



## EVALUACIÓN DE LA ILUMINACIÓN HÍBRIDA DE CONCRETO LIVIANO CON CANTIDADES DIFERENTES DE FIBRA ÓPTICA PLÁSTICA A4b

### Evaluation of hybrid lighting of lightweight concrete with different amounts of A4b plastic optical fiber

Gustavo Rodríguez-Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, 15024, Lima, Perú.

E-mail: gearodriguez@lamolina.edu.pe

Recibido: 28/05/2020; Aceptado: 23/04/2021; Publicado: 31/08/2021

#### ABSTRACT

The objective of this research is to quantify the contribution of light produced by hybrid lighting through translucent concrete panels, as well as to specify the mechanical properties of lightweight translucent concrete. To obtain data, it was proceeded to design common concrete, to which polystyrene foam beads were added, in different dosages, until the designation of light concrete was achieved. Later, plastic optical fibers were added in its structure forming specimens which were tested by translucency and mechanical tests. The results obtained were lightweight concrete panels made at 3%, by volume, fiber optic with translucency of 0.165% and 6.89 lux on average. It was concluded that lightweight concrete offers good support for the installed optical fibers, offering acceptable mechanical characteristics up to a maximum of 4% added fiber.

**Keywords:** bricks; illumination; optical fiber; partition wall; polystyrene; translucent concrete

#### RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo cuantificar el aporte luz, producto de la iluminación híbrida a través de paneles de concreto traslúcido, así como precisar las propiedades mecánicas del concreto liviano traslúcido. Para la obtención de datos se procedió a diseñar concreto común, al cual se fue agregando perlas de espuma de poliestireno, en diferentes dosificaciones, hasta lograr la denominación de concreto liviano. Posteriormente, se agregaron fibras ópticas plásticas en su estructura formando especímenes los cuales fueron ensayados mediante pruebas de traslucidez y mecánicas. Los resultados obtenidos fueron paneles de concreto liviano elaborados al 3%, en volumen, de fibra óptica con traslucidez de 0,165% y 6,89 luxes en promedio. Se llegó a la conclusión que el concreto liviano ofrece un buen soporte de las fibras ópticas instaladas ofreciendo características mecánicas aceptables hasta un máximo de 4% de fibra agregada.

**Palabras clave:** concreto traslúcido; fibra óptica; iluminación; ladrillo; poliestireno; tabique

#### Forma de citar el artículo (Formato APA):

Rodríguez-Silva, G. (2021) Evaluación de la iluminación híbrida de concreto liviano con cantidades diferentes de fibra óptica plástica A4b. *Anales Científicos*. 82(1), 152-161. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v82i1.1750>

Autor de correspondencia (\*): Gustavo Rodriguez-Silva. Email: gearodriguez@lamolina.edu.pe

© Los autores. Publicado por la Universidad Nacional Agraria La Molina.

This is an open access article under the CC BY

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la tasa de crecimiento poblacional ha aumentado a nivel nacional, provocando que los centros urbanos y ciudades crezcan, tanto horizontal como verticalmente. Mayor cantidad de personas demandan mayor cantidad de recursos tales como alimentación, transporte y energía. Un aumento de uso de recursos energéticos representará, en el futuro, una cada vez mayor huella ecológica y, por ende, un mayor impacto al medio ambiente.

En atención al ahorro energético y eficiencia lumínica, existen materiales que podrían contribuir a este fin, entre ellos el concreto liviano y la iluminación híbrida. La Norma NTE E.060 Concreto armado (2009) lo define como un material que no excede los 1850 kg/m<sup>3</sup> (aproximadamente un 75% de la densidad de un concreto normal) empleado en elementos no estructurales. Por otro lado, la iluminación híbrida recolecta luz natural del exterior, la cual es transportada por líneas de fibra óptica, (a manera de cables o tuberías) hacia zonas con deficiente iluminación o con uso exclusivo de iluminación artificial de fuente eléctrica. Esta investigación, evaluó una alternativa que provea iluminación sin el uso de mayor cantidad de energía eléctrica dentro de edificaciones mediante la implementación de tabiques de concreto translúcido de tal forma que permitan la conducción de la luz solar exterior.

