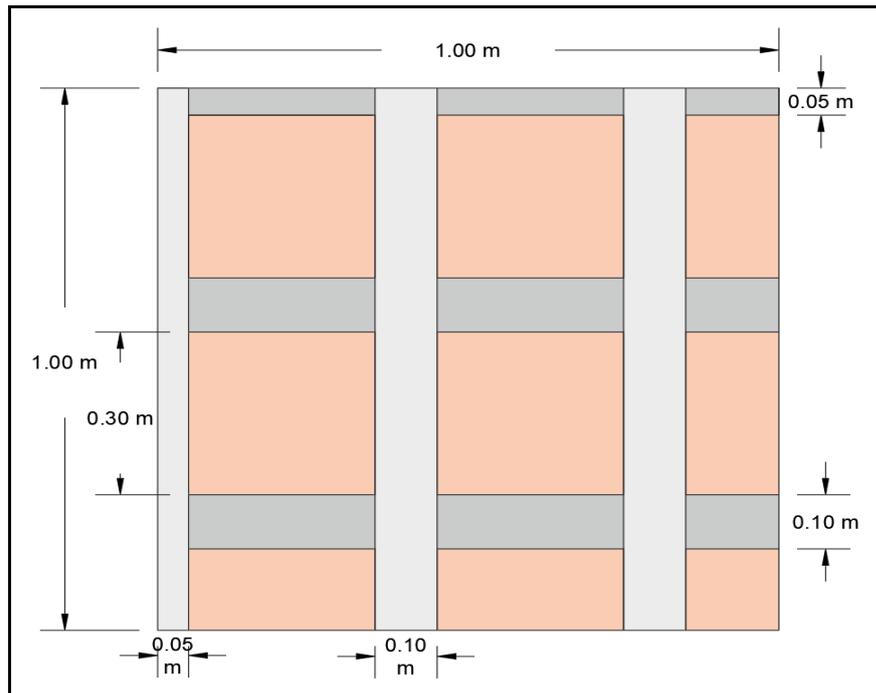
$$\Delta p = \frac{1215}{4.00 * 4.20} = 72.32 \text{ kg/m}^2$$

**Figura 9.** Detalle de corte de losa aligerada.



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 10.** Detalle de losa bidireccional por m<sup>2</sup>.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Cálculo del peso propio de la losa aligerada (kg/m<sup>2</sup>).**
  - Losa de compresión =  $0.05 \times 1.0 \times 1.0 \times 2400 = 120 \text{ kg/m}^2$
  - Concreto en viguetas =  $0.10 \times 0.15 \times 4.375 \times 2400 = 157.5 \text{ kg/m}^2$
  - Peso de ladrillo =  $6.25 \times 8 = 50 \text{ kg/m}^2$
  - Peso de enlucido (mortero de cemento) =  $0.02 \times 1.0 \times 1.0 \times 2000 = 40 \text{ kg/m}^2$
  - Peso pegamento losetas (cemento y cal) =  $0.01 \times 1.0 \times 1.0 \times 1850 = 18.5 \text{ kg/m}^2$
  - Peso de losetas (cerámicos) =  $0.01 \times 1.0 \times 1.0 \times 2400 = 24 \text{ kg/m}^2$

**Peso de la losa = 410 kg/m<sup>2</sup>**

- **Cálculo de carga última.**

$$\text{CARGA MUERTA} = \Delta p + \text{Peso losa}$$

$$\text{Carga muerta} = 72.32 \text{ kg/m}^2 + 410 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Carga Muerta} = 482.32 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Carga Viva (vivienda)} = 200 \text{ kg/m}^2$$

- Utilizamos la combinación de carga de acuerdo a la normativa **ACI 318S-14**.

$$U = 1,2CM + 1,6CV$$

$$U = 1.2(482.32 \text{ kg/m}^2) + 1.6(200 \text{ kg/m}^2)$$

$$U = 898.784 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.1.1.1.2 Calculo de esfuerzos de corte.

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$r = 3 \text{ cm}$$

$$d = 12 \text{ cm}$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

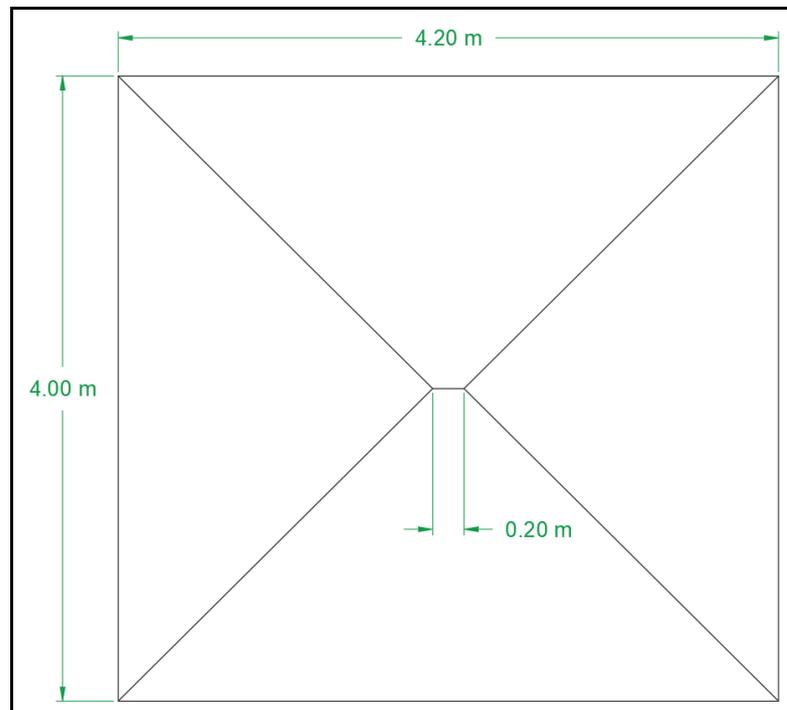
- $V_c = 0,53\sqrt{f'_c}bw*d$

$$V_c = 0,53\sqrt{(210 \text{ kg/cm}^2)} \times 20 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$$

$$V_c = 1843.303 \text{ kg}$$

- $V_u = \frac{AM \times U}{L}$

**Figura 11.** Mosaico de tablero a analizar.



Fuente: Elaboración Propia.

$$A_{\text{trapecio}} = \frac{4.20+0.20}{2} \times 2.00 = 4.40$$

$$A_{\text{triangulo}} = \frac{4.00 \times 2.00}{2} = 4.00$$

$$V_u = \frac{4.40 \times 898.784}{4.20} = \mathbf{941.583}$$

$$V_u = \frac{4.00 \times 898.784}{4.00} = 898.784$$

$$0.85 \times 1843.303 \geq 941.583$$

$$1566.808 \geq 941.583 \dots \mathbf{OK}$$

#### 4.1.1.1.3 Cálculo estructural de la losa aligerada con el Método 3 ACI.

- **Momento Estático Mayorado en la losa**

En concordancia con la ecuación 3 propuesta por el Método 3 ACI, se calcula la relación lado corto-lado largo.

$$m = \frac{l_a}{l_b}$$

**Teniendo como resultado:**  $m = \frac{4.00}{4.20} = \mathbf{0.952}$

De acuerdo con el resultado obtenido de la relación lado largo – largo y con el tipo de panel pasamos a tomar los datos de las tablas de coeficientes (E-060, 2019, pág. 118) para el caso 2 que trata a paneles de losa con 4 lados continuos y relación **0.95**.

Utilizaremos las Ecuaciones:

$$M_{a,neg} = C_{a,neg} W l_a^2 \quad \text{y} \quad M_{b,neg} = C_{b,neg} W l_b^2$$

- **W**= Combinación mayorada de CM + CV (total).
- **C<sub>a, neg</sub>** y **C<sub>b, neg</sub>** = Coeficientes para momentos negativos en losas en las direcciones corta y larga respectivamente.
- **l<sub>a</sub>**, **l<sub>b</sub>** = Longitud de luz libre en direcciones corta y larga

respectivamente.

**Para determinar los momentos positivos tenemos:**

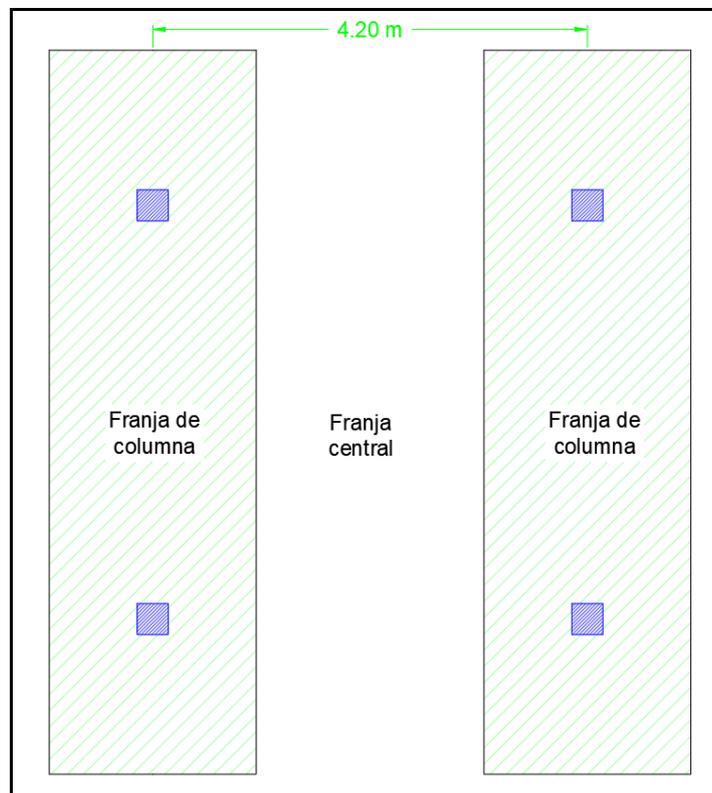
$$M_{a,pos} = C_{a,dl} W_d l_a^2 + C_{a,ll} W_l l_a^2 \quad \text{y} \quad M_{b,pos} = C_{b,dl} W_d l_b^2 + C_{b,ll} W_l l_b^2$$

- $W_d$  = Carga muerta uniforme total mayorada
- $W_l$  = Carga viva uniforme total mayorada
- $C_{a, dl}, C_{b, dl}, C_{a, ll}, C_{b, ll}$  = Coeficientes para momento positivo con respecto a la CM y CV.

**Entonces tenemos que:**

- $C_{a, neg} = 0.050$
- $C_{b, neg} = 0.041$
- $C_{a, dl} = 0.020$
- $C_{b, dl} = 0.016$
- $C_{a, ll} = 0.030$
- $C_{b, ll} = 0.025$

**Figura 12.** Distribución de franjas en la dirección larga.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Momentos Negativos.**

$$M_{b, neg} = C_{b, neg} W_b l_b^2$$

$$M_{b, neg} = 0.041 \times 898.784 \times 4.20^2$$

$$\mathbf{M_{b, neg} = 650.037 \text{ kg-m}}$$

- **Momentos Positivos.**

$$M_{b, pos} = C_{b, dl} W_d l_b^2 + C_{b, ll} W_l l_b^2$$

$$M_{b, pos} = 0.016 \times (1.2 \times 482.32) \times 4.20^2 + 0.025 \times (1.6 \times 200) \times 4.20^2$$

$$\mathbf{M_{b, pos} = 304.476 \text{ kg-m}}$$

- **Acero negativo**

✓ Cálculo de  $k$  (factor de longitud efectiva para miembros en compresión).

- $$k = \frac{M_u}{\phi \cdot f'c \cdot bw \cdot d^2}$$

$$k = \frac{650.037 \times 100}{0.9 \times 210 \times 20 \times 12^2} = \mathbf{0.12}$$

- $$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(k)}}{1.18}$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(0.12)}}{1.18} = \mathbf{0.13}$$

✓ Cálculo de  $\rho$  (cuantía del refuerzo  $A_s$  evaluada sobre el área  $bd$ ).

- $$\rho = q \frac{f'c}{f_y}$$

$$\rho = 0.13 \times \frac{210}{4200} = \mathbf{0.0065}$$

✓ Cálculo de  $A_s$  (área de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción).

- $$\mathbf{A_s = \rho \cdot bw \cdot d}$$

$$A_s = 0,0065 \times 20 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$$

$$A_s = 1.56 \text{ cm}^2 \text{----- } 2\phi 12 \text{ mm} = 2.26 \text{ cm}^2$$

- **Acero positivo**

- $$k = \frac{M_u}{\phi \cdot f'c \cdot bw \cdot d^2}$$

$$k = \frac{304.476 \times 100}{0.9 \times 210 \times 20 \times 12^2} = 0.056$$

- $$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(k)}}{1.18}$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(0.056)}}{1.18} = 0.058$$

✓ Cálculo de  $\rho$  (cuantía del refuerzo  $A_s$  evaluada sobre el área **bd**).

- $$\rho = q \frac{f'c}{f_y}$$

$$\rho = 0.058 \times \frac{210}{4200} = 0.0029$$

Seguendo los lineamientos de la normativa ACI, el *pmín* debe tener un valor de **0.0033**.

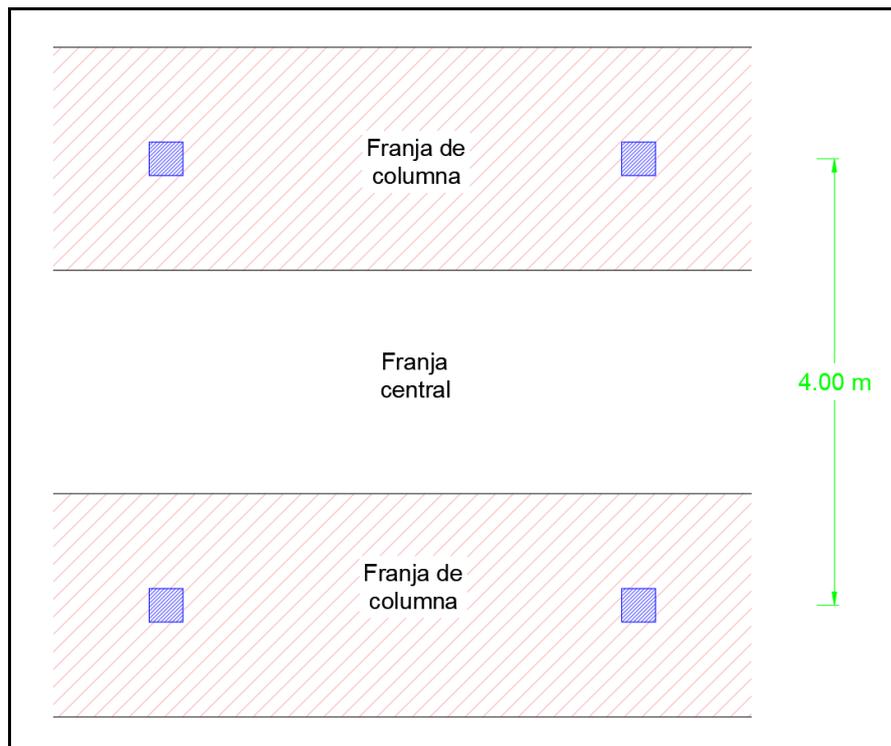
✓ Cálculo de  $A_s$  (área de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción).

- $$A_s = \rho \cdot bw \cdot d$$

$$A_s = 0,0033 \times 20 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$$

$$A_s = 0.79 \text{ cm}^2 \text{----- } 2\phi 3/8'' = 1.42 \text{ cm}^2$$

**Figura 13.** División de franjas en la dirección corta.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Momentos Negativos.**

$$M_{a, neg} = C_{a, neg} W l_a^2$$

$$M_{a, neg} = 0.050 \times 898.784 \times 4.00^2$$

$$\mathbf{M_{a, neg} = 719.027 \text{ kg-m}}$$

- **Momentos Positivos.**

$$M_{a, pos} = C_{a, dl} W_d l_a^2 + C_{a, ll} W_l l_a^2$$

$$M_{a, pos} = 0.020 \times (1.2 \times 482.32) \times 4.00^2 + 0.030 \times (1.6 \times 200) \times 4.00^2$$

$$\mathbf{M_{a, pos} = 338.811 \text{ kg-m}}$$

- **Acero negativo**

- ✓ Cálculo de  $k$  (factor de longitud efectiva para miembros en compresión).

- $$k = \frac{M_u}{\phi \cdot f'c \cdot bw \cdot d^2}$$

$$k = \frac{719.027 \times 100}{0.9 \times 210 \times 20 \times 12^2} = 0.13$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(k)}}{1.18}$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(0.13)}}{1.18} = 0.14$$

✓ Cálculo de  $\rho$  (cuantía del refuerzo  $A_s$  evaluada sobre el área  $bd$ ).

$$\rho = q \frac{f'_c}{f_y}$$

$$\rho = 0.14 \times \frac{210}{4200} = 0.0070$$

✓ Cálculo de  $A_s$  (área de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción).

$$A_s = \rho \cdot bw \cdot d$$

$$A_s = 0.0070 \times 20 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$$

$$A_s = 1.68 \text{ cm}^2 \text{----- } 2\phi 12 \text{ mm} = 2.26 \text{ cm}^2$$

• **Acero positivo**

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot f'_c \cdot bw \cdot d^2}$$

$$k = \frac{338.811 \times 100}{0.9 \times 210 \times 20 \times 12^2} = 0.062$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(k)}}{1.18}$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(0.062)}}{1.18} = 0.064$$

✓ Cálculo de  $\rho$  (cuantía del refuerzo  $A_s$  evaluada sobre el área  $bd$ ).

$$\rho = q \frac{f'_c}{f_y}$$

$$\rho = 0.064 \times \frac{210}{4200} = 0.0032$$

Seguendo los lineamientos de la normativa ACI, el *p<sub>min</sub>* debe tener un valor de **0.0033**.

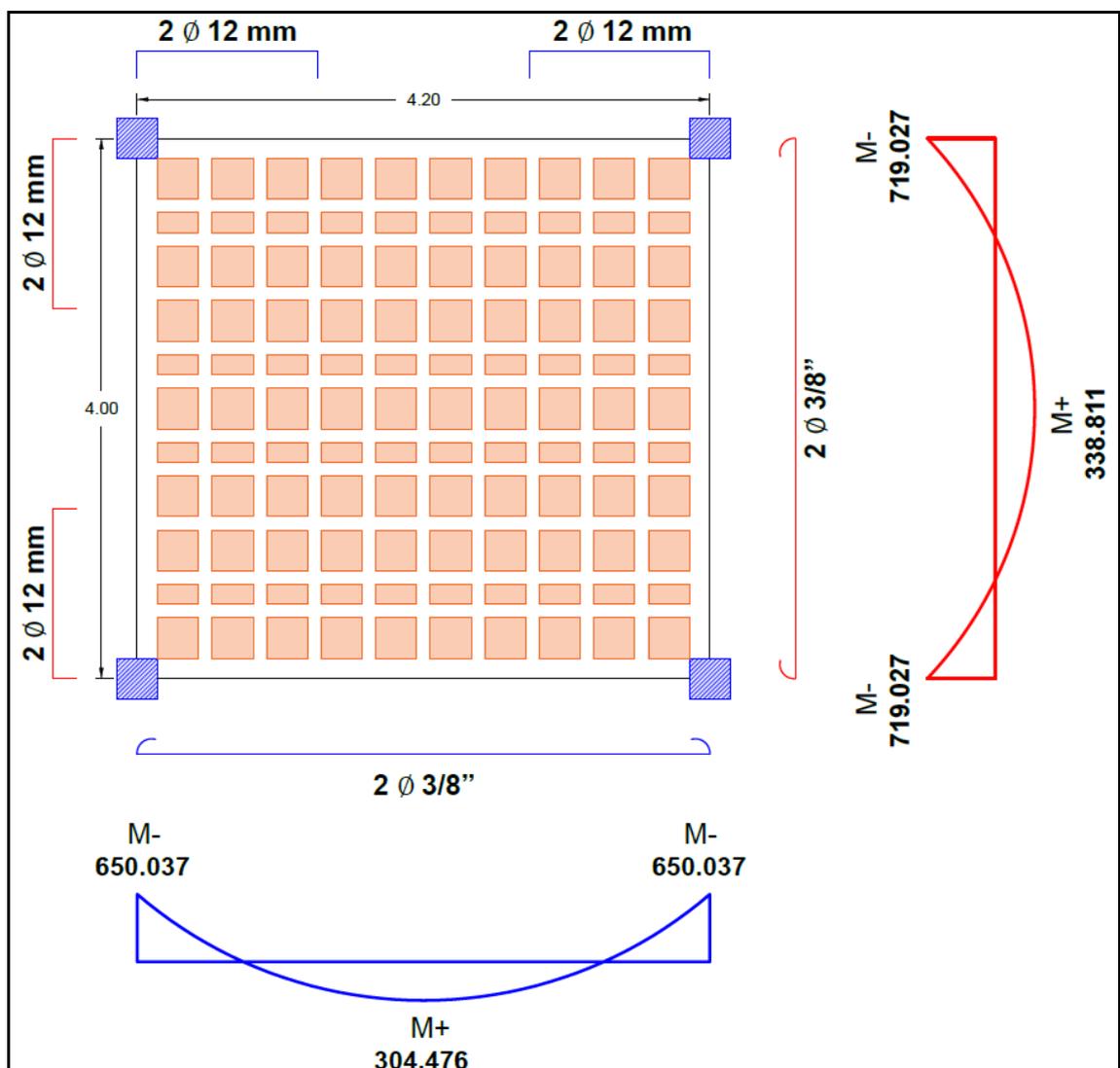
✓ Cálculo de  $A_s$  (área de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción).

- $A_s = \rho \cdot b_w \cdot d$

$$A_s = 0,0033 \times 20 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$$

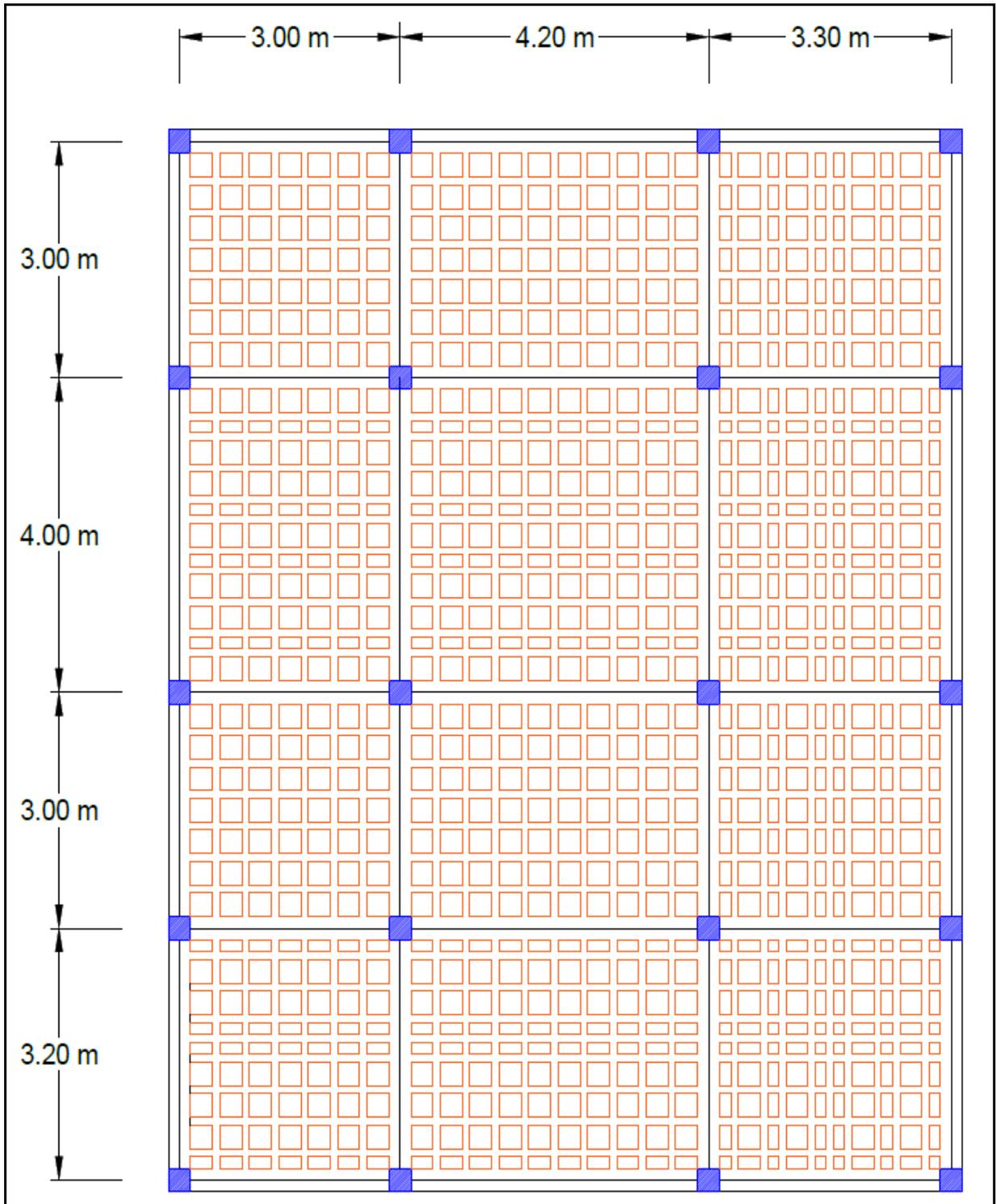
$$A_s = 0.79 \text{ cm}^2 \text{----- } 2\phi 3/8'' = 1.42 \text{ cm}^2$$

**Figura 14.** Armado de acero del tablero analizado.



Fuente: Elaboración Propia.

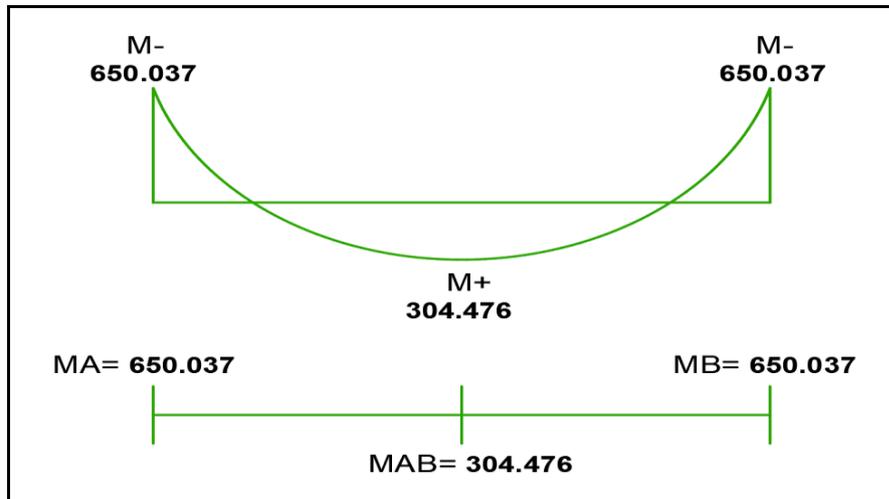
**Figura 15.** Armado de losa aligerada.



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.1.1.4 Cálculo de deflexiones en dirección larga

Figura 16. Distribución de momentos en dirección larga.



Fuente: Elaboración Propia.

#### DATOS:

$$M_a = 650.037 \text{ kg-m}$$

$$L_b = 4.20 \text{ m}$$

$$A_s = 2.26 \text{ cm}^2$$

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$b_w = 20 \text{ cm}$$

- Cálculo del módulo de elasticidad del concreto,  $E_c$ .

$$E_c = W^{1.5} \times 0.14 \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 2400^{1.5} \times 0.14 \sqrt{210} = 238536.34 \text{ kg/cm}^2$$

- Cálculo del módulo de ruptura del concreto,  $f_r$ .

$$f_r = 2\lambda \sqrt{f'_c}$$

El factor de modificación  $\lambda$  se toma de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 8. Factor de modificación  $\lambda$ .

| Concreto       | Composición de los agregados | $\lambda$ |
|----------------|------------------------------|-----------|
| Todos livianos | Fino: ASTM C330M             | 0.75      |
|                | Grueso: ASTM C330M           |           |

|                               |  |                |
|-------------------------------|--|----------------|
| Liviano, mezcla fina          | Fino: Combinación de ASTM C330M y C33M   | 0.75 a 0.85[1] |
|                               | Grueso: ASTM C330                        |                |
| Arena, liviana                | Fino: ASTM C33M                          | 0.85           |
|                               | Grueso: ASTM C330M                       |                |
| Arena, liviana, mezcla gruesa | Fino: ASTM C33M                          | 0.85 a 1.00[2] |
|                               | Grueso: Combinación de ASTM C330M y C33M |                |
| Peso normal                   | Fino: ASTM C33M                          | 1.00           |
|                               | Grueso: ASTM C33M                        |                |

Fuente: (Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14), p. 334).

Por lo tanto, acorde a la tabla el factor de modificación  $\lambda = 1$ , ya que utilizaremos agregados de peso normal.

$$f_r = 2(1)\sqrt{210} = 28.98$$

- **Cálculo de momento de inercia de la sección bruta con respecto al eje que pasa por el centroide, sin tener en cuenta el refuerzo,  $I_g$ .**

$$\bullet \quad I_g = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$I_g = \frac{420\text{cm} \times (15\text{cm})^3}{12} = 118125 \text{ cm}^4$$

- **Cálculo de número de unidades, tales como ensayos de resistencia, barras, alambres, dispositivos de anclaje para torones individuales, anclajes, o brazos de una cabeza de cortante  $\eta$ .**

$$\bullet \quad \eta = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\eta = \frac{2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2}{238536.34 \text{ kg/cm}^2} = 8.804$$

- **Cálculo de  $Pr$ .**

$$\bullet \quad Pr = \frac{As}{bw \times d}$$

$$Pr = \frac{2.26 \text{ cm}^2}{20\text{cm} \times 12\text{cm}} = 0.00942$$

- Cálculo de distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro,  $c$ .

$$c = (\sqrt{2 \times \eta Pr + (\eta Pr)^2} - \eta Pr) d$$

$$c = (\sqrt{2 \times (8.804 \times 0.00942) + (8.804 \times 0.00942)^2} - (8.804 \times 0.00942)) 12 = 3.99$$

- Cálculo de distancia del centro de gravedad a la fibra más lejana de la sección  $\gamma t$ .

$$\gamma t = h - c$$

$$\gamma t = 15 \text{ cm} - 3.99 \text{ cm} = 11.01 \text{ cm}$$

- Cálculo de momento de fisuración,  $M_{cr}$ .

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{\gamma t}$$

$$M_{cr} = \frac{28.98 \times 118125}{11.01} = 310923.02$$

- Cálculo de momento de inercia de la sección fisurada transformada a concreto,  $I_{cr}$ .

$$I_{cr} = \frac{b w \times c^3}{3} + \eta \times A_s (d - c)^2$$

$$I_{cr} = \frac{20 \times 3.99^3}{3} + 8.804 \times 2.26 (12 - 3.99)^2 = 1700.07 \text{ cm}^4$$

- Cálculo de momento de inercia efectivo para el cálculo de las deflexiones,  $I_e$ .

$$I_e = \frac{(M_{cr})^3 I_g}{M_a} + [1 - \frac{(M_{cr})^3}{M_a}] I_{cr}$$

$$I_e = \frac{(310923.02)^3 \times 118125}{650.037 \times 100} + [1 - \frac{(310923.02)^3}{650.037 \times 100}] \times 1700.07$$

$$I_e = 12742314.88$$

- Cálculo de deflexiones instantáneas producidas por las cargas de servicio  $\Delta_1$ .

$$\Delta_1 = \frac{5 W L^4}{384 E_s I_e}$$

$$W = D + L$$

$$W = 482.32 + 200 = 682.32$$

$$\Delta_1 = \frac{5 \times 682.32 \times 420^4}{384 \times 200000 \times 12742314.88}$$

$$384 \times 2.1 \times 10^6 \times 12742314.88$$

$$\Delta_1 = 0.010 \text{ cm}$$

- Cálculo de las deflexiones instantáneas generadas por el Momento Negativo **Ma**.

$$\bullet \quad \Delta_2 = \frac{MaL^2}{16Esl^3}$$

$$\Delta_2 = \frac{650.037 \times 420^2}{16 \times 2.1 \times 10^6 \times 12742314.88}$$

$$\Delta_2 = 2.69 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

- Cálculo de las deflexiones instantáneas generadas por el Momento Negativo **Mb**.

$$\bullet \quad \Delta_3 = \frac{MbL^2}{16Esl^3}$$

$$\Delta_3 = \frac{650.037 \times 420^2}{16 \times 2.1 \times 10^6 \times 12742314.88}$$

$$\Delta_3 = 2.69 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

- Sumatoria de las deflexiones instantáneas totales previamente calculadas.

$$\bullet \quad \Delta_{TOTAL} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$$

$$\Delta_i = 0.010 \text{ cm} + 2.69 \times 10^{-7} \text{ cm} + 2.69 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

$$\Delta_{TOTAL} = 0.010 \text{ cm}$$

- Cálculo de deflexiones diferidas o adicionales a largo plazo.

$$\bullet \quad \lambda \Delta = \frac{\xi}{1 + 50p'}$$

El factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas para 5 años es igual a  $\xi = 2.0$ , entonces:

$$\lambda \Delta = \frac{2.0}{1 + 50(0.0033)}$$

$$\lambda \Delta = 1.72$$

$$\bullet \quad \Delta_{LP} = \lambda \Delta \times \Delta_i$$

$$\Delta_{LP} = 1.72 \times 0.010 = 0.017 \text{ cm}$$

- Sumatoria para hallar la deflexión total calculada.

$$\bullet \quad \Delta_{total} = \Delta_i + \Delta_{LP}$$

$$\Delta_{total} = 0.010 \text{ cm} + 0.017 \text{ cm} = \mathbf{0.027 \text{ cm}}$$

- **Deflexión máxima propuesta en el Código ACI 318S-14.**

De la Tabla N°4 seleccionamos la formula para la deflexión máxima calculada correspondiendo a cubiertas o entrepisos que están sujetos a elementos no estructurales, que pueden sufrir daños debido a deformaciones elevadas.

- $\Delta_{adm} = \frac{Ln}{480}$

$$\Delta_{adm} = \frac{420}{480} = 0.875$$

- $\Delta_{adm} \geq \Delta_{total}$

$$\mathbf{0.875 \text{ cm} \geq 0.027 \text{ cm} \dots \text{OK}}$$

#### 4.1.1.1.5 Cálculo de la cortante por punzonamiento.

**Datos:**

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$\text{columnas} = 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$$

$$L = 4.20 \text{ m}$$

$$U = 898.784 \text{ kg/m}^2$$

$$d = 12 \text{ cm}$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

- **Sección Crítica**

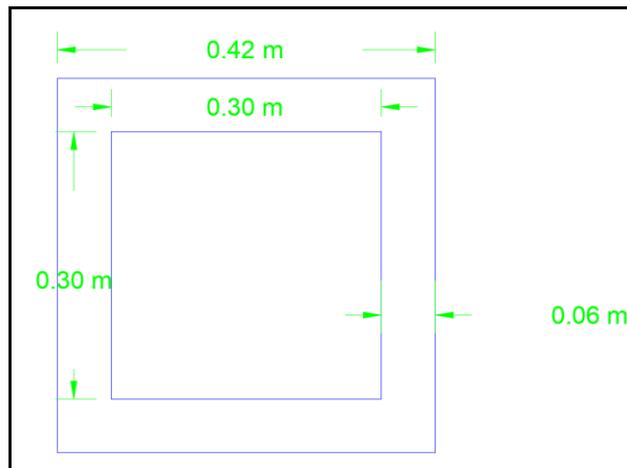
- $\text{Seccion}_{crit} = \frac{d}{2}$

$$\text{Seccion}_{crit} = \frac{12}{2} = \mathbf{6.00 \text{ cm}}$$

- **Perímetro Cortante**

$$b_o = 30 + 6 + 6 = 42.00 \times 4 = 168 \text{ cm}$$

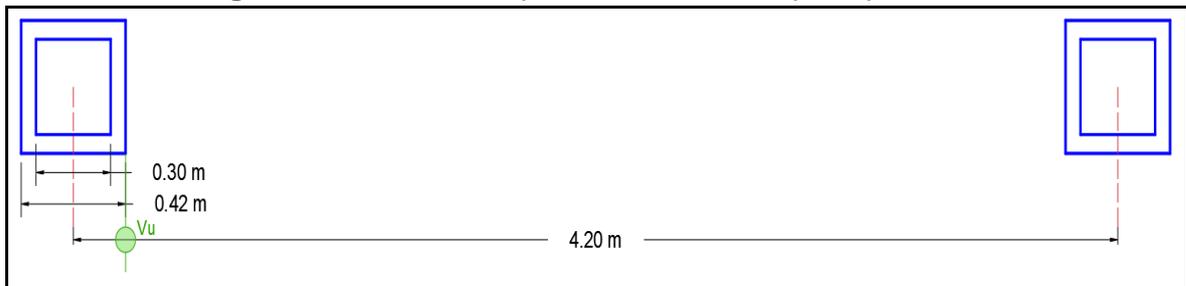
**Figura 17.** Detalle del perímetro cortante para punzonamiento.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Cortante Mayorado.**

**Figura 18.** Detalle del perímetro cortante para punzonamiento.



Fuente: Elaboración Propia.

- $V_u = 898.784 \times (4.20^2 - 0.42^2) = \mathbf{15696.004}$
- $\phi V_c = 1.1 \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$   
 $\phi V_c = 0.85 \times 1.1 \sqrt{210} \times 168 \times 12 = \mathbf{27315.67}$
- $\phi V_c \geq V_u$   
 $27315.67 \geq 15696.004 \dots \mathbf{OK}$

**Tabla 9.** Resultados totales del modelado matemático de la losa patrón.

|                       | Carga Última U (Kg/m <sup>2</sup> ) | Momentos flectores (Kg-m) |         | Deflexiones Producidas (cm) |               |            |                | Armado del Acero |                |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------|-----------------------------|---------------|------------|----------------|------------------|----------------|
|                       |                                     | M+                        | M-      | $\Delta_i$                  | $\Delta_{LP}$ | $\Delta_T$ | $\Delta_{adm}$ | Acero Positivo   | Acero Negativo |
| Losa Aligerada Patrón | 898.784                             | 304.476                   | 650.037 | 0.010                       | 0.017         | 0.027      | 0.875          | 2 $\phi$ 3/8"    | 2 $\phi$ 12mm  |

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos obtenidos del cálculo matemático nos ayudaron para tener como referencia el diseño, armado y análisis de las maquetas de losas que se elaboraron para los ensayos practico-experimentales, tanto como para la losa convencional de ladrillo de techo como para la losa aligerada con botellas recicladas PET.