Finalmente, el objetivo principal de la investigación fue cuantificar el aporte de luz, en luxes, mediante iluminación híbrida diurna a través de paneles de concreto translúcido liviano. Asimismo, como objetivos secundarios, se buscó definir las propiedades mecánicas del concreto translúcido – liviano en la presentación de paneles y medir el paso de la luz según diferentes cantidades de fibra óptica embebida en el panel de concreto tomando en cuenta los resultados mecánicos anteriores.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio procuró el empleo de materiales constructivos, que puedan albergar en su estructura fibras ópticas tal que permitan el paso de la luz natural. Todo esto con la finalidad de evaluar su posible contribución en iluminación.

### **Concreto liviano**

De acuerdo con lo señalado en la Terminología de concreto de la ACI (2013), se define como concreto liviano (lightweight concrete) a todo concreto con una densidad equilibrada de entre 1120 a 1920 kg/m<sup>3</sup> (el concreto normal promedio es de alrededor de 2400 kg/m<sup>3</sup>). Indica, además que este concreto está elaborado mediante, la combinación de agregados ligeros o la combinación de éstos con agregados de densidad normal.

### **Poliestireno expandido (EPS)**

En el ámbito internacional se le conoce como EPS (Expanded PolyStyrene) y más coloquialmente como “Tecnopor”. El Poliestireno Expandido es una resina sintética espumada utilizada en el sector de la construcción, principalmente como aislamiento térmico y acústico. Es usado como envase, embalaje y aislamiento en diferentes productos. El EPS está fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible. Según el IDAE (2007) cada uno de sus copolímeros, presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire.

Este material se presenta como un conglomerado compacto de perlas de poliestireno de alrededor 5mm de diámetro la cuales forman bloques de múltiples formas y tamaños. Es necesario resaltar que la matriz de todo bloque son estas esferillas o perlas llenas de aire, esto es lo que le confiere rigidez y a la vez versatilidad.

### **Concreto con Agregado de Poliestireno (CAP)**

Según el IMCYC (2013), el CAP es un concreto liviano con buena capacidad de deformación. Su aplicación se limita generalmente para uso no estructural debido a sus propiedades. Este material es usado en paneles de revestimiento, muros no estructurales, estructuras flotantes marinas entre otros. El diseño del concreto es bastante similar al del concreto común y corriente. La diferencia radica en que al material se le agrega esferas o “perlas” de poliestireno expandido (de 1 a 6 mm de diámetro) en sustitución parcial de la piedra o agregado grueso.

### **Fibra óptica usada en la iluminación**

El principio por el cual la luz viaja a través de la fibra es explicado por la refracción y la reflexión. Rodríguez (2012) indica que la primera es el cambio de dirección que llevan las ondas cuando pasan de un medio a otro y la segunda es el cambio de dirección de la onda, pero hacia el origen. Lo que quiere decir, que la luz al ingresar de un medio (aire) a otro (fibra) cambia su

dirección siendo conducida por la reflexión de ésta en las paredes internas del filamento a modo de zigzag 1. La luz llega a su destino sin ninguna pérdida dispersándose en un ángulo de alrededor de 60°.

### **Fibra óptica de plástico (FOP)**

Parola (2018) sostiene que «la fibra óptica de plástico con dopante híbrido funciona como un concentrador solar luminiscente: absorbe la luz solar y la emite a una mayor longitud de onda; transporta la luz al extremo de la fibra, por reflexión interna total y en el extremo de la fibra se coloca la célula fotovoltaica. Es la primera vez que se utilizan para ese fin fibras ópticas de plástico que combinan componentes orgánicos e inorgánicos». Asimismo, destaca que, como otros concentradores luminiscentes, éste también resulta muy apropiado para obtener energía solar en espacios situados en sombra y en días nublados. Eberle (2017) indica, que el conjunto de fibras antes mencionado permite curvaturas menores a 20 mm con alta flexibilidad para interconexiones, así como resistente a la manipulación, vibraciones y colisiones. Asimismo, indica un buen comportamiento en ambientes hostiles como los húmedos e incluso acuosos.

Las fibras ópticas de plástico o por sus siglas en inglés (Plastic Optic Fiber – POF) son un conjunto de filamentos. Dentro de las características físicas más relevantes, se debe tener en cuenta dos parámetros, dispersión y la atenuación. La primera corresponde al modo en cómo viajan los rayos de luz a través de la fibra lo cual produce un atraso en la transmisión de la señal. Esta es la razón principal por la que existe una reducción o limitante en la distancia de transmisión o como mejor se le conoce, ancho de banda. La segunda, la atenuación, refiere a cualquier tipo de fenómeno que aminora la potencia de transmisión en la fibra óptica. Este parámetro, aumenta exponencialmente con la distancia que recorre la luz a través de la fibra óptica. La unidad de medida para este vector son los decibeles por kilómetro (dB/km).

### **Tecnología del concreto traslúcido**

Algunos investigadores han buscado encontrar funciones adicionales que van más allá del clásico uso estructural del concreto. Por ejemplo, Baoguo, Liqing y Jinping (2017) señalan que, en el año 2001, el húngaro Áron Losonczy patentó un tipo de concreto en bloques que contiene en su estructura líneas de fibra óptica. Se bautizó este concreto como “LiTraCon” y su presentación era mediante bloques de 20x20x100 cm con un 4% y 96% de volumen de fibra óptica y concreto,

respectivamente, en su unidad (aunque ésta podía ser variable para ser difuso y/o con trazos definidos según la necesidad). Este producto permite el paso del 30% de luz pudiendo ésta recorrer un máximo de hasta 2 metros (espesor). El Litracon posee una composición de 96% de hormigón y 4% de fibra. Su densidad es de entre 2100 y 2400 kg/m<sup>3</sup>, su resistencia a la compresión es de hasta 509,86 kg/cm<sup>2</sup> y es comercializado en bloques prefabricados.

Otros estudios pasaron de la translucidez a la transparencia, como el que realizó Rubio (2015); quien llevó a cabo estudios sobre concreto capaz de emitir luz por sí mismo después de recibir radiación solar durante el día. Esto se logró modificando el cemento (compuesto reactivo del concreto) siguiendo el principio de los plásticos fluorescentes. En palabras del propio Rubio, este cemento fue ideado para usarse en espacios sin acceso a iluminación eléctricas.

También, los mexicanos Galván y Sosa (2005) patentaron un concreto enteramente traslúcido que permite un mayor paso de la luz que el producto anterior, asimismo presenta una resistencia a la compresión muy alta, así como resistencia al ataque de sulfatos y agentes externos. Es producto patentado se conoce con el nombre comercial de “Illum” y es básicamente un concreto con polímeros.

### **Metodología**

En cuanto a la metodología, la investigación fue abordada desde un enfoque cualitativo. Hernández et al. (2014), definen al enfoque cualitativo como aquel que utiliza la recolección y análisis de datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación. Se plantearon dos etapas en la investigación, la primera necesaria para la determinación y diseño de un concreto liviano con contenido de EPS.

La segunda parte corresponde a la medición de la luz que pasa a través de los bloques de concreto liviano, por medio de la fibra óptica. Cada una de estas etapas experimentales dio un conjunto de datos cuantitativos, los que fueron analizados estadísticamente a fin de comprobar la veracidad o falsedad del planteamiento.

### **Determinación de la población y muestra**

Se consideró como población a todos los testigos de concreto liviano, elaborados con un peso específico entre 1120 y 1680 kg/m<sup>3</sup> y que fueron capaces de contener líneas de fibra óptica en su interior. Para el

caso de las muestras, se usó del tipo no probabilístico o dirigido. Hernández et al. (2014), sostienen que en este tipo de muestras la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino, de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador.

Para efectos prácticos, se emplearon 16 probetas cilíndricas de 6" x 12" para ensayos de propiedades del concreto liviano y 27 probetas cúbicas de 150 mm de lado para la evaluación de paso de luz.

#### **Análisis estadístico de los resultados**

Los parámetros estadísticos utilizados, permitieron clasificar y evaluar la calidad de información recopilada de los ensayos realizados. Valores anómalos o discordantes, a la tendencia general fueron depurados a fin de tener una mejor descripción de los fenómenos observados. Se usaron los valores estadísticos utilizados fueron los siguientes: Media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar ( $\sigma$ ), mediana (Me), moda (Mo), valor máximo y valor mínimo.