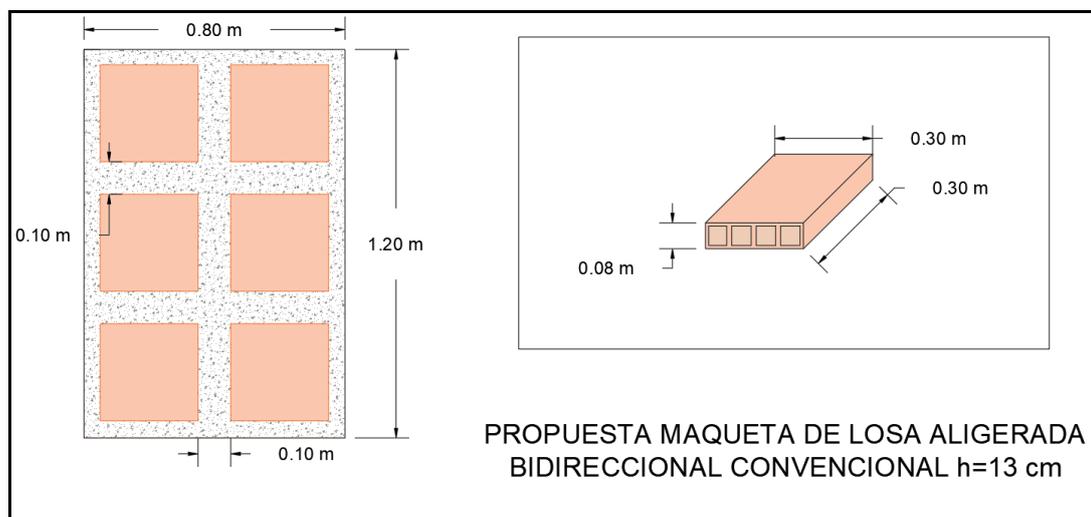
#### 4.1.2 Análisis Practico-Experimental de las Maquetas de Losa Aligerada.

Para este análisis se procedió a ensayar 02 losas aligeradas con ladrillos de techo y 02 aligeradas con botellas recicladas PET, utilizando concreto con resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  cuyo diseño de mezcla se encuentra detallado en el **Anexo N°7 Informe de Diseño de mezcla  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  Laboratorio N°1 de ensayos UNI**. El ensayo a flexión se realizó con carga central distribuida en la longitud del ancho de la losa, como una viga simplemente apoyada. En la zona central de la carga distribuida se colocó un deformímetro para medir las deformaciones. Ver **Anexo N°8. Informe de Prueba de Cargas en Losas Aligeradas**.

El proceso constructivo y ensayado se encuentra en el **Anexo N°9. Panel fotográfico del proceso constructivo y ensayo a flexión de maquetas de losas aligeradas**.

##### 4.1.2.1 Análisis Practico-Experimental Losa Aligerada Convencional.

**Figura 19.** Detalle de armado de maqueta de losa aligerada bidireccional convencional.



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 20.** Proceso de ensayo de flexión con gata hidráulica y deformímetro para la toma de las deflexiones en maqueta de losa aligerada convencional.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Deflexiones obtenidas con el deformímetro en el ensayo practico-experimental de las 02 losas aligeradas convencionales.**

**Tabla 10.** Deflexiones obtenidas por el deformímetro en el primer ensayo de la maqueta de losa convencional.

| LOSA CONVENCIONAL 1 |             |                  |
|---------------------|-------------|------------------|
| Esfuerzo (PSI)      | Carga (Kgf) | Deformación (mm) |
| 200                 | 904         | 1.38             |
| 400                 | 1536        | 1.659            |
| 600                 | 2168        | 1.996            |
| 800                 | 2799        | 2.655            |
| 900                 | 3115        | 3.073            |
| 1000                | 3431        | 3.434*           |
| 1200                | 4063        | 4.156            |
| 1400                | 4695        | 6.384            |
| 1600                | 5327        | 8.607*           |
| 1800                | 5958        | 10.827**         |
| 2000                |             |                  |
| 2200                |             |                  |
| 2400                |             |                  |
| 2600                |             |                  |

Fuente: Elaboración Propia.

1.\*Deformaciones calculadas mediante interpolación puesto que en el ensayo no se tomó registro a ese nivel de carga.

2. \*\* Deformación y esfuerzo máximos alcanzados antes de la falla de la estructura.

**Tabla 11.** *Deflexiones obtenidas por el deformímetro en el segundo ensayo de la maqueta de losa convencional.*

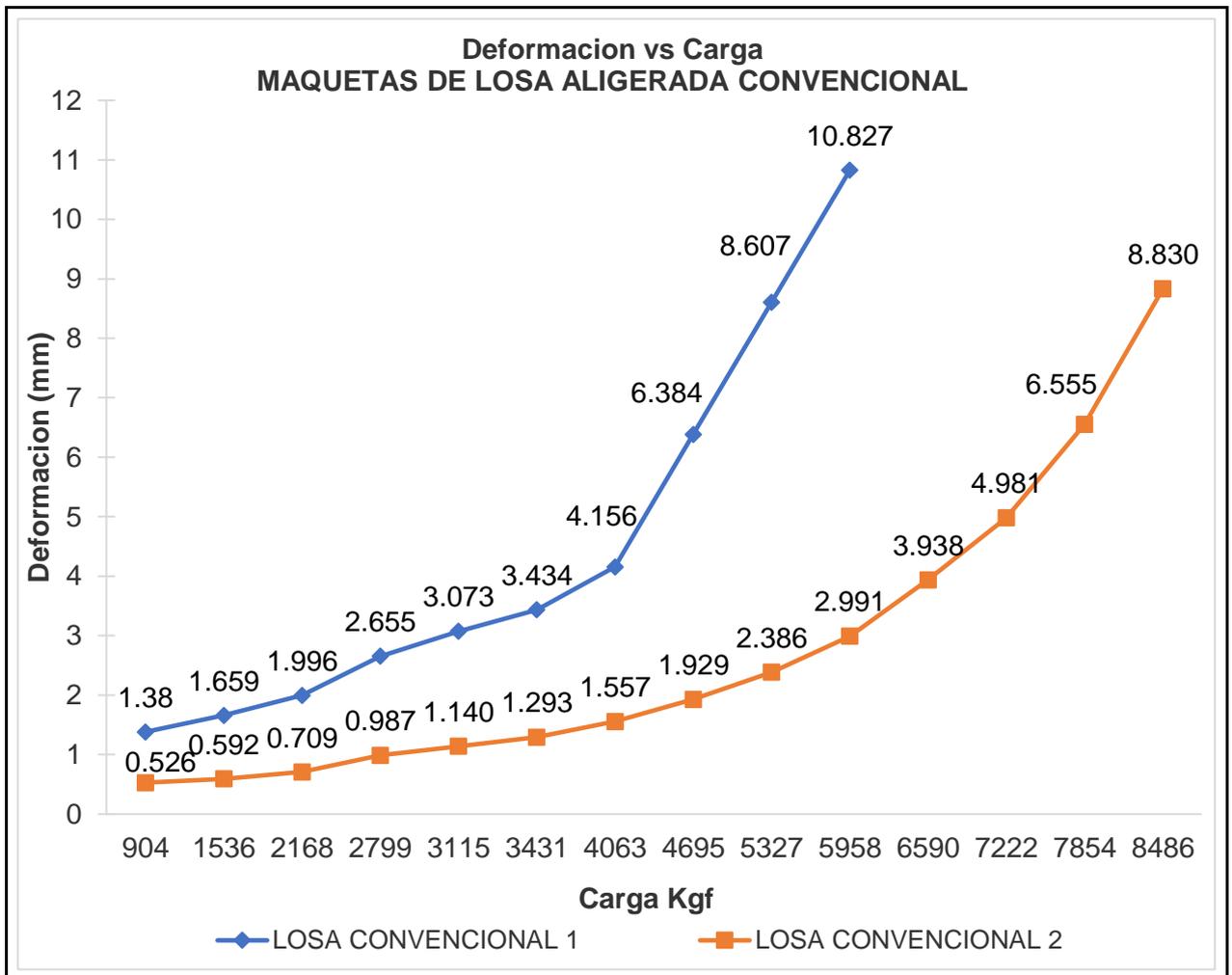
| LOSA CONVENCIONAL 2 |             |                  |
|---------------------|-------------|------------------|
| Esfuerzo (PSI)      | Carga (Kgf) | Deformación (mm) |
| 200                 | 904         | 0.526            |
| 400                 | 1536        | 0.592            |
| 600                 | 2168        | 0.709            |
| 800                 | 2799        | 0.987            |
| 900                 | 3115        | 1.140*           |
| 1000                | 3431        | 1.293            |
| 1200                | 4063        | 1.557            |
| 1400                | 4695        | 1.929            |
| 1600                | 5327        | 2.386            |
| 1800                | 5958        | 2.991            |
| 2000                | 6590        | 3.938            |
| 2200                | 7222        | 4.981            |
| 2400                | 7854        | 6.555            |
| 2600                | 8486        | 8.830**          |

Fuente: Elaboración Propia.

1.\*Deformaciones calculadas mediante interpolación puesto que en el ensayo no se tomó registro a ese nivel de carga.

2. \*\* Deformación y esfuerzo máximos alcanzados antes de la falla de la estructura.

**Figura 21.** Grafico de Deformación vs Carga para las maquetas de losa aligeradas convencionales.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Cálculo de la Carga Muerta (CM) de la maqueta de losa convencional.**

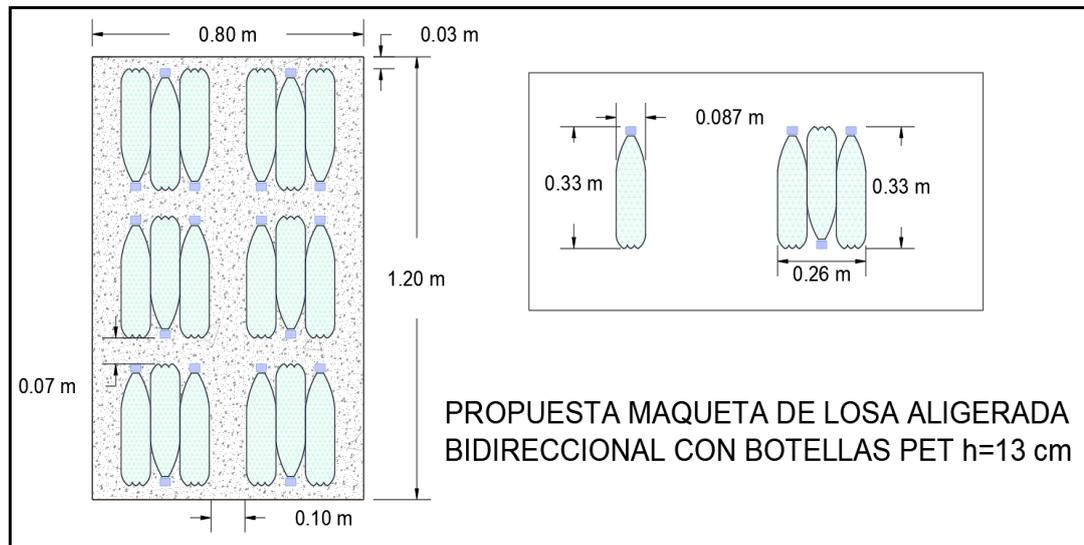
Peso propio de losa =  $[(1.20 \times 0.80 \times 0.13) - (0.30 \times 0.30 \times 0.08 \times 6)] \times 2400 = 195.84 \text{ kg}$

Peso de aligerado (Ladrillo de 8 cm) =  $4.34 \times 6 = 26.04 \text{ kg}$

**Peso total = 195.84 + 26.04 = 221.88 kg**

#### 4.1.2.2 Análisis Practico-Experimental Losa Aligerada con la Adición de Botellas Reciclas PET.

**Figura 22.** Detalle de armado de maqueta de losa aligerada bidireccional con botellas recicladas PET.



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 23.** Proceso de ensayo de flexión con gata hidráulica y deformímetro para la toma de las deflexiones en maqueta de losa aligerada con botellas recicladas PET.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Deflexiones obtenidas con el deformímetro en el ensayo practico-experimental de las 02 losas aligeradas con botellas recicladas PET.**

**Tabla 12.** *Deflexiones obtenidas con el deformímetro en el primer ensayo de la maqueta de losa aligerada con botellas PET.*

| LOSA ALIGERADA PET 1 |             |                  |
|----------------------|-------------|------------------|
| Esfuerzo (PSI)       | Carga (Kgf) | Deformación (mm) |
| 200                  | 904         | 0.292            |
| 400                  | 1536        | 0.488            |
| 600                  | 2168        | 0.833            |
| 800                  | 2799        | 1.352            |
| 900                  | 3115        | 1.585*           |
| 1000                 | 3431        | 1.817            |
| 1200                 | 4063        | 2.2              |
| 1400                 | 4695        | 3.375            |
| 1600                 | 5327        | 3.771            |
| 1800                 | 5958        | 4.551            |
| 2000                 | 6590        | 5.619            |
| 2200                 | 7222        | 6.751            |
| 2300                 | 7538        | 8.975**          |
| 2400                 | 7854        |                  |
| 2600                 | 8486        |                  |

Fuente: Elaboración Propia.

1.\*Deformaciones calculadas mediante interpolación puesto que en el ensayo no se tomó registro a ese nivel de carga.

2. \*\* Deformación y esfuerzo máximos alcanzados antes de la falla de la estructura.

**Tabla 13.** *Deflexiones obtenidas con el deformímetro en el segundo ensayo de la maqueta de losa aligerada con botellas PET.*

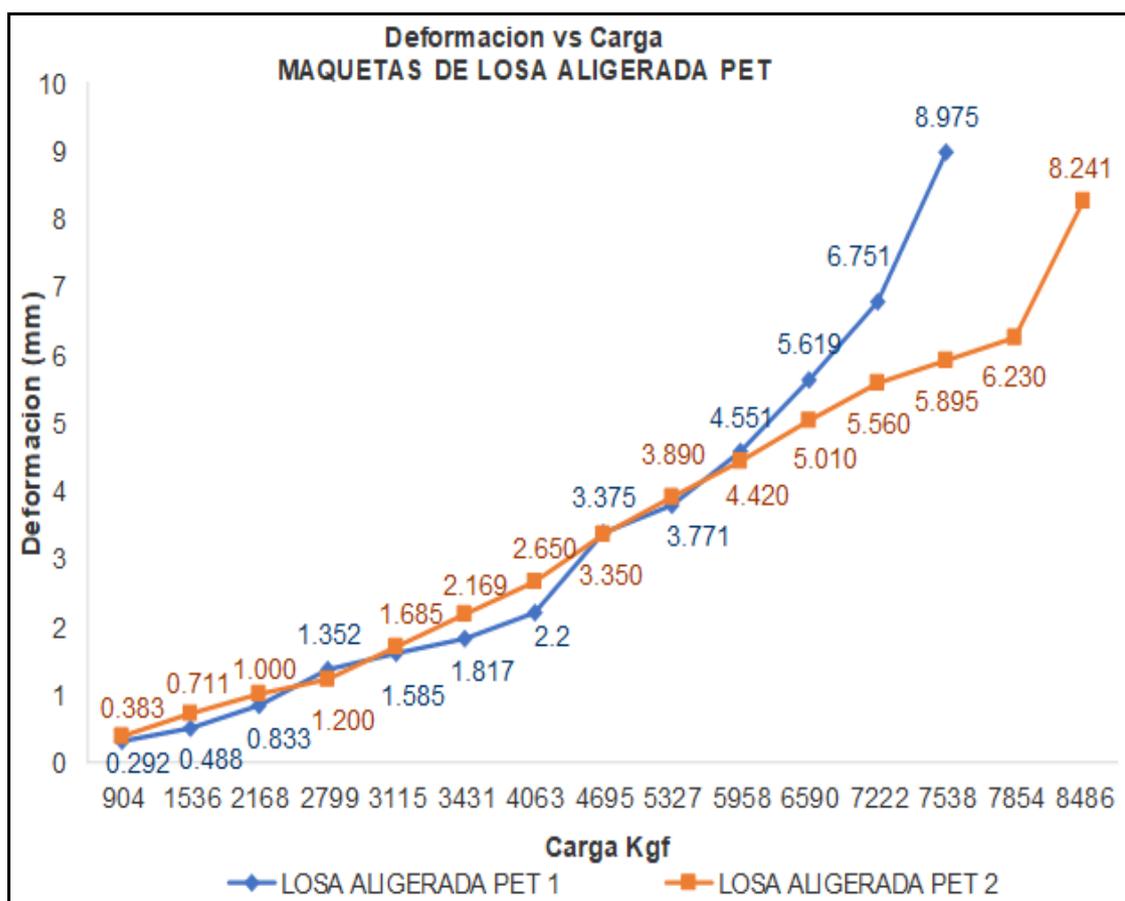
| LOSA ALIGERADA PET 2 |             |                  |
|----------------------|-------------|------------------|
| CARGA PSI            | Carga (Kgf) | Deformación (mm) |
| 200                  | 904         | 0.383            |
| 400                  | 1536        | 0.711            |
| 600                  | 2168        | 1.000            |
| 800                  | 2799        | 1.200            |
| 900                  | 3115        | 1.685*           |
| 1000                 | 3431        | 2.169            |

|      |      |         |
|------|------|---------|
| 1200 | 4063 | 2.650   |
| 1400 | 4695 | 3.350   |
| 1600 | 5327 | 3.890   |
| 1800 | 5958 | 4.420   |
| 2000 | 6590 | 5.010   |
| 2200 | 7222 | 5.560   |
| 2300 | 7538 | 5.895*  |
| 2400 | 7854 | 6.230   |
| 2600 | 8486 | 8.241** |

Fuente: Elaboración Propia.

- 1.\*Deformaciones calculadas mediante interpolación puesto que en el ensayo no se tomó registro a ese nivel de carga.
2. \*\* Deformación y esfuerzo máximos alcanzados antes de la falla de la estructura.

**Figura 24.** Gráfico de Deformación vs Carga para las maquetas de losa aligeradas con botellas recicladas PET.



Fuente: Elaboración Propia.