También, se utilizó el análisis de distribución normal de datos en la forma del método gráfico de la campana de Gauss. Este último, permitió apreciar la mayor concentración de datos similares y con mayor probabilidad de aparición.

#### **Caracterización de insumos para concreto liviano**

Para este estudio, se adquirieron 300 kg entre agregados gruesos y finos provenientes de la cantera "Huaycán". Ya que el método ACI 211.1, para diseño de concreto, utiliza en sus cálculos parámetros de peso específico, humedad, absorción etc. Se ha considerado colocar en un apartado los ensayos a realizar. En la Tabla 1, se presentan las normas usadas, así como los alcances que cada una provee.

#### **Agua**

El agua usada para elaborar concreto fue tomada de la red de agua principal del campus de la UNALM. La relación a/c (agua-cemento) usada fue de 0,70.

#### **Cemento**

El cemento portland elegido para realizar este experimento fue de la marca SOL tipo I (en cumplimiento de la NTP 334.009 "cementos portland requisitos"). La razón de su elección radica en que las ventajas que ofrece se ajustan a los requerimientos de la investigación. Los considerandos de la elección del cemento fueron los siguientes:

- Acelerado desarrollo de resistencias iniciales permite un menor tiempo en el desencofrado.

- Ideal para la producción de prefabricados en concreto.
- Ideal para la fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos y adoquines.

**Tabla 1.** Propiedades de los agregados según las pruebas realizadas usando la NTP.

<b>Norma NTP</b>	<b>Alcances de la prueba</b>
NTP 400.012	Se efectuó un análisis granulométrico en tres repeticiones, en los agregados obteniendo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El agregado fino presentó un módulo de finura de 3,33.</li> <li>• El agregado grueso, se obtuvo un tamaño máximo nominal de 3/4".</li> </ul> Ambos datos son el promedio de 3 repeticiones realizadas.
NTP 339.185	Los valores promedio de humedad en tres repeticiones para el agregado fino fueron: 2,33% Los valores promedio de humedad en tres repeticiones para el agregado grueso fueron: 0,20%.
NTP 400.021	El agregado grueso presenta un peso específico de 2,85 y una absorción de 0,45%, en promedio.
NTP 400.022	El agregado fino presenta un peso específico de 2,59 y una absorción de 1,54%, en promedio.
NTP 400.017	Para el caso del agregado fino se obtuvo un peso volumétrico suelto de 1519,20 kg/m <sup>3</sup> y compactado de 1722,52 kg/m <sup>3</sup> . En el caso del agregado grueso el peso volumétrico suelto fue de 1429,86 kg/m <sup>3</sup> y compactado de 1599,98 kg/m <sup>3</sup> .

#### **Fibra óptica**

Se empleó fibra óptica plástica del tipo A4b. Su diámetro exterior es de 750  $\mu$ m, diámetro de núcleo entre 15 a 35  $\mu$ m, temperatura de operación de -40°C a 80°C y es usada en iluminación.

Las fibras para utilizar fueron limpiadas y secadas, a fin de mantenerlas libres de polvo, grasas o aceites. Son incoloras, con forma recta, con ligeras curvaturas. Ya que la fibra es empacada en carretes o bobinas de 100 m de largo se presentan curvaturas, que dificultan su colocación en los moldes por lo que es necesario enderezarlas. Para ello, se tomaron atados de fibra cortada para luego ser sumergidas en agua de entre 60 y 70 °C por un espacio de 30 segundos. Luego fueron pasadas por agua a temperatura ambiente (20°C)

manteniéndolas estiradas en el proceso. Esto aseguró, que las fibras puedan ir a lo largo del bloque de concreto liviano en toda su extensión.

El porcentaje de fibra añadida fue determinado en base a la propuesta del producto conocido como Litracon. Este usa fibras de  $\varnothing$  2 mm de ancho en una cantidad de 4% con respecto al volumen de concreto. Por tanto, se probarán con tres porcentajes inferiores teniendo en cuenta que se usará fibra de  $\varnothing$  0,75 mm por encontrarse disponible en el mercado. Los porcentajes se indican en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Porcentaje en volumen de fibras añadidas a los testigos.

Porcentaje	Cantidad de fibras por testigo (und.)
1%	425
2%	850
3%	1275

### Poliestireno expandido (EPS)

Para la fase de experimentación se usaron esferas de EPS ya que tienen la ventaja de distribuirse de forma uniforme en toda la mezcla de concreto evitando la aparición de espacios vacíos o burbujas de aire en el concreto.

Con fines de caracterización se recurrió a la norma chilena NCh1070 - Aislación térmica - Poliestireno expandido – Requisitos – la cual clasifica a las perlas de EPS para ser usadas en cavidades o extendidas sobre la superficie del elemento a aislar térmicamente y con densidades de entre 8 y 15 kg/m<sup>3</sup>. Asimismo, la norma indica que la presentación en forma de perlas es incapaz de recibir cargas por lo que no fue necesario efectuar pruebas tales como conductividad térmica, resistencia mecánica, estabilidad dimensional entre otras.

### Dosificación para EPS añadido

Se elaboraron cuatro probetas de concreto usando el diseño antes contemplado a manera de control. Estos ensayos proveyeron datos de partida para peso, densidad y resistencia iniciales. A partir de la dosificación para concreto  $f'c = 175$  kg/cm<sup>2</sup>, se realizó el reemplazo parcial del contenido de piedra. El volumen para una probeta cilíndrica para ensayo de compresión de 6" x 12" según norma (NTP 339.034) - Método de ensayo normalizado - para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto. El

volumen de un cilindro de 6" x 12" es 5560,01 cm<sup>3</sup>. Se elaboraron dosificaciones de material para diferentes porcentajes de EPS añadidos en función a un reemplazo del volumen del agregado grueso. En la Tabla 3, se muestran las dosis usadas por probeta elaborada:

**Tabla 3.** Variación de las proporciones según mezcla (cm<sup>3</sup>).

Insumo	0%	40%	60%	100%
Agua	1377,52	1377,52	1377,52	1377,52
Cemento	636,59	636,59	636,59	636,59
Agregado grueso	3535,46	2121,28	1414,18	0,00
Agregado fino	2864,30	2864,30	2864,30	2864,30
Poliestireno	0,00	1414,18	2121,28	3535,46

### Vaciado de concreto en moldes de madera y desmoldado

Para la elaboración de testigos se fabricaron moldes o "encofrados" elaborados usando madera contraplacada de 25,4 mm de espesor. Para un mejor manejo, tanto en el encofrado y desencofrado se vio por conveniente armar 3 moldes de 3 cubos cada uno. De esta forma, se pudo preparar el concreto en tandas y vaciar la mezcla por partes procurando colocar la fibra óptica tal que los extremos de estas quedaron libres asegurando el paso de la luz a través del eje principal del cubo. Los extremos de los testigos fueron encofrados con retazos de espuma de poliestireno de 150 mm de largo por una altura variable (según la densidad de fibra a colocar) de tal forma que aseguraron que ambos extremos de la fibra estuvieron libres de concreto. Los porcentajes de fibra óptica plástica colocados en cada tipo de testigo estuvieron en función al volumen del molde cúbico de 230 mm x 230 mm.

### Prueba de compresión axial

En los testigos cilíndricos se realizaron pruebas de compresión de concreto cumpliendo con la norma NTP 339.034. Dichas pruebas se efectuaron aplicando una carga axial en la cara superior de las probetas cilíndricas. Esta varía, en función al tiempo de maduración del concreto. Se usa un equipo denominado prensa hidráulica. Esto, con el objetivo de comprobar la resistencia a la compresión de la unidad hecha con concreto liviano.

### Prueba de compresión diagonal

Se efectuó una prueba de compresión diagonal en el laboratorio de ensayo de materiales de la UNALM. Para ello se elaboraron paneles de concreto liviano a ser ensayados en una prensa hidráulica. Los paneles prefabricados serán considerados como “muretes”. Por ello se ha usado como referencia la NTP 399.621 - Unidades de albañilería. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería. Es importante anotar que la norma alcanza a unidades de albañilería de concreto sólido más no a unidades de concreto prefabricado.

Este ensayo determina la resistencia a la compresión diagonal (corte) en paneles prefabricados de 230 mm x 230 mm. Este ensayo induce a la falla por tracción diagonal del testigo, con un fisuramiento paralelo al sentido de aplicación de la carga aplicada al eje.