Se observo que en instancias iniciales (primeros 800 psi de carga) del ensayo de flexión con carga aplicada con la gata hidráulica, las losas aligeradas con botellas recicladas PET, denotan un menor promedio de deformación en su estructura en comparación con las losas aligeradas convencionales siendo los promedios de deformación de **1.28 mm** y **1.82 mm** respectivamente. Y para instancias finales del ensayo (2600 psi de carga) se observó que la diferencia en las deformaciones para ambos tipos de losa fue de **8.24 mm** para la losa aligerada PET y de **8.83 mm** para la losa aligerada convencional; por lo cual podemos concluir que la losa aligerada PET presenta una óptima y admisible deformación en comparación a la losa aligerada convencional, corroborando de esta manera nuestra primera hipótesis específica planteada. Ver **Anexo N°10 Informe de Prueba de Carga en maqueta de losas aligeradas-Laboratorio N°1 de ensayos UNI.**

- **Cálculo de la Carga Muerta (CM) de la maqueta de losa aligerada PET.**

Volumen de aligerado generado por la botella PET = 1.8 litros  $\Leftrightarrow$  **0.0018 m<sup>3</sup>**

Peso propio de losa= $[(1.20 \times 0.80 \times 0.13) - (0.0018 \times 18)] \times 2400 =$  **221.76 kg**

Peso de aligerado (03 botellas de 1.5 litros) =  $0.145 \times 6 =$  **0.87 kg**

**Peso total = 221.76 + 0.87 = 222.63 kg**

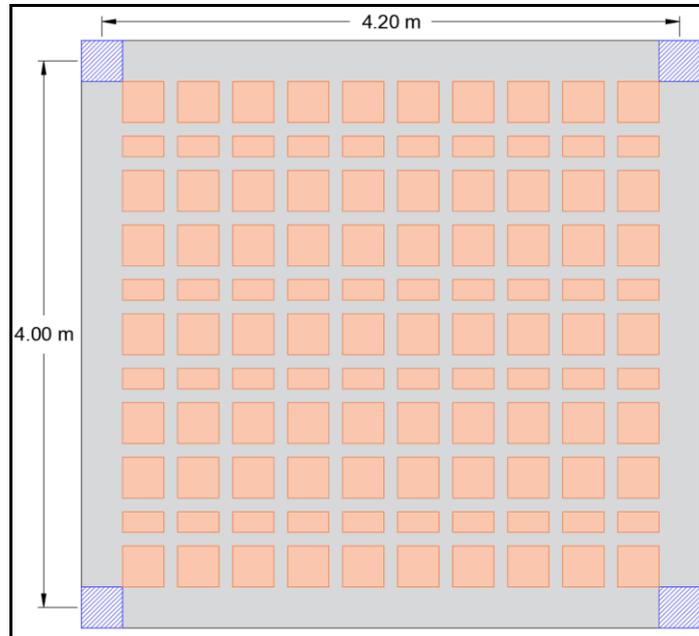
Podemos concluir que, en lo referido a los pesos de ambas maquetas de losa, observamos que las losas aligeradas convencional (ladrillo de techo de 8 cm de espesor) tienen un peso ligeramente menor en comparación las losas aligeradas con botellas recicladas PET, siendo los pesos **221.88 kg** y **222.63 kg**. Esto es debido a que el ladrillo de techo convencional ocupa un mayor y más uniforme volumen dentro de la losa aligerada, reduciendo de esta manera el volumen del concreto y por ende reduciendo el peso.

#### **4.1.3 Análisis de costo unitario de ambos tipos de losa.**

Para poder realizar la determinación del precio referencial de ambos tipos de losas, se procedió a analizar los costos de armado y vaceado de la losa crítica evaluada en el cálculo matemático.

#### 4.1.3.1 Análisis de costo unitario referencial de la losa aligerada convencional.

**Figura 25.** Detalle de armado de losa crítica aligerada bidireccional convencional de ladrillo de techo.



Fuente: Elaboración Propia.

$$\text{Volumen de la losa} = 4.20 \times 4.00 \times 0.20 = \mathbf{3.36 \text{ m}^3}$$

Volumen del aligerante (Ladrillo de techo de 8 huecos)

$$= (0.30 \times 0.30 \times 0.15) \times 90 = \mathbf{1.215 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen de concreto para la losa} = \text{Vol}_{\text{losa}} - \text{Vol}_{\text{alig}} = 3.36 - 1.215 = \mathbf{2.145 \text{ m}^3}$$

Cantidad de ladrillos de techo = **90 und.**

Peso del ladrillo de techo de 8 huecos = **8 kg**

$$\text{Peso total de la losa} = (2.145 \times 2400) + (8 \times 90) = \mathbf{5868 \text{ kg}}$$

- **Costo referencial de los materiales utilizados para la losa convencional.**

**Tabla 14.** Costo referencial para la elaboración de losa aligerada convencional (Precio sin IGV, actualizados al mes de octubre de 2021 basados en la revista Costos)

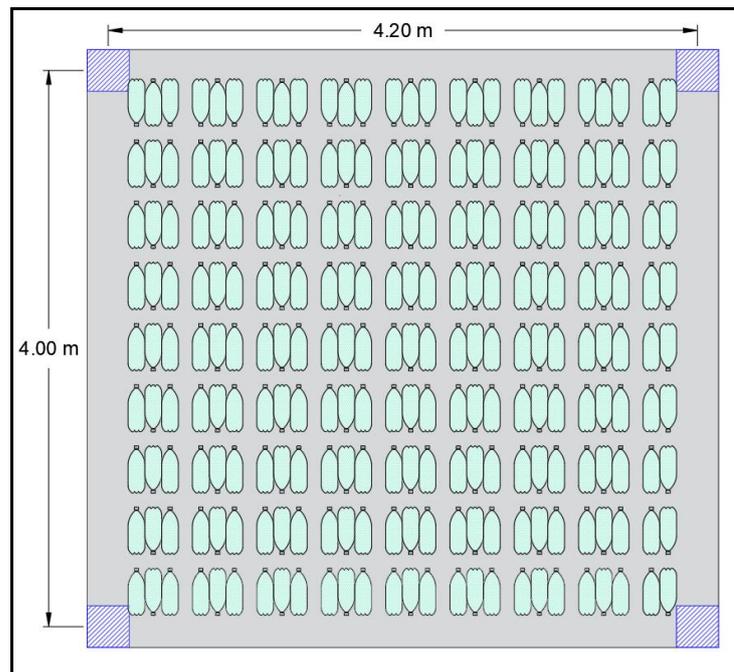
| Descripción   | Unidad | Cantidad | Precio Unitario (S/.) | Total  |
|---|--------|----------|-----------------------|--------|
| Concreto premezclado<br>f'c=210 kg/cm para Losas Aligeradas | m3     | 2.145    | 296.11                | 635.16 |

|                            |     |        |              |                |
|----------------------------|-----|--------|--------------|----------------|
| Ladrillo de techo 15x30x30 | und | 90     | 3.5          | 315            |
| Encofrado y desencofrado   | m2  | 16.8   | 48.04        | 807.072        |
| Acero de refuerzo          | kg  | 100.41 | 6.13         | 615.53         |
|                            |     |        | <b>Total</b> | <b>2372.76</b> |

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.3.2 Análisis de costo unitario referencial de la losa aligerada con botellas recicladas PET.

**Figura 26.** Detalle de armado de losa crítica aligerada bidireccional con botellas recicladas PET.



Fuente: Elaboración Propia.

$$\text{Volumen de la losa} = 4.20 \times 4.00 \times 0.20 = \mathbf{3.36 \text{ m}^3}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen del aligerante (Botella reciclada PET de 3 litros)} &= 0.0034 \times 234 \\ &= \mathbf{0.80 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de concreto para la losa} = \text{Vol}_{\text{losa}} - \text{Vol}_{\text{alig}} = 3.36 - 0.80 = \mathbf{2.56 \text{ m}^3}$$

$$\text{Cantidad de botellas PET} = \mathbf{234 \text{ und.}}$$

$$\text{Peso de la botella reciclada PET de 3 litros} = \mathbf{0.065 \text{ kg}}$$

$$\text{Peso total de la losa} = (2.56 \times 2400) + (234 \times 0.0650) = \mathbf{6159.21 \text{ kg}}$$

Concluida la estimación de los pesos para la losa crítica definida en el cálculo matemático, observamos que la losa aligerada convencional (ladrillo de techo de 15 cm de espesor) tienen un peso menor en comparación la losa aligerada

con botellas recicladas PET, siendo los pesos **5868 kg** y **6159.21 kg**. Esto es debido a que el ladrillo de techo convencional ocupa un mayor y más uniforme volumen dentro de la losa aligerada, reduciendo de esta manera el volumen del concreto y por ende reduciendo el peso. Con esto queda desestimada nuestra segunda hipótesis específica puesto que las botellas recicladas PET no reducen el peso propio de la losa, muy por el contrario, aumenta el peso en un **4.963%**.

- **Costo referencial de los materiales utilizados para la losa convencional.**

**Tabla 15.** Costo referencial para la elaboración de losa aligerada con botellas recicladas PET (Precio sin IGV, actualizados al mes de octubre de 2021 basados en la revista Costos).

| Descripción  | Unidad | Cantidad | Precio Unitario (S/.) | Total          |
|--|--------|----------|-----------------------|----------------|
| Concreto premezclado f'c=210 kg/cm para Losas Aligeradas | m3     | 2.56     | 296.11                | 758.04         |
| Botella Reciclada PET de 3L.                             | kg     | 15.21    | 0.60                  | 9.126          |
| Encofrado y desencofrado                                 | m2     | 16.8     | 48.04                 | 807.072        |
| Acero de refuerzo  | kg     | 100.41   | 6.13                  | 615.53         |
|  |        |          | <b>Total</b>          | <b>2189.77</b> |

Fuente: Elaboración Propia.

1.\* El costo del kilogramo de plástico PET en la ciudad de Lima es de S/. 0.60 según la publicación “La Basura: Un negocio solo para emprendedores” (Guerra, 2016, párr.16).

Evaluando los costos referenciales para ambos tipos de losa críticas evaluadas en el modelo matemático, se obtuvo que la losa aligerada convencional (ladrillo de techo 15x30x30) tiene un costo referencial de **S/. 2372.76**; y la losa aligerada con botellas recicladas PET tiene un costo estimado de **S/. 2189.77**. Por lo que se concluyó que existe una reducción en el coste constructivo de **S/ 182.99**. De la misma manera podemos corroborar nuestra tercera hipótesis planteada, ya que construir losas aligeradas con botellas recicladas PET como aligerante genera una reducción en el coste constructivo, que en este caso representa una reducción en el costo de **7.712%**, precisando que, el principal ahorro se dio en el costo del aligerante utilizado.

## V. DISCUSIÓN

**5.1. Primer Objetivo Específico: Analizar la deflexión generada por las cargas en las losas aligeradas con la adición de botellas recicladas PET y ladrillos de techo convencional.**

**5.1.1. Antecedente elegido presentando resultado acorde al objetivo.**

Para la discusión de este primer objetivo tomaremos como antecedente los resultados de Basantes (2016) quien investigo sobre la eficiencia estructural de una losa nervada y una losa aligerada con pelotas de plástico, obteniendo los siguientes resultados en los ensayos de flexión en los dos tipos de losas propuestas:

**Tabla 16.** Resultados de deflexiones del modelo practico de la losa nervada.

| LOSA NERVADA      |                     |         |    |                 |
|-------------------|---------------------|---------|----|-----------------|
| PESO DE LOSA (kg) | CARGA APLICADA (kg) | CM (kg) | CV | $\Delta i$ (cm) |
| 177.6             | 0                   | 177.6   | 0  | 0               |
| 177.6             | 357.1               | 534.7   | 0  | 0               |
| 177.6             | 589.3               | 766.9   | 0  | 0.2             |
| 177.6             | 754.2               | 931.8   | 0  | 0.5             |
| 177.6             | 920.9               | 1098.5  | 0  | 0.8             |
| 177.6             | 1235.2              | 1412.8  | 0  | 1.2             |

Fuente: (Basantes, 2016, p. 74)

**Tabla 17.** Resultados de deflexiones del modelo practico de la losa aligerada con pelotas plásticas.

| LOSA ALIGERADA CON PELOTAS PLASTICAS |                     |         |    |                 |
|--------------------------------------|---------------------|---------|----|-----------------|
| PESO DE LOSA (kg)                    | CARGA APLICADA (kg) | CM (kg) | CV | $\Delta i$ (cm) |
| 297.33                               | 0                   | 297.33  | 0  | 0               |
| 297.33                               | 357.1               | 654.43  | 0  | 0               |
| 297.33                               | 589.3               | 886.63  | 0  | 0.1             |
| 297.33                               | 754.2               | 1051.53 | 0  | 0.3             |

|        |        |         |   |     |
|--------|--------|---------|---|-----|
| 297.33 | 920.9  | 1218.23 | 0 | 0.5 |
| 297.33 | 1235.2 | 1532.53 | 0 | 0.8 |

Fuente: (Basantes, 2016, p. 74)

### 5.1.2. Resultados propios

**Tabla 18.** Consolidado de los resultados obtenidos en los ensayos de carga de las maquetas de losa convencional.

| LOSA CONVENCIONAL |                  |           |                  |
|-------------------|------------------|-----------|------------------|
| LOSA 1            |                  | LOSA 2    |                  |
| CARGA PSI         | DEFORMACION (mm) | CARGA PSI | DEFORMACION (mm) |
| 200               | 1.38             | 200       | 0.526            |
| 400               | 1.659            | 400       | 0.592            |
| 600               | 1.996            | 600       | 0.709            |
| 800               | 2.655            | 800       | 0.987            |
| 900               | 3.073            | 900       | 1.140            |
| 1000              | 3.434            | 1000      | 1.293            |
| 1200              | 4.156            | 1200      | 1.557            |
| 1400              | 6.384            | 1400      | 1.929            |
| 1600              | 8.607            | 1600      | 2.386            |
| 1800              | 10.827           | 1800      | 2.991            |
| 2000              |                  | 2000      | 3.938            |
| 2200              |                  | 2200      | 4.981            |
| 2400              |                  | 2400      | 6.555            |
| 2600              |                  | 2600      | 8.830            |

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 19.** Consolidado de los resultados obtenidos en los ensayos de carga de las maquetas de losa aligerada con botellas recicladas PET.

| LOSA ALIGERADA PET |                  |           |                  |
|--------------------|------------------|-----------|------------------|
| LOSA 1             |                  | LOSA 2    |                  |
| CARGA PSI          | DEFORMACION (mm) | CARGA PSI | DEFORMACION (mm) |
| 200                | 0.292            | 200       | 0.383            |
| 400                | 0.488            | 400       | 0.711            |
| 600                | 0.833            | 600       | 1.000            |
| 800                | 1.352            | 800       | 1.200            |
| 900                | 1.585            | 900       | 1.685            |
| 1000               | 1.817            | 1000      | 2.169            |
| 1200               | 2.201            | 1200      | 2.650            |

|      |       |      |       |
|------|-------|------|-------|
| 1400 | 3.375 | 1400 | 3.350 |
| 1600 | 3.771 | 1600 | 3.890 |
| 1800 | 4.551 | 1800 | 4.420 |
| 2000 | 5.619 | 2000 | 5.010 |
| 2200 | 6.751 | 2200 | 5.560 |
| 2300 | 8.975 | 2300 | 5.895 |
| 2400 |       | 2400 | 6.230 |
| 2600 |       | 2600 | 8.241 |

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.1.3. Comparación de los resultados

La comparación de ambos resultados es netamente experimental, relativo y referencial ya que, no están aún establecidos lineamientos técnicos y teóricos para estos sistemas de losas aligeradas no convencionales (botellas y pelotas plásticas).

Podemos observar que, la losa aligerada con botellas plásticas PET presenta una menor deformación instantánea (**0.824 cm**) que las losas convencionales siendo esta la losa convencional de ladrillo (**0.883 cm**) y la losa nervada de casetón (**1.2 cm**). De la misma manera, la maqueta de losa aligerada con botellas recicladas PET muestra una deformación ligeramente mayor a la obtenida en la losa aligerada con pelotas plásticas (**0.8 cm**) siendo esta por lo tanto mas eficiente a los esfuerzos por flexión.

## 5.2. Segundo Objetivo Específico: Determinar los pesos de las losas aligeradas con botellas PET y de una losa aligerada convencional.

### 5.2.1. Antecedente elegido presentando resultado acorde al objetivo.

Para la discusión de este primer objetivo tomaremos como antecedente los resultados de Basantes (2016) quien investigo la efectividad estructural de una losa nervada y una losa aligerada con pelotas de plástico, quien obtuvo los siguientes resultados en lo referente al peso propio de cada tipo de losa elaborada.

**Tabla 20:** *Porcentaje de aumento del peso propio en ambos tipos de losas experimentales (Nervada y con pelotas plásticas).*

|                             | Losa nervada (casetón) | Losa con pelotas de plástico | Diferencia en el peso | Porcentaje de incremento del peso (%) |
|-----------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Peso propio de la losa (kg) | 177.6                  | 297.33                       | 119.73                | <b>67.416%</b>                        |

Fuente: (Basantes, 2016, p. 74)

### 5.2.2. Resultados propios

**Tabla 21.** *Porcentaje de aumento del peso propio en ambos tipos de losas críticas evaluadas en la investigación (con ladrillo de techo y con botellas plásticas PET).*

|                             | Losa convencional (ladrillo de techo 15x30x30) | Losa aligerada con botellas PET (botella 3L) | Diferencia en el peso | Porcentaje de incremento del peso (%) |
|-----------------------------|--|--|-----------------------|---------------------------------------|
| Peso propio de la losa (kg) | 5868   | 6159.21                                      | 291.21                | <b>4.963%</b>                         |

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 22.** *Porcentaje de aumento del peso propio en ambos tipos de maquetas de losas propuestas en la investigación (con ladrillo de techo y con botellas plásticas PET).*

|                             | Maqueta de losa convencional (ladrillo de techo 8x30x30) | Maqueta de losa aligerada con botellas PET (botella 1.5 L) | Diferencia en el peso | Porcentaje de incremento del peso (%) |
|-----------------------------|--|--|-----------------------|---------------------------------------|
| Peso propio de la losa (kg) | 221.88   | 222.63   | 0.75                  | <b>0.338%</b>                         |

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.3. Comparación de los resultados

El cotejado de los resultados es netamente experimental, relativo y referencial ya que, no están aún establecidos lineamientos técnicos y teóricos para estos sistemas de losas aligeradas no convencionales (botellas recicladas PET y pelotas plásticas). A su vez el proceso constructivo y de diseño son diferentes al planteando en la presente investigación.

Se deduce que, la losa aligerada con botellas plásticas PET y la losa con pelotas plásticas no reducen el peso de la losa por la razón de que al no tener volúmenes definidos y ocupar menos espacio en la losa produce que aumente

el volumen de concreto y por lo tanto aumenta el peso de la losa. Como se observa en el antecedente elegido, el porcentaje de incremento del peso de la losa con pelotas plásticas en comparación a su losa patrón (losa nervada) fue de un **67.416%**; mientras que en los resultados propios obtenidos de los pesos propios calculados se observó que tanto como en la losa crítica analizada, como en las maquetas de losas propuestas el porcentaje de aumento de los pesos fue de **4,963%** y de **0.338%** respectivamente.

### **5.3. Tercer Objetivo Específico: Evaluar la viabilidad presupuestal de la construcción de una losa aligerada con botellas de plástico PET recicladas para una vivienda unifamiliar.**

#### **5.3.1. Antecedente elegido presentando resultado acorde al objetivo.**

Para la discusión del tercer objetivo tomaremos como antecedente los resultados de Solano (2017) Solano (2017), tuvo como objetivo comparar el análisis y el diseño de las losas aligeradas bidireccionales y las losas macizas, quien obtuvo los siguientes resultados en lo referente al costo de cada tipo de losa analizada.