### Ensayos de paso de luz en laboratorio

Para este ensayo, se usaron testigos cúbicos de concreto liviano con fibra óptica embebida. Se probó la capacidad de paso de luz iluminando un lado del testigo a fin de hacer que la luz viaje a través de la fibra óptica y llegue al otro extremo. El ensayo se realizó en un ambiente oscuro donde se colocó una luminaria, en este caso una linterna, y se midió la cantidad de luz de ingreso y egreso en el otro extremo tal y como se muestra en la Figura 3.

Para efectos de cuantificación de la luz se usó un luxómetro el cual permite medir la luz o luminosidad que hay en un ambiente perceptible al ojo humano.

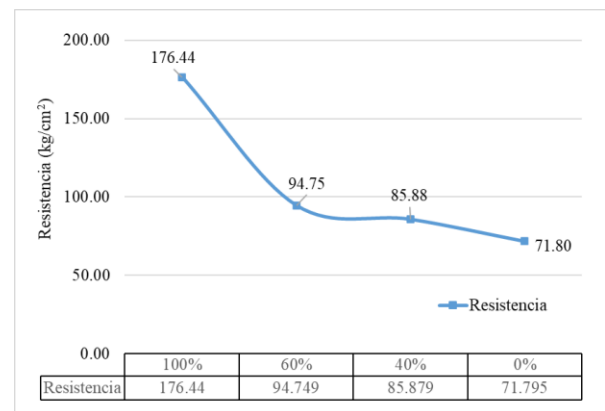
## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados de ensayos mecánicos

El diseño de concreto liviano con reemplazo total de agregado grueso por EPS ofreció una resistencia a la compresión promedio de 71,8 kg/cm<sup>2</sup>. Al respecto, la norma NTE E.060 Concreto armado (2009) manifiesta que los concretos livianos no deben exceder los 35 MPa o 356,9 kg/cm<sup>2</sup>; ergo el concreto elaborado en laboratorio se clasifica como liviano. El concreto elaborado se considera apto como soporte admisible para la fibra óptica instalada en su estructura. En la Figura 1, se presenta la variación de la resistencia a la compresión de los diferentes tipos de concreto elaborados. La línea de tendencia, se encuentra en función a la resistencia promedio de tres probetas probadas a la rotura con una edad de 28 días. Según los

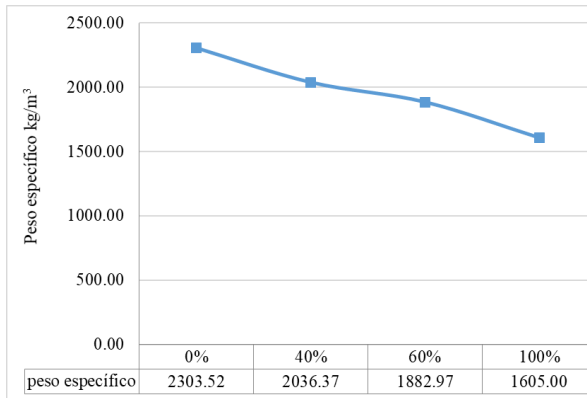
datos colectados, los valores decrecen considerablemente al ser retirado inicialmente el 40% del agregado grueso. La disminución de resistencia a la compresión axial se presume, se debe a la reducción del agregado grueso. Al respecto, Gutiérrez (2003) señala que la resistencia de los concretos hidráulicos, como el elaborado en este estudio, están estrechamente relacionados con la presencia y propiedades del agregado grueso. Asimismo, sostiene que agregados artificiales ligeros, como el EPS, son propios de concretos de baja resistencia.

En la Figura 1 se puede apreciar una disminución de entre 130-150 kg/m<sup>3</sup> por cada 20% de agregado grueso reemplazado. Los resultados de la Figura 2 indican que en el caso del 100% de ausencia del agregado grueso el peso específico del concreto arroja un valor de 1605 kg/cm<sup>3</sup>. Este valor está por debajo de los 1850 kg/m<sup>3</sup> que la Norma ASTM C 567 (2006) que considera como máximo para considerar un concreto como ligero. Por otro lado, se puede afirmar que el agregado grueso confiere alrededor del 30% peso de un concreto normal.



**Figura 1.** Variación de la resistencia promedio de concreto a los 28 días en función, al porcentaje, de agregado grueso presente. Esta fue disminuyendo hasta un completo reemplazo (0%) por EPS.

Para el caso de la resistencia a la compresión diagonal se elaboraron 12 paneles de concreto liviano, a fin de comprobar su resistencia a la compresión diagonal. Los paneles elaborados de forma cuadrática tuvieron 230 mm de lado y un espesor de 85mm en promedio. Se evaluaron los esfuerzos máximos diagonales, así como el comportamiento del concreto al aplastamiento. Los ensayos arrojaron un mínimo y un máximo de 17,81 y 30,43 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.



**Figura 2.** Variación del peso específico en función al porcentaje de EPS incluido, en reemplazo del agregado grueso.

### Pruebas de luz en testigos traslúcidos

En esta etapa de la investigación se decidió usar testigos de concreto liviano cúbicos de 150 mm de lado. Se utilizaron en total 27 testigos de concreto, con tres diferentes porcentajes de concentración de FOP. Al respecto, Eberle (2017) destaca la flexibilidad y resistencia a la manipulación de la fibra óptica plástica, las cuales facilitaron la mezcla con el concreto fresco. Una vez estos testigos se encontraron aptos para los ensayos, se procedió a realizar las mediciones de luz incidente y luz pasante a través de cada probeta. Se efectuaron las mediciones de luz en un cuarto oscuro a fin de concentrar las medidas de luz sobre las probetas. Se usó una linterna de 10000 lúmenes de luz blanca con capacidad de y el instrumento de medición usado fue un luxómetro.

De los resultados obtenidos, se han tomado dos datos primordiales, (a juicio del investigador) la luz pasante y el porcentaje de traslucidez según el porcentaje de FOP en el concreto. Ambos en la forma de promedios son presentados en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Valores promedio de paso de luz promedio de paso de luz.

Contenido de FOP	Luz promedio que pasa (luxes)	Porcentaje promedio que pasa
Tipo 1%	4,09	0,097%
Tipo 2%	4,51	0,103%
Tipo 3%	6,89	0,165%

En la Tabla 4, se puede apreciar que según aumenta la cantidad de fibras de FOP mayor es la traslucidez del bloque de concreto liviano. Asimismo, el porcentaje de

luz que pasa aumenta hasta casi el doble en el caso del tipo 3 con respecto al 1. Esto quiere decir que, por ejemplo, por cada 10000 luxes que inciden en el bloque del tipo 1, 2 y 3 pasarán aproximadamente 19,35; 20,52 y 33,06 luxes respectivamente. Los porcentajes medios de paso de luz obtenidos difieren en gran medida al 30% del LiTraCon tal y como indican Baoguo, Liqing y Jinping (2017). Se puede apreciar esta diferencia, debido a que el LiTraCon usa fibras de mayor diámetro (2mm) y no cuenta con esferas de EPS en su estructura, por tanto, puede albergar más fibras las cuales le confieren mayores índices de traslucidez.

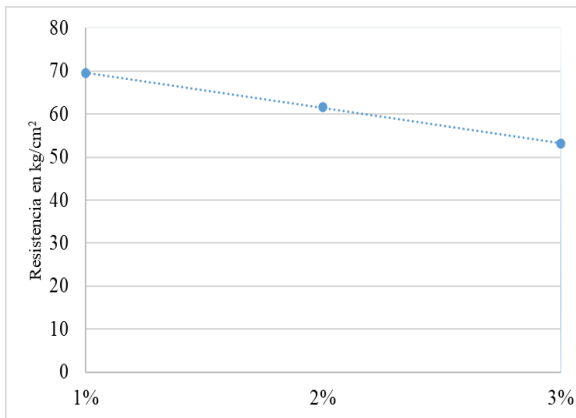
Asimismo, no se detectó atenuación aparente en el tránsito de la luz a través de la fibra, a pesar de que Eberle (2017) indica que las fibras de plástico son altamente atenuantes. En todo caso, esta característica se limita a la elaboración de las fibras no pudiendo ser inducida por el entono, en este caso, el concreto liviano. Por otra parte, y tomando en cuenta, que la iluminación diurna en cielo nublado llega hasta los 25000 luxes y con cielo despejado hasta los 120000 luxes. Queda claro, que los bloques pueden aportar luz natural sin problema alguno. Esto último, con la condición de ser colocados en tabiques externos en contacto directo con la luz solar. Por tanto, y según lo experimentado es posible afirmar que los bloques traslúcidos podrán aportar luz natural mediante la iluminación híbrida en ambientes cerrados y así contribuir con la iluminación artificial existente.