**Tabla 23.** Cuadro comparativo entre el costo por m2 de una losa aligerada en dos direcciones y una losa maciza.

| Tipo de Losa                      | Cantidad | Costo Total (S/.) |
|-----------------------------------|----------|-------------------|
| Losa aligerada en dos direcciones | 1m2      | 200.59            |
| Losa maciza                       | 1m2      | 299.16            |
| Diferencia                        | 1m2      | <b>98.57</b>      |

Fuente: (Solano, 2017, p. 150)

Se denota que, el costo se reduce en **S/. 98.57** por m2, significando que el m2 de losa aligerada bidireccional es más económico que el m2 de losa maciza, en un porcentaje de **32.95%** en la comparativa.

#### **5.3.2. Resultados propios**

**Tabla 24.** Cuadro comparativo del costo referencial de losa aligerada convencional y losa aligerada con botellas recicladas PET.

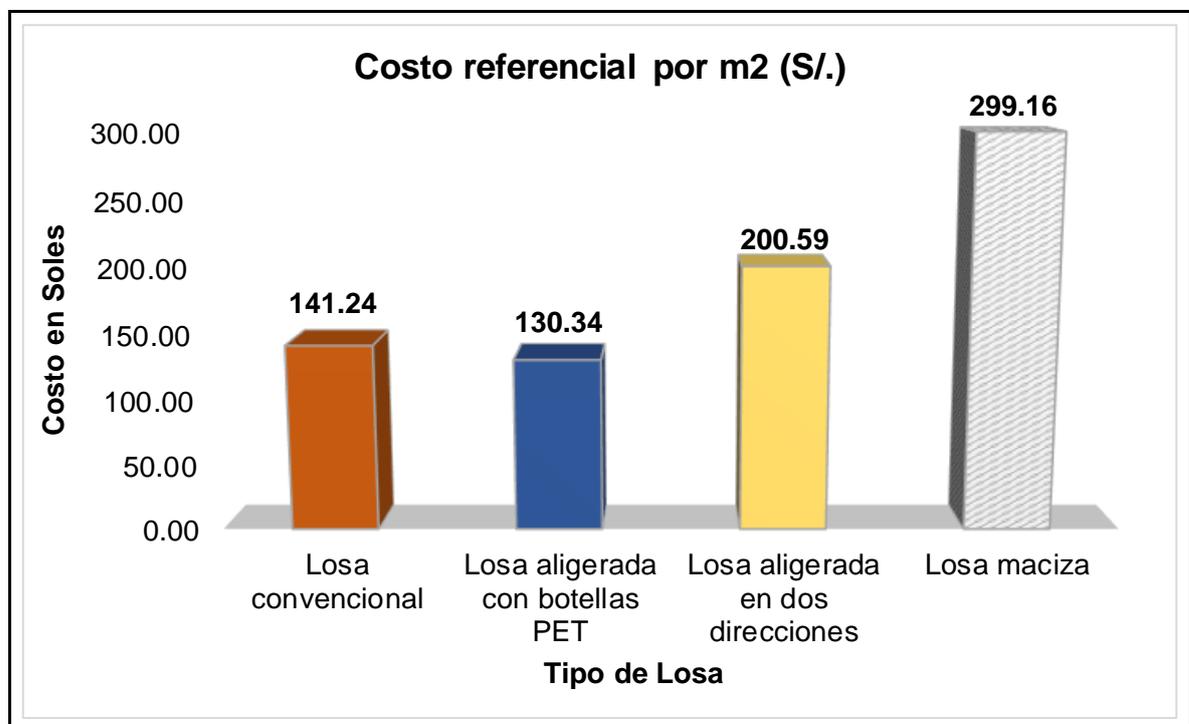
| Tipo de Losa                                   | Cantidad m2 | Costo Total (S/.)       | Costo referencial por m2 (S/.) |
|--|-------------|-------------------------|--------------------------------|
| Losa convencional (ladrillo de techo 15x30x30) | 16.8        | 2372.76                 | 141.24                         |
| Losa aligerada con botellas PET (botella 3L)   | 16.8        | 2189.77                 | 130.34                         |
|  |             | Diferencia              | 10.89                          |
|  |             | Reducción del costo (%) | <b>7.712%</b>                  |

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3.3. Comparación de los resultados

La comparación de ambos resultados es netamente experimental, relativo y referencial ya que, no están aún establecidos lineamientos técnicos y teóricos para estos sistemas de losas aligeradas no convencionales. A su vez el proceso constructivo y de diseño son diferentes al planteando en la presente investigación. De la misma manera los costos son referenciales ya que estos suelen variar al pasar de los meses.

**Figura 27.** Cuadro comparativo de los costos de los tipos de losas propuestas.



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede deducir del gráfico que, la losa aligerada con botellas plásticas PET es la que menos costo tiene por m<sup>2</sup> en su construcción (**S/. 130.34**), comparativa con la losa convencional patrón plateada en esta investigación (**S/. 141.24**); de la misma manera se denota un menor costo en comparativa la losa aligerada bidireccional (**S/. 200.59**) y la losa maciza (**S/. 299.16**) como se puede observar en los resultados del antecedente seleccionado.

## VI. CONCLUSIONES

1. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el cálculo matemático y en el ensayo practico-experimental, podemos concluir que el sistema de aligerado con botellas plásticas recicladas PET tiene un eficiente comportamiento estructural. De la misma manera esta no requiere de aumentos en la cuantía de acero ni de sus secciones para su resistencia a los esfuerzos por flexión.
2. Respecto al ensayo practico-experimental de ambas maquetas de losas, se observó que la losa aligerada con botellas recicladas PET presento una deformación final de **0.8241 cm** en el ensayo realizado, en comparación con la deformación de la losa aligerada convencional que tuvo una deformación de **0.883 cm**; con lo que podemos concluir que, pese a ser una diferencia mínima de **0.59 cm** en las deformaciones de ambas, la losa aligerada con botellas recicladas PET denota una ligera menor deformación ante la aplicación de cargas puntuales.
3. En lo referido al peso propio de cada sistema de losa aligerada, se obtuvo que el peso de la maqueta de losa aligerada PET fue de **222.63 kg** y para la maqueta de losa convencional se calculo un peso de **221.88 kg** teniendo una diferencia mínima de **0.75 kg**, significando esto un porcentaje de incremento mínimo en el peso de **0.338%**. Mientras que para los pesos de los tableros críticos calculados (losa analizada de 4.20mx4.0m) los pesos calculados fueron de **6159.21 kg** para la losa PET y de **5868 kg** para la losa convencional con ladrillo, teniendo una diferencia de **291.21 kg** el cual significa un incremento porcentual del **4.963%**.
4. Se determina que el incremento en el peso de la losa aligerada con botellas recicladas PET se debe específicamente al volumen que ocupan estas dentro de la losa aligerada, puesto que al no tener una forma volumétrica definida o uniforme (como si lo tiene un bloque de ladrillo o casetón, etc.), generan una menor cantidad de vacíos al momento de la fundición de la losa, generando así que el volumen de concreto se incremente y por ende incremente el peso propio de nuestra estructura aumente.

5. Al realizarse el análisis de los costos referenciales para ambos tipos de losas críticas (losa analizada de 4.20mx4.0m) evaluadas en el modelado matemático, se concluyó que la losa aligerada convencional (ladrillo de techo 15x30x30) tiene un costo referencial de **S/. 2372.76**; y la losa aligerada con botellas recicladas PET tiene un costo estimado de **S/. 2189.77**. Por lo que se concluyó que existe una diferencia en el coste constructivo de **S/ 182.99**; lo cual nos indica que existe un porcentaje de reducción en el costo entre ambos tipos de losa de **7.712%**. Esta diferencia se denota principalmente en el precio de los aligerantes que utiliza cada sistema constructivo.
6. Para finalizar podemos concluir que una losa aligerada con botellas plásticas PET resulta igual de eficiente y levemente mejor que una losa aligerada convencional, lo cual se pudo ver reflejado en las deflexiones que se obtuvieron para ambos sistemas y la reducción en el coste constructivo que tuvo cada una, siendo de esta manera la losa aligerada PET mucho más viable económicamente.

## **VII. RECOMENDACIONES.**

1. En lo que se refiere al cálculo matemático, se debe tener muy en cuenta todos los lineamientos que especifica y recomienda la normativa ACI. A su vez es recomendable contar con los métodos de diseño dictados por el código ACI más actual que se encuentre publicado.
2. Debemos adquirir una cultura para idear, innovar y fomentar el uso de nuevos sistemas constructivos, como el sistema de losa aligerada con botellas recicladas PET planteada en esta tesis, la cual es un sistema constructivo no tradicional. Y que a su vez este puede aplicarse siendo eficientes estructural y económicamente.
3. Se debe fomentar el reciclado de materiales desechables en la industria de la construcción, puesto que está comprobado que estos materiales son altamente reutilizables y que a su vez aportan características favorables en los comportamientos físicos y químicos de los materiales.
4. Es recomendable el uso adecuado de una normativa ideal y que mejor se acople para la elaboración de las maquetas de losas, en el caso de no encontrarse normativa o lineamientos aplicables para estas se debe tener en consideración todos los contratiempos que se podrían presentar al realizarse la construcción de las muestras, velando siempre por una correcta elaboración de estos especímenes.
5. Es de vital importancia que al momento del vaciado de las losas, se distribuya de manera uniforme y homogénea el concreto en todo el molde o encofrado, realizando el vibrado o para el caso de las maquetas de losas el paleteado con una varilla, para evitar partes vacías en la losa los cuales generan cangrejas en las estructuras y posteriormente fallas estructurales.
6. Se recomienda realizar el correcto curado del concreto de las maquetas de losas, ya que esto evita pérdida de agua necesaria para el óptimo y completo fraguado del concreto, todo esto para que pueda alcanzar sus máximas condiciones de resistencia y durabilidad a lo largo del tiempo y evitar fisuras primarias por la dilatación y secado.

## REFERENCIAS

- ANGULO, Elizabeth y RODRIGUEZ, Jenny. Influencia del empotramiento de tuberías sobre el comportamiento estructural de losas aligeradas. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2017. 99 pp. Disponible en: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/3572>
- ASTM C150-07. (2007). Especificación Normalizada para Cemento Portland.
- ASTM C33/C3MM-18. (2018). Especificación normalizada para agregados para concreto. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C39. (2018). Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto. American Society for Testing and Materials (ASTM) .
- ÁVILA, Liliana [et al]. Effects on Mechanical Properties of Recycled PET in Cement-Based Composites. *International Journal of Polymer Science*. (1):1–6, 13 de junio de 2013. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://doi.org/10.1155/2013/763276>
- BASANTES, Jessica. Análisis de eficiencia estructural entre una losa nervada y una losa alivianada con pelotas de plástico reciclado. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016. 94 pp. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24185>
- BLANCO, Antonio. Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú, 1994. 302 pp.
- BORJA, Manuel. Metodología de la investigación científica para ingenieros. [en línea]. Chiclayo, Perú. 2016. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_Investigaci%C3%B3n\\_Cient%C3%ADfica\\_para\\_ingenier%C3%ADa\\_Civil](https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil)
- CABALLERO, Bryan & FLORES, Orlando. Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietileno - Tereftalato (PET) como alternativa

sostenible para la construcción. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Cartagena: Universidad de Cartagena, 2016. 87 pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11227/4404>

CAYLLAHUA, Braulio. Láminas de Tereftalato de Polietileno Pet Reciclado. Tesis (Título en Ingeniería de Materiales). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa del Norte, 2014. 40 pp. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2895>

CHUQUILIN, Jorge. Influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre peso unitario, resistencia a compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas en Trujillo. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Trujillo: Universidad Privada del Norte, 2018. 131 pp. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14821>

CHUQUILIN, Jorge. Influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre peso unitario, resistencia a compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas en Trujillo. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Trujillo: Universidad Privada del Norte, 2018. 131 pp. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14821>

COMITÉ ACI 318. Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14) y comentario (versión en español y sistema métrico). Michigan: American Concrete Institute, 2014. 541 pp.

ISBN: 978-0-87031-746-0

COOK, Thomas & CAMPBELL, Donald. The causal assumptions of quasi-experimental practice - The origins of quasi-experimental practice. *Synthese*. [en línea]. (68):141-180, 1986. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF00413970>

COSTA, Antonella. Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mezcla. Tesina (título Máster en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente). Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2012. 108 pp. Disponible en:

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16661/CostadelPozoAntonella\\_TFM.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16661/CostadelPozoAntonella_TFM.pdf)

DALY, H. Elements of Environmental Macroeconomics. En Constanza, R. Ed. *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. (1991) (32-46) Columbia University Press. Nueva York: Estados Unidos. Disponible en: <https://philpapers.org/rec/DALEOE>

Evaluando la Gestión en Lima y Callao: VIII Informe de Resultados sobre Calidad de Vida. Lima Como Vamos: Lima, Perú, noviembre de 2018. p. 102.

FOTI, Dora. Recycled waste PET for sustainable fiber-reinforced concrete. *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete*. [en línea]. (1): 387–410, 25 de enero de 2019. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102676-2.00018-9>

Gobierno promoverá construcción de 212,000 viviendas entre 2019 y 2021 [en línea]. Peruconstruye.net. 16 de octubre de 2019. [Fecha de consulta: 04 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://peruconstruye.net/2019/10/16/gobierno-promovera-construccion-de-212000-viviendas-entre-2019-y-2021/>

GUERRA, Sandra. La Basura: Un negocio solo para emprendedores [en línea]. LaMula.PE. 26 de mayo de 2016. [Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://sandraquerra.lamula.pe/2016/05/26/la-basura-un-negocio-solo-para-emprendedores/sandra20>

HARMSSEN, Teodoro. Diseño de Estructuras de Concreto Armado. 5.a ed. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017. 967 pp.

ISBN: 9786123172978

HUAMAN, Wilder y PINTADO, Erickson. Diseño de una vivienda con muros portantes de botellas plásticas (PET) recicladas en el A.H Micaela Bastidas IV etapa, Mz. B2 Lt. 28, Distrito 26 de octubre. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Piura: Universidad Cesar Vallejo, 2019. 83 pp. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34976>

ISLAM, Jahidul; MEHERIER, Salamah; & ISLAM, Rakinul. Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete. *Construction and Building Materials*. [en línea]. (125): 946–951, 30 de octubre de 2016. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.128>

KITSUTAKA, Yoshinori and UCHIDA, Yusuke. A Study on Lightweight Multifunctional Concrete Made Using Waste PET bottles. *Applied Mechanics and Materials*. [en línea]. (193-194):964-969, agosto del 2012. [Fecha de consulta: 04 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.scientific.net/AMM.193-194.964>

ISSN: 16609336

MAHDI, Fareed; ABBAS, Husain & KHAN, Asif. Strength characteristics of polymer mortar and concrete using different compositions of resins derived from post-consumer PET bottles. *Construction and Building Materials*. [en línea]. 24(1): 25–36, enero de 2010. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.006>

MARIANO, Kewin. Comparación de las resistencias a compresión y flexión del concreto adicionado con las cenizas de bagazo de caña de azúcar con el concreto normal  $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ . Tesis (Título en Ingeniería Civil). Huánuco; Universidad Nacional Hermilio Valdizan. 293 pp. Disponible en: <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/4522>

MASÍAS, Kimberly. Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Piura: Universidad de Piura, 2018. 119 pp. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11042/3484>

MENDO, Ana y ROJAS, Cristian. Influencia de las fibras de polipropileno en la microfisuración por fatiga del concreto fabricado con relación agua - cemento 0.40 y 0.50 y cemento PORTLAND MS. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2017. 73 pp. Disponible en: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/3565>

- NAPCOR. Report on Postconsumer PET Container Recycling Activity in 2017 [en línea]. 15 de noviembre del 2018. [Fecha de consulta: 03 de mayo 2020]. Disponible en: [http://www.plasticsmarkets.org/jsfcode/srvyfiles/wd\\_151/napcor\\_2017raterreport\\_final\\_1.pdf](http://www.plasticsmarkets.org/jsfcode/srvyfiles/wd_151/napcor_2017raterreport_final_1.pdf)
- Norma E. 060 (Concreto Armado). Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú 2019.
- Norma E.020 (Cargas). Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú 2019.
- NOTICIAS ONU. Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso [En línea]. Indonesia: ONU. 15 de marzo 2019. [Fecha de consulta: 03 de mayo 2020]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961>
- NTP 339.033. (2009). Practica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.
- NTP 339.034. (2015). CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.
- NTP 339.037. (2008). Practica normalizada para el refrentado de testigos cilíndricas de concreto.
- NTP 399.088. (2014). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos.
- OLIVERA, Frank. Diseño de una red de recolección de botellas PET en Lima. Tesis (Título en Ingeniería Industrial). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016. 120 pp. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7599>
- PANDEY, Mrinak & SRIVASTAVA, Manjesh. Analysis of Bubble Deck Slab Design by Finite Element Method. *International Journal of Science Technology Engineering*. [en línea]. (2):599-606, mayo de 2016. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.ijste.org/Article.php?manuscript=IJSTEV2111273>

ISSN: 2349-784X

PÉREZ, Julián & MERINO, María. Definición de: Definición de vivienda unifamiliar 2015. [en línea]. Actualizado: 2017. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://definicion.de/vivienda-unifamiliar>

PRENOVA GLOBAL. Losas alivianadas con esferas o discos. Disponible en: <http://www.prenovaglobal.com/index.php/es/losas-sin-vigas-con-esferas-o-discos/>

PRENOVA GLOBAL. Presentación PRENOVA 2019. Disponible en: <http://www.prenovaglobal.com/wpcontent/uploads/2020/01/Presentacio%CC%81n-PRENOVA-2019-corta.pdf>

QUENTA, Wilder y PINTADO, Efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal. Tesis (Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2019. 84 pp. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12551>

QUINO, William. Optimización de concreto en losas aligeradas en construcción de viviendas, con la incorporación de vacíos esféricos y aplicación del sistema Bubble Deck. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2019. 73 pp. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3574>

RAMOS, Maritza. Análisis técnico y económico de losas de entrepiso. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Piura: Universidad de Piura, 2002. 131 pp. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11042/1423>

REBOZOV, Nicolás. (2015). Producción del cemento Portland.

REYES, Ingrid. Diseño de un concreto con fibras de Polietileno Tereftalato (PET) reciclado para la ejecución de losas en el asentamiento humano Amauta, Ate, Lima. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Lima: Universidad Privada Ricardo Palma, 2018. 202 pp. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1635>

ROMO, Marcelo. Temas de Hormigón Armado. Quito: Escuela Politécnica del Ejército, 2008. 584 pp.

SAGADEVAN, R. & RAO, B. N. Effect of void former shapes on one-way flexural behaviour of biaxial hollow slabs. *International Journal of Advanced Structural Engineering*. [en línea]. (11):297–307, 19 junio del 2019. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40091-019-0231-7>

ISSN: 20083556

ŠÁL, Jiří & NOVÁKOVÁ, Petra. Application of PET bottles for concrete masonry blocks. *Section Green Buildings Technologies and Materials of The Institute of Technology and Businesses in Ceske Budejovice, Czech Republic*. [en línea]. (19), n° 6.2:19-24, 2019. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/2326847370?accountid=37408>

ISSN: 13142704

SANCA, Claudio. Variación del elemento estructural de la resistencia a la compresión y deflexión sometida a incendios de clase “A” en la Región-Puno. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Juliaca: Universidad Andina Nestor Cáceres Velasquez, 2016, 135 pp. Disponible en: <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/462>

SEGURA, Ana. Manual de proceso constructivo de losas Bubble Deck (BDM) para edificaciones. Tesina (Maestría en Especialista en Construcción). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma De México, 2017. 63 pp. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/13538>

SOLANO, Alfredo. Comparación del análisis y diseño de losas aligeradas bidireccionales y losas macizas en edificaciones de 5 Pisos, distrito de Chilca. Tesis (Título en Ingeniería Civil). Huancayo: Universidad Privada de los Andes, 2017. 174 pp. Disponible en: <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/792>

SUGYU, Lee; KINAM, Hong; YEONGMO, Yeon; KYUSAN, Jung. Flexural Behavior of RC Slabs Strengthened in Flexure with Basalt Fabric-Reinforced Cementitious Matrix. *Advances in Materials Science and Engineering*. [en línea]. (2018):1-12, 11 de febrero de 2018. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2018/2982784>

ISSN: 16878434

VALENCIA, Daniel, LÓPEZ, Cecilia, CORTES, Eliana, & FROESE, Andreas. Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*. [en línea]. 25(2):292–303, 27 de setiembre de 2012. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-97632012000200011&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-97632012000200011&script=sci_arttext&tlng=es)

ISSN 1657-9763

YANG, Shutong; YUE, Xiaoqiang; LIU, Xiaosong & TONG, Yao. Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles. *Construction and Building Materials*. [en línea]. (84):444–453, 01 de junio de 2015. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.038>

ZHI, Ge; HONGYA Yue & RENJUAN, Sun. Properties of mortar produced with recycled clay brick aggregate and PET. *Construction and Building Materials*. [en línea]. (93): 851–856, 16 de mayo de 2015. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.081>

## **ANEXOS**

Anexo 3: Operacionalización de las variables. Fuente: Elaboración propia, 2021.

| Variables            |                         | Definición conceptual   | Definición operacional   | Dimensiones        | Indicadores | Escala de medición | Marco metodológico  |
|----------------------|-------------------------|---|--|--------------------|-------------|--------------------|---|
| <b>INDEPENDIENTE</b> | Botellas recicladas PET | El PET es uno de los materiales plásticos con mayor relevancia y ampliamente utilizados por todos los países del mundo, especialmente para la elaboración de recipientes de líquidos. Sin embargo, la mayoría de las botellas de PET son usadas como envases de bebidas luego se desechan después de un solo uso, causando graves problemas ambientales (Quenta, 2019, p. 7). | Se embutirá botellas recicladas de politereftalato de etileno PET como aligerante para losas, en reemplazo del ladrillo de techo convencional. Se analizará la disminución del volumen de concreto por los vacíos generados por las botellas PET y que por consecuencia nos dará una reducción en el peso de la losa y una reducción en la cuantía de acero de refuerzo para esta. | Peso de la botella | Peso (kg)   | De razón           | <p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>Tipo de estudio aplicado.</p> <p><b>Diseño de investigación</b></p> <p>Diseño de investigación cuasiexperimental</p> <p><b>Población</b></p> <p>Se tendrá como población a la losa aligerada de una vivienda unifamiliar típica de la localidad de Lima.</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>La muestra que se tomará para la</p> |

|                    |   |  |   |  |  |                     |  |
|--------------------|---|--|---|--|--|---------------------|--|
| <b>DEPENDIENTE</b> | Análisis del esfuerzo por flexión en losas aligeradas convencionales y con la adición de botellas recicladas PET. | La resistencia a la flexión está considerada como una medición inversa a la resistencia a la flexión del concreto, es una forma de medida de falla por momento en una losa o viga de concreto no reforzada. (Masías, 2018, p. 17). | Se analizará la resistencia a la flexión de este tipo de losa de carácter experimental, mediante un ensayo de 04 maquetas de losas, 02 aligeradas con botellas plásticas recicladas y 02 aligeradas convencionalmente, este ensayo práctico será realizado mediante un deformímetro para medir la deflexión de cada una de estas losas, calculadas matemáticamente con anterioridad mediante la normativa especificada. Luego se realizará un ensayo de rotura por compresión en 08 probetas cilíndricas. | Deflexión de la losa aligerada convencional (ladrillo)<br>Deflexión de la losa aligerada con botellas PET. | Cálculo matemático de la deflexión de losa | De razón            | investigación será equivalente a 04 maquetas de losa aligeradas y 08 probetas cilíndricas de concreto.<br><br><b>Técnica</b> |
|                    |   |  | Peso de la losa<br>Ensayo de flexión en losa con ladrillo y PET.  | Peso (kg)  | De razón                                   | Análisis Documental |  |
|                    |   |  |   | Esfuerzo de flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )  |  |                     |  |
| Rentabilidad       | Costo por m <sup>2</sup> de losa(S/.)   | De razón   | Para el instrumento de recolección de datos se usará lo siguiente:<br><br>-Ensayo de Deflexión en Losas Aligeradas con Deformímetro.<br><br>-Ensayo de Resistencia a la Compresión y Diseño de Mezcla para Concreto F'c=210 kg/cm <sup>2</sup> .  |  |  |                     |  |

Anexo 4: Matriz de consistencia. Fuente: Elaboración propia, 2021.

| <b>Análisis del esfuerzo por flexión en losa aligerada convencional y con la adición de botellas recicladas PET para viviendas unifamiliares, Lima – 2021.</b>  |   |   |   |  |   |                      |
|---|---|---|---|--|---|----------------------|
| <b>PROBLEMA</b>   | <b>OBJETIVOS</b>  | <b>HIPÓTESIS</b>  | <b>VARIABLES</b>  | <b>VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN</b>   |   |                      |
| <b>Problema General</b>   | <b>Objetivo General</b>   | <b>Hipótesis General</b>  | <b>Variables independientes</b>   | <b>Dimensiones</b>   | <b>Indicadores</b>  | <b>Instrumento</b>   |
| ¿En qué medida influirá la adición de botellas recicladas PET en el esfuerzo por flexión de losas aligeradas para viviendas unifamiliares, Lima – 2021?         | Analizar la influencia de la adición de botellas recicladas PET en el esfuerzo por flexión de losas aligeradas para viviendas unifamiliares, Lima – 2021. | La adición de botellas recicladas PET influirá significativamente en el esfuerzo por flexión de losas aligeradas para viviendas unifamiliares, Lima – 2021.             | Botellas recicladas PET.  | Peso de la botella   | Peso (kg)   | Balanza              |
| <b>Problemas específicos</b>  | <b>Objetivos específicos</b>  | <b>Hipótesis específicas</b>  | <b>Variable dependiente</b>   | <b>Dimensiones</b>   | <b>Indicadores</b>  | <b>Instrumento</b>   |
| ¿Cuáles son las características de la deflexión generada por cargas en las losas aligeradas con la adición de botellas recicladas PET y en las losas aligeradas | Analizar la deflexión generada por las cargas en las losas aligeradas con la adición de botellas recicladas PET y   | Las características de la deflexión generada por cargas en las losas aligeradas con la adición de botellas recicladas PET son óptimas y admisibles en comparación a las | Análisis del esfuerzo por flexión en losas aligeradas convencional y con la adición | Deflexión de la losa aligerada convencional (ladrillo)<br>Deflexión de la losa aligerada con botellas PET. | Cálculo matemático de la deflexión de losa a patrón a diseñar | ACI-318S-14 - E. 060 |

|   |  |  |                             |  |   |   |
|---|--|--|-----------------------------|--|---|---|
| convencionales?   | ladrillos de techo convencional.   | losas convencionales.  | de botellas recicladas PET. |  |   |   |
| ¿Cuánto varía el peso de la losa aligerada con botellas PET recicladas en comparación con una losa aligerada convencional?                          | Determinar los esfuerzos a la flexión de las losas con botellas PET y de una losa aligerada convencional.  | El peso de la losa aligerada con botellas PET recicladas es menor en comparación con una losa aligerada convencional.                    |                             | Peso de la losa                              | Peso (kg)                                 | Balanza   |
|   |  |  |                             | Ensayo de flexión en losa con ladrillo y PET | Esfuerzo de flexión (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Prensa Hidráulica y Deformímetro                          |
| ¿Qué tan viable presupuestalmente será la construcción de una losa aligerada con botellas de plástico PET recicladas para una vivienda unifamiliar? | Evaluar la viabilidad presupuestal de la construcción de una losa aligerada con botellas de plástico PET recicladas para una vivienda unifamiliar. | Es viable presupuestalmente la construcción de una losa aligerada con botellas de plástico PET recicladas para una vivienda unifamiliar. |                             | Rentabilidad                                 | Costo por m <sup>2</sup> de losa (S/.)    | Análisis referencial de los costos de ambos tipos de losa |

**Anexo 5: Instrumentos de recolección de datos. Fuente; Elaboración propia, 2020.**

Instrumento de recolección de datos N°1: “Ensayo de Resistencia a la Compresión y Diseño de Mezcla para Concreto F’c=210 kg/cm2.”

| CARACTERISTICAS DE LA MAQUETA DE LOSA |                  |                          |                        |         |                                |
|---------------------------------------|------------------|--------------------------|------------------------|---------|--------------------------------|
| TIPO DE LOSA                          | Peso Propio (Kg) | Volumen de Concreto (m3) | Distribución del Acero |         | Costo por referencial m2 (S/.) |
|                                       |                  |                          | Acero +                | Acero - |                                |
| Losa Convencional                     | 221.88           | 0.0816                   | 2Ø3/8”                 | 2Ø12mm  | 141.24                         |
| Losa PET                              | 222.63           | 0.0924                   | 2Ø3/8”                 | 2Ø12mm  | 130.34                         |

Instrumento de recolección de datos N°2: “Ensayo de Deflexión en Losas Aligeradas con Deformímetro”

| ENSAYO DE DEFLEXIÓN CON DEFORMIMETRO |                       |                                |                |                        |           |            |   |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------|------------------------|-----------|------------|---|
| TIPO DE LOSA                         | Carga soportada (Kgf) | Resistencia del concreto (F'c) | Deflexión (mm) | Dimensiones de la losa |           |            | Deflexión máxima admisible (ACI 318S-14) (mm) |
|                                      |                       |                                |                | Ancho (m)              | Largo (m) | Altura (m) |   |
| Losa Convencional 1                  | 5958                  | 210                            | 10.827         | 1.20                   | 0.80      | 0.13       | 8.75  |
| Losa Convencional 2                  | 8486                  | 210                            | 8.83           | 1.20                   | 0.80      | 0.13       | 8.75  |
| Losa PET 1                           | 7538                  | 210                            | 8.975          | 1.20                   | 0.80      | 0.13       | 8.75  |
| Losa PET 2                           | 8486                  | 210                            | 8.241          | 1.20                   | 0.80      | 0.13       | 8.75  |

## Anexo 6: Validez y confiabilidad de los instrumentos de recolección de datos.

### INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

#### I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Dra. Sandoval Vergara Ana Noemi

Institución donde labora : Universidad Cesar Vallejo - Tarapoto

Especialidad : Docente en Metodología

Instrumento de evaluación : Ensayo de Resistencia a la Compresión y Diseño de Mezcla para Concreto  $F'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.

Autor (s) del instrumento (s): Cesar Francisco Valladares Torres

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

| CRITERIOS       | INDICADORES   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|
| CLARIDAD        | Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.  |   |   |   |   | X |
| OBJETIVIDAD     | Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.                |   |   |   |   | X |
| ACTUALIDAD      | El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET  |   |   |   | X |   |
| ORGANIZACIÓN    | Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación. |   |   |   |   | X |
| SUFICIENCIA     | Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.  |   |   |   | X |   |
| INTENCIONALIDAD | Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.   |   |   |   |   | X |
| CONSISTENCIA    | La información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.  |   |   |   |   | X |
| COHERENCIA      | Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET  |   |   |   |   | X |
| METODOLOGÍA     | La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.   |   |   |   |   | X |
| PERTINENCIA     | La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.   |   |   |   |   | X |

|                      |    |
|----------------------|----|
| <b>PUNTAJE TOTAL</b> | 48 |
|----------------------|----|

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El instrumento es válido para ser aplicado a la población de estudio; puesto que, cumple con los criterios metodológicos.

**PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

48

Tarapoto, 12 de julio de 2020



.....  
DRA. ANA N. SANDOVAL VERGARA  
DOCENTE  
CBP 6311

## INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

### II. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Dra. Sandoval Vergara Ana Noemi

Institución donde labora : Universidad Cesar Vallejo - Tarapoto

Especialidad : Docente en Metodología

Instrumento de evaluación : Ensayo de Deflexión en Losas Aligeradas con Deformímetro.

Autor (s) del instrumento (s): Cesar Francisco Valladares Torres

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

**MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)**

| CRITERIOS            | INDICADORES   | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------|---|----|---|---|---|---|
| CLARIDAD             | Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.  |    |   |   | X |   |
| OBJETIVIDAD          | Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.                |    |   |   | X |   |
| ACTUALIDAD           | El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET  |    |   |   |   | X |
| ORGANIZACIÓN         | Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación. |    |   |   |   | X |
| SUFICIENCIA          | Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.  |    |   |   |   | X |
| INTENCIONALIDAD      | Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.   |    |   |   |   | X |
| CONSISTENCIA         | La información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.  |    |   |   |   | X |
| COHERENCIA           | Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET  |    |   |   |   | X |
| METODOLOGÍA          | La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.   |    |   |   |   | X |
| PERTINENCIA          | La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.   |    |   |   |   | X |
| <b>PUNTAJE TOTAL</b> |   | 48 |   |   |   |   |

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

**IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

El instrumento es válido para ser aplicado a la población de estudio; puesto que, cumple con los criterios metodológicos.

**PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

48

Tarapoto, 12 de julio de 2020



-----  
DRA. ANA N. SANDOVAL VERCARA  
DOCENTE  
CBP 6311

**INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**  
**I. DATOS GENERALES**

Apellidos y nombres del experto: Mg. Gustavo Ivanovich Cornejo Saavedra  
 Institución donde labora : Universidad Cesar Vallejo  
 Especialidad : Mg. Ingeniería Civil  
 Instrumento de evaluación : Ensayo de Resistencia a la Compresión y Diseño de Mezcla para Concreto  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .  
 Autor (s) del instrumento (s): Cesar Francisco Valladares Torres

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

**MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)**

| CRITERIOS            | INDICADORES   | 1 | 2 | 3 | 4  | 5 |
|----------------------|---|---|---|---|----|---|
| CLARIDAD             | Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.  |   |   |   | X  |   |
| OBJETIVIDAD          | Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.                |   |   |   | X  |   |
| ACTUALIDAD           | El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET  |   |   |   |    | X |
| ORGANIZACIÓN         | Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación. |   |   |   |    | X |
| SUFICIENCIA          | Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.  |   |   |   |    | X |
| INTENCIONALIDAD      | Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.   |   |   |   | X  |   |
| CONSISTENCIA         | La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.   |   |   |   | X  |   |
| COHERENCIA           | Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET  |   |   |   |    | X |
| METODOLOGÍA          | La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.   |   |   |   | X  |   |
| PERTINENCIA          | La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.   |   |   |   | X  |   |
| <b>PUNTAJE TOTAL</b> |   |   |   |   | 44 |   |

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

EL INSTRUMENTO ES VALIDO Y PUEDE  
SER APLICADO

**PROMEDIO DE VALORACIÓN:** 44

Lima, 10 de Junio de 2020

Gustavo I. Cornejo Saavedra  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. N° 156464

Sello personal y firma



## INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

## II. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Mg. GUSTAVO IVANOVICH CORNEJO SAAVEDRA  
 Institución donde labora : UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
 Especialidad : INGENIERO CIVIL  
 Instrumento de evaluación : Ensayo de Deflexión en Losas Aligeradas con Deformímetro.  
 Autor (s) del instrumento (s): Cesar Francisco Valladares Torres

## II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

| CRITERIOS            | INDICADORES   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5         |
|----------------------|---|---|---|---|---|-----------|
| CLARIDAD             | Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.  |   |   |   |   | X         |
| OBJETIVIDAD          | Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.                |   |   |   |   | X         |
| ACTUALIDAD           | El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET  |   |   |   |   | X         |
| ORGANIZACIÓN         | Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación. |   |   |   |   | X         |
| SUFICIENCIA          | Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.  |   |   |   | X |           |
| INTENCIONALIDAD      | Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.   |   |   |   | X |           |
| CONSISTENCIA         | La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.   |   |   |   | X |           |
| COHERENCIA           | Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Losa aligerada con botellas recicladas PET  |   |   |   |   | X         |
| METODOLOGÍA          | La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.   |   |   |   | X |           |
| PERTINENCIA          | La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.   |   |   |   |   | X         |
| <b>PUNTAJE TOTAL</b> |   |   |   |   |   | <b>46</b> |

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

## IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

EL INSTRUMENTO ES VALIDO Y PUEDE  
SER APLICADO

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

46Lima, 10 de JUNIO de 2020

Gustavo I. Cornejo Saavedra  
 INGENIERO CIVIL  
 Sello personal y firma

**Anexo N°7 Informe de Diseño de mezcla  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> Laboratorio N°1 de ensayos UNI.**



## INFORME

**Del** : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
**A** : CESAR FRANCISCO BALLADARES TORRES  
**Obra** : "ANÁLISIS DEL ESFUERZO POR FLEXIÓN EN LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL Y CON LA ADICIÓN DE BOTELLAS RECICLADAS PET PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES, LIMA 2021"  
**Ubicación** : LIMA  
**Asunto** : Diseño de mezcla  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$   
**Expediente N°** : 21-2538-1  
**Recibo N°** : 76142  
**Fecha de emisión** : 07/12/2021

### 1.0 DE LOS MATERIALES

#### 1.1 Cemento:

Se utilizó cemento SOL Tipo I, proporcionado por el solicitante.

#### 1.2 Agregado Fino:

Consistente en una Muestra de ARENA GRUESA procedente de la cantera ACE HOME CENTER, en LIMA.

Las características se indican en el ANEXO 1.

#### 1.3 Agregado Grueso:

Consistente en una Muestra de PIEDRA CHANCADA procedente de la cantera ACE HOME CENTER, en LIMA.

Las características se indican en el ANEXO 2.

#### 1.4 Combinación de Agregados:

La granulometría del Agregado Global obtenido por la combinación del agregado fino y grueso, se muestra en el ANEXO 3.

#### 1.5 Agua:

Se uso agua potable de la UNI, procedente de RED PUBLICA.



Ing. Rafael Cachay Huaman  
Jefe (e) del laboratorio

#### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Technology  
Accreditation  
Commission

Expediente N° : 21-2538-1

Pág. 2 de 5

### 2.0 DISEÑO DE MEZCLA FINAL ( $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ) CEMENTO SOL Tipo I , A SIETE DÍAS

#### 2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

|                        |       |             |                    |
|------------------------|-------|-------------|--------------------|
| Denominación           | ..... | $f'c = 210$ | Kg/cm <sup>2</sup> |
| Asentamiento           | ..... | 3" - 4"     |                    |
| Relación a/c de diseño | ..... | 0.52        |                    |
| Relación a/c de obra   | ..... | 0.51        |                    |
| Proporciones de diseño | ..... | 1           | : 1.87 : 2.08      |
| Proporciones de obra   | ..... | 1           | : 1.89 : 2.09      |

#### 2.2 CANTIDAD DE MATERIAL DE DISEÑO POR m<sup>3</sup> DE CONCRETO

|                     |       |     |     |
|---------------------|-------|-----|-----|
| CEMENTO SOL Tipo I  | ..... | 437 | Kg. |
| ARENA GRUESA        | ..... | 814 | Kg. |
| PIEDRA CHANCADA     | ..... | 906 | Kg. |
| AGUA de RED PUBLICA | ..... | 227 | L.  |

#### 2.3 CANTIDAD DE MATERIAL POR m<sup>3</sup> DE CONCRETO EN OBRA

|                     |       |     |     |
|---------------------|-------|-----|-----|
| CEMENTO SOL Tipo I  | ..... | 437 | Kg. |
| ARENA GRUESA        | ..... | 825 | Kg. |
| PIEDRA CHANCADA     | ..... | 914 | Kg. |
| AGUA de RED PUBLICA | ..... | 222 | L.  |

#### 2.4 CANTIDAD DE MATERIAL POR BOLSA DE CEMENTO EN OBRA

|                     |       |       |     |
|---------------------|-------|-------|-----|
| CEMENTO SOL Tipo I  | ..... | 42.50 | Kg. |
| ARENA GRUESA        | ..... | 80.36 | Kg. |
| PIEDRA CHANCADA     | ..... | 89.02 | Kg. |
| AGUA de RED PUBLICA | ..... | 21.65 | L.  |

#### 2.5 PROPORCIONES APROXIMADAS EN VOLUMEN

| Proporciones | CEMENTO SOL<br>Tipo I | ARENA<br>GRUESA | PIEDRA<br>CHANCADA |
|--------------|-----------------------|-----------------|--------------------|
| Agua         | 1                     | : 1.80          | : 1.99             |
|              | 21.65                 | L/bolsa         |                    |

#### 3.0 OBSERVACIONES:

- 1) El diseño de mezcla se realizó para una resistencia a la compresión del concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup>, a siete días de elaborado a solicitud del cliente, con la finalidad de ensayar sus losas aligeradas convencionales y con PET a esa fecha.
- 2) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.
- 3) Hacer tandas de prueba por condiciones técnicas del lugar de obra, controlar las características de los materiales, personal técnico y equipos utilizados en obra.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. T.M.T./L.O.R./A.S.V.



Ing. Rafael Cachay Huaman  
Jefe (e) del laboratorio

#### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú



(511) 381-3343



(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe



lem@uni.edu.pe



Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI



## ANEXO 1

EXPEDIENTE N° : 21-2538-1

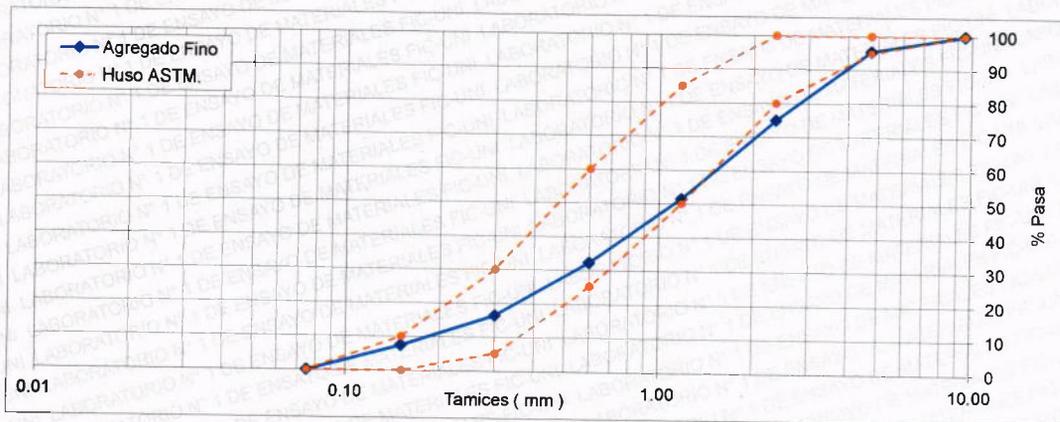
### 1. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO :

Consiste en una Muestra de ARENA GRUESA procedente de la cantera ACE HOME CENTER.

#### A) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

| TAMIZ  |      | % RET. | % RET. ACUM. | % PASA | % PASA. ASTM C 33 HUSO AGR. FINO |
|--------|------|--------|--------------|--------|----------------------------------|
| (Pulg) | (mm) |        |              |        |                                  |
| 3/8"   | 9.50 | 0.0    | 0.0          | 100.0  | 100                              |
| N°4    | 4.75 | 4.6    | 4.6          | 95.5   | 95 - 100                         |
| N°8    | 2.36 | 20.5   | 25.0         | 75.0   | 80 - 100                         |
| N°16   | 1.18 | 23.5   | 48.6         | 51.5   | 50 - 85                          |
| N°30   | 0.60 | 19.2   | 67.7         | 32.3   | 25 - 60                          |
| N°50   | 0.30 | 15.9   | 83.6         | 16.4   | 5 - 30                           |
| N°100  | 0.15 | 9.0    | 92.6         | 7.4    | 0 - 10                           |
| FONDO  |      | 7.4    | 100.0        | 0.0    |                                  |

#### B) CURVA DE GRANULOMETRÍA



#### C) PROPIEDADES FÍSICAS

|   |      |
|---|------|
| Módulo de Fineza                              | 3.22 |
| Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )     | 1576 |
| Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> ) | 1768 |
| Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )          | 2.66 |
| Contenido de Humedad (%)                      | 1.35 |
| Porcentaje de Absorción (%)                   | 1.01 |

### 2. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. T.M.T./L.O.R./A.S.V.

#### NOTAS:

- Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



## ANEXO 2

EXPEDIENTE N° : 21-2538-1

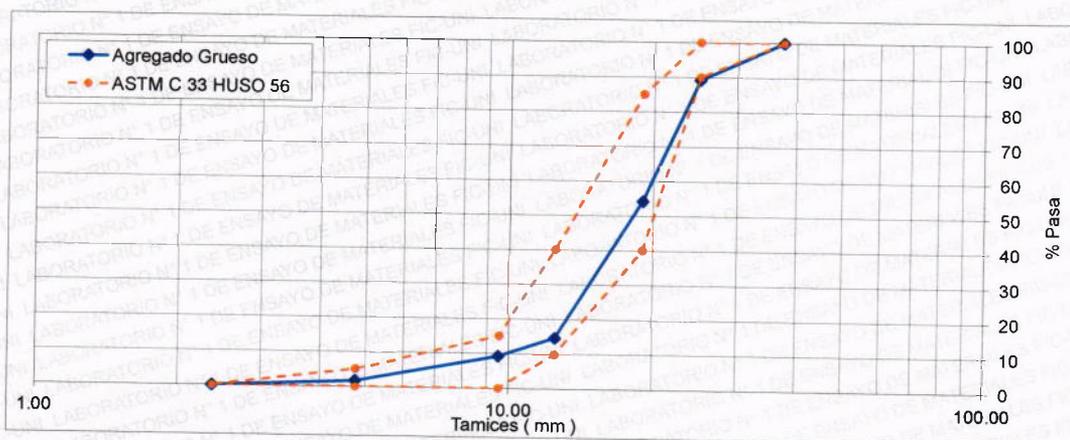
### 1. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GRUESO :

Consiste en una Muestra de PIEDRA CHANCADA procedente de la cantera ACE HOME CENTER.

#### A) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

| TAMIZ  |       | % RET. | % RET. ACUM. | % PASA | % PASA. ASTM C 33 HUSO 56 |
|--------|-------|--------|--------------|--------|---------------------------|
| (Pulg) | (mm)  |        |              |        |                           |
| 1 1/2" | 37.50 | 0.0    | 0.0          | 100.0  | 100                       |
| 1"     | 25.00 | 10.8   | 10.8         | 89.2   | 90 - 100                  |
| 3/4"   | 19.00 | 35.0   | 45.8         | 54.2   | 40 - 85                   |
| 1/2"   | 12.50 | 39.6   | 85.4         | 14.6   | 10 - 40                   |
| 3/8"   | 9.50  | 5.4    | 90.8         | 9.2    | 0 - 15                    |
| N°4    | 4.75  | 7.5    | 98.4         | 1.6    | 0 - 5                     |
| FONDO  |       | 1.6    | 100.0        | 0.0    |                           |

#### B) CURVA DE GRANULOMETRÍA



#### C) PROPIEDADES FÍSICAS

|   |      |
|---|------|
| Módulo de Fineza                              | 7.27 |
| Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )     | 1582 |
| Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> ) | 1753 |
| Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )          | 2.89 |
| Contenido de Humedad (%)                      | 0.95 |
| Porcentaje de Absorción (%)                   | 0.74 |

#### 2. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. T.M.T./L.O.R./A.S.V.

#### NOTAS:

- Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



## ANEXO 3

Pág. 5 de 5

EXPEDIENTE N° : 21-2538-1

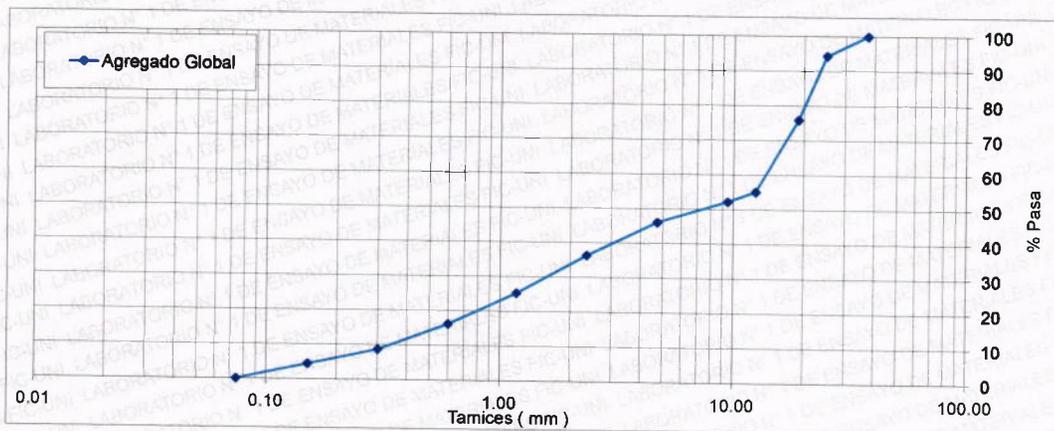
### 1. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GLOBAL :

Consiste en una combinación de ARENA GRUESA procedente de la cantera ACE HOME CENTER y PIEDRA CHANCADA procedente de la cantera ACE HOME CENTER.

#### A) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

| TAMIZ  |       | % RET. | % RET. ACUM. | % PASA |
|--------|-------|--------|--------------|--------|
| (Pulg) | (mm)  |        |              |        |
| 1 1/2" | 37.50 | 0.0    | 0.0          | 100.0  |
| 1"     | 25.00 | 5.7    | 5.7          | 94.3   |
| 3/4"   | 19.00 | 18.5   | 24.1         | 75.9   |
| 1/2"   | 12.50 | 20.9   | 45.0         | 55.0   |
| 3/8"   | 9.50  | 2.8    | 47.8         | 52.2   |
| N°4    | 4.75  | 6.1    | 54.0         | 46.0   |
| N°8    | 2.36  | 9.7    | 63.7         | 36.3   |
| N°16   | 1.18  | 11.1   | 74.8         | 25.2   |
| N°30   | 0.60  | 9.1    | 83.9         | 16.1   |
| N°50   | 0.30  | 7.5    | 91.4         | 8.6    |
| N°100  | 0.15  | 4.3    | 95.6         | 4.4    |
| FONDO  |       | 4.4    | 100.0        | 0.0    |

#### B) CURVA DE GRANULOMETRÍA



#### C) PROPIEDADES FÍSICAS

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| Tamaño Nominal Máximo | 1"    |
| Módulo de Fineza      | 5.35  |
| % Agregado Grueso     | 52.66 |
| % Agregado Fino       | 47.34 |

### 2. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. T.M.T./L.O.R./A.S.V.

### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**Anexo N°8. Informe de Prueba de Cargas en Losas Aligeradas.**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Technology  
Accreditation  
Commission

Página 1 de 2

### INFORME

**Del** : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
**A** : CESAR FRANCISCO VALLADARES TORRES  
**Obra** : ANÁLISIS DEL ESFUERZO POR FLEXIÓN EN LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL Y CON LA ADICIÓN DE BOTELLAS RECICLADAS PET PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES, LIMA-2021  
**Ubicación** : LIMA  
**Asunto** : PRUEBA DE CARGA EN LOSAS ALIGERADAS  
**Expediente N°** : 21-2538-1  
**Recibo N°** : 76142  
**Fecha de emisión** : 14/12/2021

**1.0. DE LA MUESTRA** : Losa aligerada convencional denominada L-1 elaborada por el solicitante, el concreto fue elaborado y vaciado por el personal del LEM en el laboratorio, para un concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, una trabajabilidad de 3" a 4".

**2.0. MÉTODO DEL ENSAYO** : La prueba de carga a flexión se realizó con carga central distribuida en la longitud del ancho de la losa, como una viga simplemente apoyada.

En la zona central de la carga distribuida se colocó un deformímetro para medir las deformaciones, según se muestran en los resultados en el cuadro y gráficos adjuntos al informe.

**3.0. NORMA DE REFERENCIA** : NTP 339.034:2015.  
Procedimiento interno AT-PR-12.

**4.0. RESULTADOS** : Fecha de ensayo: 13/12/2021

| MUESTRA: Losa aligerada convencional L1 |                |             |
|---|----------------|-------------|
| DEFORMACIÓN (mm)                        | ESFUERZO (PSI) | CARGA (kgf) |
| 0.580                                   | 100            | 588         |
| 1.380                                   | 200            | 904         |
| 1.473                                   | 300            | 1220        |
| 1.659                                   | 400            | 1536        |
| 1.889                                   | 500            | 1852        |
| 1.996                                   | 600            | 2168        |
| 2.275                                   | 700            | 2483        |
| 2.655                                   | 800            | 2799        |
| 3.073                                   | 900            | 3115        |
| 4.156                                   | 1200           | 4063        |
| 6.384                                   | 1400           | 4695        |
| 10.827                                  | 1800           | 5958        |

Hecho por : Msc. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. A.S.V.



Ing. Rafael Cachay Huamán  
Jefe (e) del laboratorio

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú



(511) 381-3343



(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe



lem@uni.edu.pe

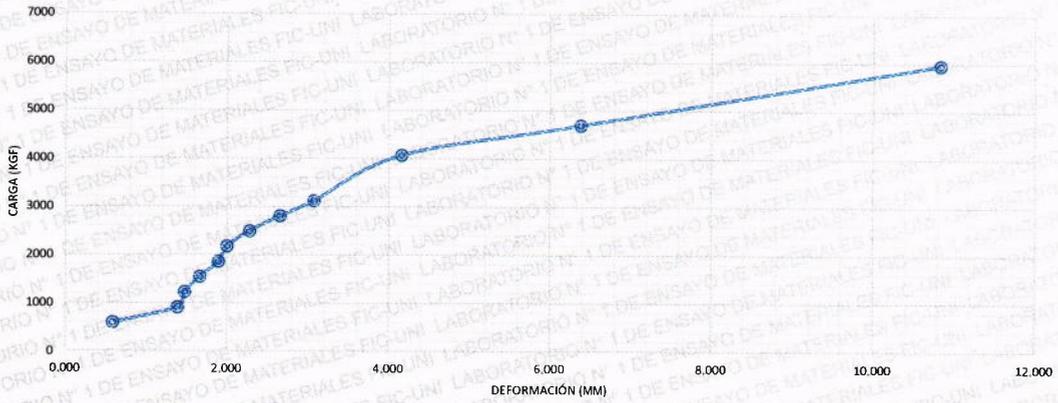


Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI



Expediente N° : 21-2538-1

DEFORMACIÓN VS CARGA  
LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL L-1



5.0. OBSERVACIONES : Se muestran las gráficas de deformación vs carga.

6.0. ANEXOS : PANEL FOTOGRÁFICO DEL PROCEDIMIENTO



Hecho por : Msc. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. A.S.V.



Ing. Rafael Cachay Huamán  
Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Technology  
Accreditation  
Commission

Página 1 de 2

### INFORME

**Del** : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
**A** : CESAR FRANCISCO VALLADARES TORRES  
**Obra** : ANÁLISIS DEL ESFUERZO POR FLEXIÓN EN LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL Y CON LA ADICIÓN DE BOTELLAS RECICLADAS PET PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES, LIMA-2021  
**Ubicación** : LIMA  
**Asunto** : PRUEBA DE CARGA EN LOSAS ALIGERADAS  
**Expediente N°** : 21-2538-2  
**Recibo N°** : 76142  
**Fecha de emisión** : 14/12/2021

**1.0. DE LA MUESTRA** : Losa aligerada convencional denominada L-2 elaborada por el solicitante, el concreto fue elaborado y vaciado por el personal del LEM en el laboratorio, para un concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , una trabajabilidad de 3" a 4".

**2.0. MÉTODO DEL ENSAYO** : La prueba de carga a flexión se realizó con carga central distribuida en la longitud del ancho de la losa, como una viga simplemente apoyada.

En la zona central de la carga distribuida se colocó un deformímetro para medir las deformaciones, según se muestran en los resultados en el cuadro y gráficos adjuntos al informe.

**3.0. NORMA DE REFERENCIA** : NTP 339.034:2015.  
Procedimiento interno AT-PR-12.

**4.0. RESULTADOS** : Fecha de ensayo: 13/12/2021

| MUESTRA: Losa aligerada convencional L2 |                |             |
|---|----------------|-------------|
| DEFORMACIÓN (mm)                        | ESFUERZO (PSI) | CARGA (kgf) |
| 0.526                                   | 200            | 904         |
| 0.592                                   | 400            | 1536        |
| 0.709                                   | 600            | 2168        |
| 0.987                                   | 800            | 2799        |
| 1.293                                   | 1000           | 3431        |
| 1.557                                   | 1200           | 4063        |
| 1.929                                   | 1400           | 4695        |
| 2.386                                   | 1600           | 5327        |
| 2.991                                   | 1800           | 5958        |
| 3.938                                   | 2000           | 6590        |
| 4.981                                   | 2200           | 7222        |
| 6.555                                   | 2400           | 7854        |
| 8.830                                   | 2600           | 8486        |

Hecho por : Msc. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. A.S.V.



Ing. Rafael Cachay Huamán  
Jefe (e) del laboratorio

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú



(511) 381-3343



(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe



lem@uni.edu.pe

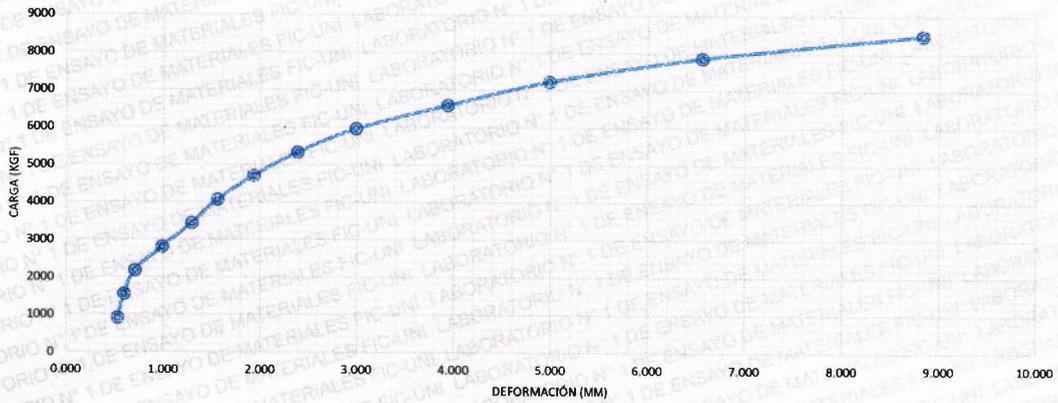


Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI



Expediente N° : 21-2538-2

DEFORMACIÓN VS CARGA  
LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL L-2



5.0. OBSERVACIONES : Se muestran las gráficas de deformación vs carga.

6.0. ANEXOS : PANEL FOTOGRÁFICO DEL PROCEDIMIENTO



Hecho por : Msc. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. A.S.V.



Ing. Rafael Cachay Huamán  
Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Technology  
Accreditation  
Commission

Página 1 de 2

### INFORME

**Del** : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
**A** : CESAR FRANCISCO VALLADARES TORRES  
**Obra** : ANÁLISIS DEL ESFUERZO POR FLEXIÓN EN LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL Y CON LA ADICIÓN DE BOTELLAS RECICLADAS PET PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES, LIMA-2021  
**Ubicación** : LIMA  
**Asunto** : PRUEBA DE CARGA EN LOSAS ALIGERADAS  
**Expediente N°** : 21-2538-3  
**Recibo N°** : 76142  
**Fecha de emisión** : 14/12/2021

**1.0. DE LA MUESTRA** : Losa aligerada con adición de botellas recicladas PET denominada L-3 elaborada por el solicitante, el concreto fue elaborado y vaciado por el personal del LEM en el laboratorio, para un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , una trabajabilidad de 3" a 4".

**2.0. MÉTODO DEL ENSAYO** : La prueba de carga a flexión se realizó con carga central distribuida en la longitud del ancho de la losa, como una viga simplemente apoyada.

En la zona central de la carga distribuida se colocó un deformímetro para medir las deformaciones, según se muestran en los resultados en el cuadro y gráficos adjuntos al informe.

**3.0. NORMA DE REFERENCIA** : NTP 339.034:2015.  
Procedimiento interno AT-PR-12.

**4.0. RESULTADOS** : Fecha de ensayo: 13/12/2021

| MUESTRA: Losa aligerada con botellas recicladas PET L3 |                |             |
|--|----------------|-------------|
| DEFORMACIÓN (mm)                                       | ESFUERZO (PSI) | CARGA (kgf) |
| 0.292  | 200            | 904         |
| 0.488  | 400            | 1536        |
| 0.833  | 600            | 2168        |
| 1.352  | 800            | 2799        |
| 1.817  | 1000           | 3431        |
| 2.206  | 1200           | 4063        |
| 3.375  | 1400           | 4695        |
| 3.771  | 1600           | 5327        |
| 4.551  | 1800           | 5958        |
| 5.619  | 2000           | 6590        |
| 6.751  | 2200           | 7222        |
| 8.975  | 2300           | 7538        |

Hecho por : Msc. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. A.S.V.

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



Ing. Rafael Cachay Huamán  
Jefe (e) del laboratorio

**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú



(511) 381-3343



(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe



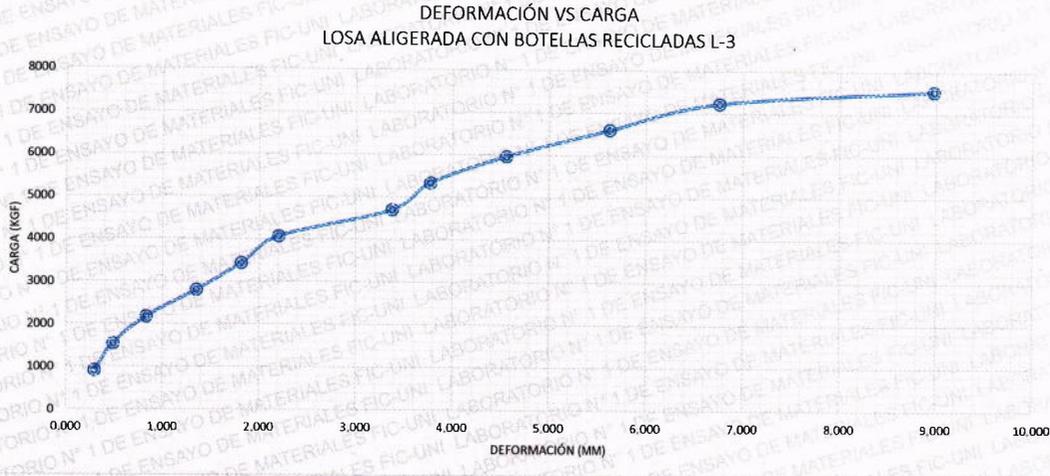
lem@uni.edu.pe



Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI



Expediente N° : 21-2538-3



5.0. OBSERVACIONES : Se muestran las gráficas de deformación vs carga.

6.0. ANEXOS : PANEL FOTOGRÁFICO DEL PROCEDIMIENTO



Hecho por : Msc. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. A.S.V.



Ing. Rafael Cachay Huamán  
Jefe (e) del laboratorio

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Technology  
Accreditation  
Commission

Página 1 de 2

### INFORME

**Del** : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
**A** : CESAR FRANCISCO VALLADARES TORRES  
**Obra** : ANÁLISIS DEL ESFUERZO POR FLEXIÓN EN LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL Y CON LA ADICIÓN DE BOTELLAS RECICLADAS PET PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES, LIMA-2021  
**Ubicación** : LIMA  
**Asunto** : PRUEBA DE CARGA EN LOSAS ALIGERADAS  
**Expediente N°** : 21-2538-4  
**Recibo N°** : 76142  
**Fecha de emisión** : 14/12/2021

**1.0. DE LA MUESTRA** : Losa aligerada con adición de botellas recicladas PET denominada L-4 elaborada por el solicitante, el concreto fue elaborado y vaciado por el personal del LEM en el laboratorio, para un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , una trabajabilidad de 3" a 4".

**2.0. MÉTODO DEL ENSAYO** : La prueba de carga a flexión se realizó con carga central distribuida en la longitud del ancho de la losa, como una viga simplemente apoyada.

En la zona central de la carga distribuida se colocó un deformímetro para medir las deformaciones, según se muestran en los resultados en el cuadro y gráficos adjuntos al informe.

**3.0. NORMA DE REFERENCIA** : NTP 339.034:2015.  
Procedimiento interno AT-PR-12.

**4.0. RESULTADOS** : Fecha de ensayo: 13/12/2021

| MUESTRA: Losa aligerada con botellas recicladas PET L4 |                |             |
|--|----------------|-------------|
| DEFORMACIÓN (mm)                                       | ESFUERZO (PSI) | CARGA (kgf) |
| 0.383  | 200            | 904         |
| 0.711  | 400            | 1536        |
| 1.001  | 600            | 2168        |
| 1.200  | 800            | 2799        |
| 2.169  | 1000           | 3431        |
| 2.650  | 1200           | 4063        |
| 3.350  | 1400           | 4695        |
| 3.890  | 1600           | 5327        |
| 4.420  | 1800           | 5958        |
| 5.010  | 2000           | 6590        |
| 5.560  | 2200           | 7222        |
| 6.230  | 2400           | 7854        |
| 8.241  | 2600           | 8486        |

Hecho por : Msc. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. A.S.V.

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



Ing. Rafael Cachay Huamán  
Jefe (e) del laboratorio

**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú  
(511) 381-3343  
(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

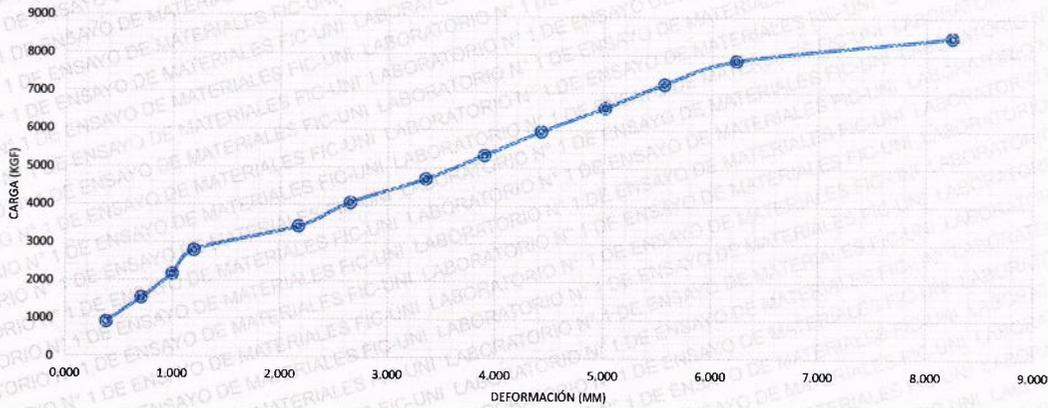


www.lem.uni.edu.pe  
lem@uni.edu.pe  
Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI



Expediente N° : 21-2538-4

DEFORMACIÓN VS CARGA  
LOSA ALIGERADA CON BOTELLAS RECICLADAS L-4



5.0. OBSERVACIONES : Se muestran las gráficas de deformación vs carga.

6.0. ANEXOS : PANEL FOTOGRÁFICO DEL PROCEDIMIENTO



Hecho por : Msc. Ing. C. Villegas M.  
Técnico : Sr. A.S.V.

Ing. C. Villegas Martínez  
CIP: 109062

Ing. Rafael Cachay Huamán  
Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

Anexo N°9. Panel fotográfico del proceso constructivo y ensayo a flexión de maquetas de losas aligeradas.

**A) PROCESO CONSTRUCTIVO DE MAQUETAS DE LOSAS ALIGERADAS PARA ENSAYO**

**1. Traslado de materiales al laboratorio N°1 de la UNI.**



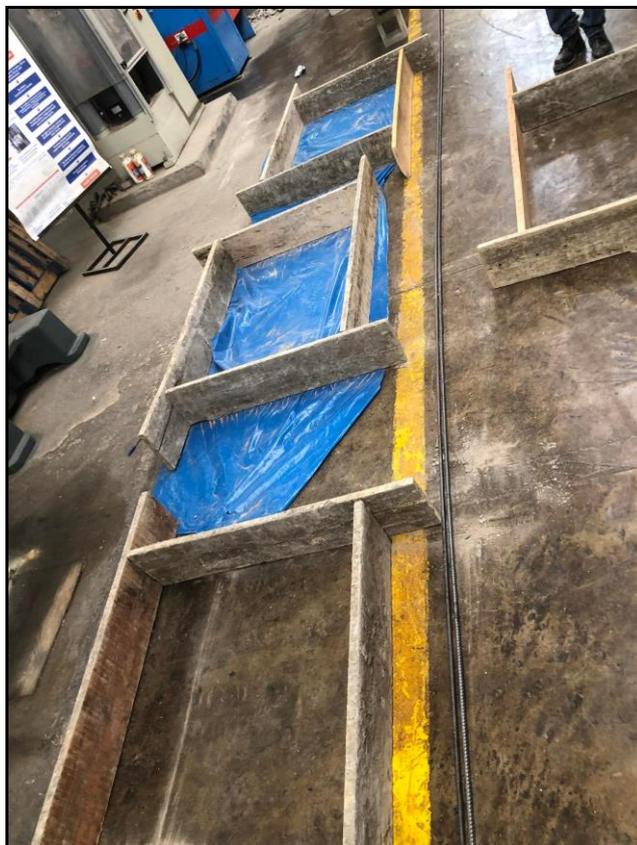
**2. Pesado de los aligerantes a utilizarse.**



**3. Vaceado de las probetas cilíndricas para prueba de resistencia del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.**



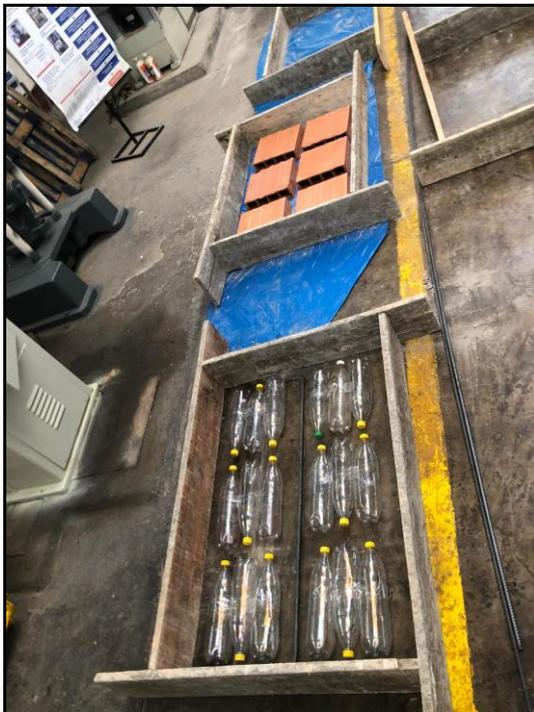
**4. Armado de los encofrados para las maquetas de losa aligerada.**



5. Armado del acero de refuerzo para maquetas de losa acorde al cálculo matemático de la losa patrón.



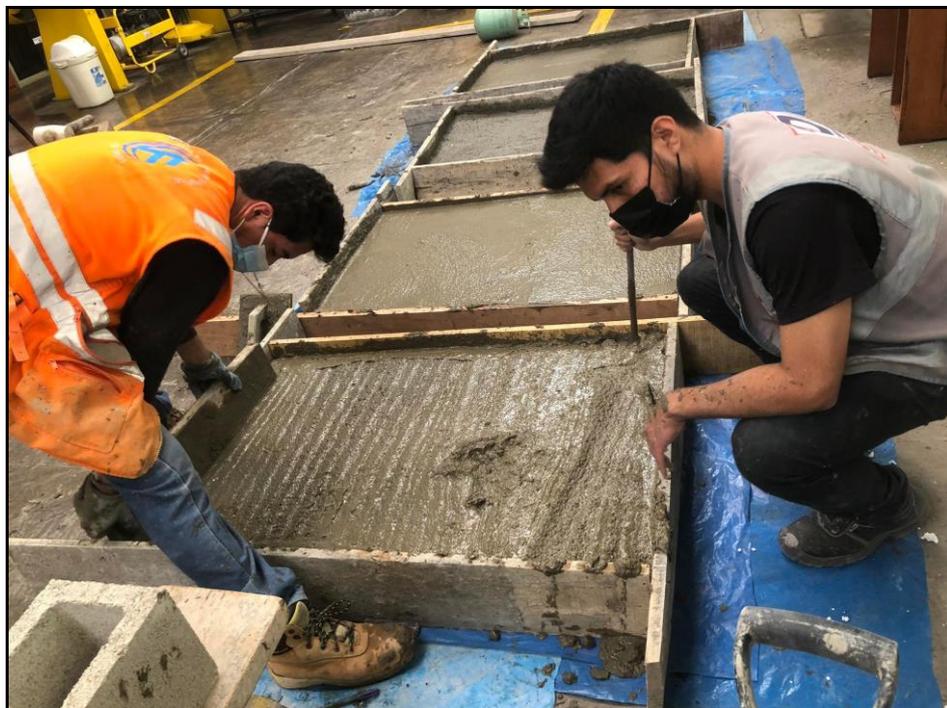
6. Colocación de los aligerantes y del acero de refuerzo dentro del encofrado respetando el recubrimiento indicado de  $r=3\text{cm}$ .



**7. Vaceado del concreto en las maquetas de losas.**



**8. Paleteado (vibrado) para una distribución uniforme del concreto dentro de la losa y así evitar cangrejas.**



**9. Finalización del vaciado del concreto y secado para ensayo a los 7 días.**

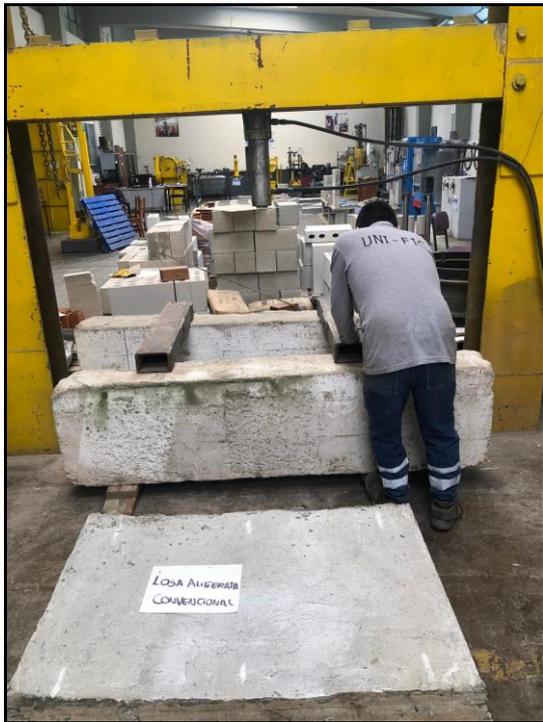


**B) ENSAYO A FLEXION CON CARGA PARA MAQUETA DE LOSAS ALIGERADAS.**

**1. Habilitación de la gata hidráulica para ensayo.**



## 2. Colocación de las losas para el ensayo en la gata hidráulica.



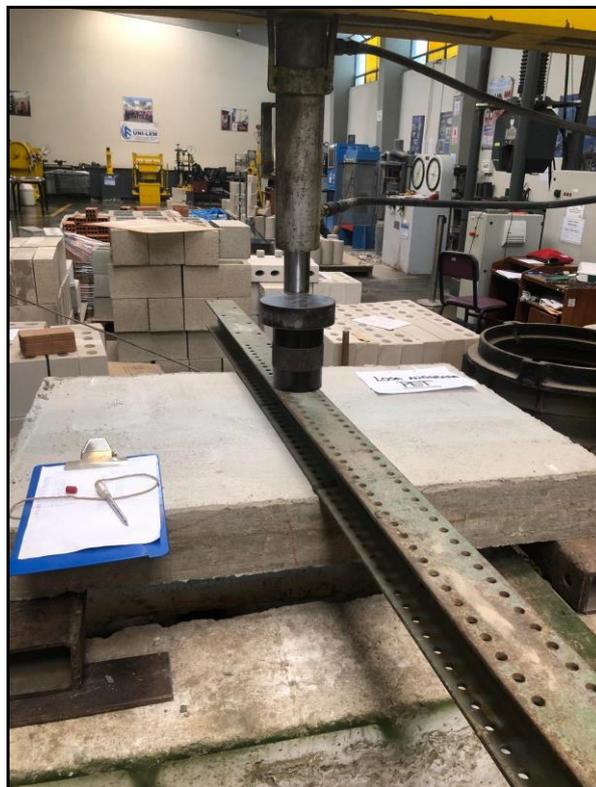
## 3. Colocación del deformímetro para medir las deflexiones instantáneas.



4. Colocación y chequeo del manómetro para el registro de las cargas aplicadas (PSI).



5. Aplicación de las cargas gradualmente con ayuda de la gata hidráulica.



6. Registro de las deflexiones marcadas en el deformímetro.