En la Tabla 5, también se puede apreciar la variación de resistencia a la compresión del concreto liviano en función a su contenido de fibra óptica. Según los ensayos realizados en la etapa de diseño de concreto, la resistencia arrojó un valor promedio de 71,8 kg/cm<sup>2</sup>. En la Figura 3 puede verse que la resistencia a la compresión disminuye a una tasa de 8,15 kg/cm<sup>2</sup> por cada 1% de fibra agregada llegando, por ejemplo, a una resistencia media de 53,21 kg/cm<sup>2</sup> y 3% de fibra óptica plástica agregada.

Como referencia, la norma E.070 Albañilería (2006) presenta una resistencia mínima aceptable de 50 kg/cm<sup>2</sup> en bloques de concreto tipo "P" para muros armados. Esto quiere decir que el máximo de fibra que podría contener el concreto diseñado sería de 4% y tener una eventual resistencia de 46,56 kg/cm<sup>2</sup>. Esto último coincide con las características del concreto traslúcido obtenidas por el cual usa hasta un 4% de contenido de FOP en su interior.

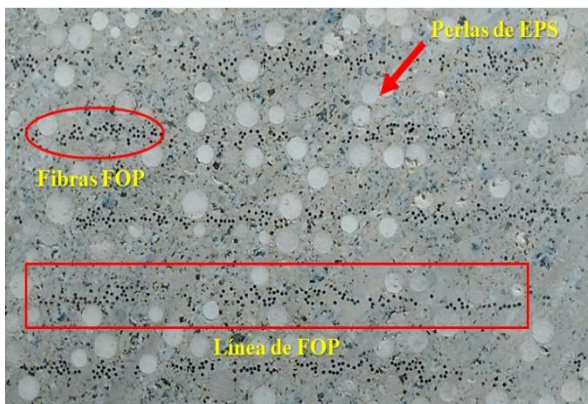
**Tabla 5.** Resistencia de bloques en función al contenido de fibra.

Contenido de FOP	Resistencia promedio en kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia inicial en kg/cm <sup>2</sup>
1%	69,49	71,8
2%	61,57	71,8
3%	53,21	71,8



**Figura 3.** Curva de disminución de resistencia.

En la Figura 4, se presenta un corte transversal del producto obtenido. En el corte se puede apreciar la distribución uniforme de las perlas de EPS (círculos blancos) y las líneas de FOP colocadas (puntos negros) en capas.



**Figura 4.** Corte transversal de panel de concreto con fibra incorporada. Nótese la distribución de las EPS y la FOP.



**Figura 5.** Prueba de traslucidez en probeta con 3% de fibra añadida. Véase las FOP conduciendo los haces de luz.



**Figura 6.** Prueba de compresión realizada en probeta con 3% de fibra añadida.

#### 4. CONCLUSIONES

De acuerdo a la investigación realizada, se concluye que, el porcentaje creciente de luz pasante para bloques de concreto liviano, de 230 mm de espesor, se incrementa en función a la cantidad de fibra óptica plástica agregada. La mayor cantidad de luz pasante se ha obtenido con los bloques de concreto liviano elaborados al 3% de FOP agregado, arrojando una traslucidez de 0,165% y 6,89 luxes de iluminación en



promedio. Si bien el porcentaje de translucidez por bloque es menor al 1%, resulta imprescindible que la luz pasante provenga de una fuente solar. También, debe considerarse que la cantidad de iluminación será mayor cuantas más fibras existan en el concreto. También se ha comprobado que, partiendo de un concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia a la compresión se redujo hasta 71,8 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual es aceptable, según la norma NTE E.060 Concreto armado (2009). Asimismo, el concreto elaborado puede ser considerado como liviano, pues su peso específico promedio es de 1605 kg/m<sup>3</sup>. Este valor se ajusta a la norma ASTM C 567, que define a los concretos livianos como aquellos que no exceden un peso específico de 1850 kg/m<sup>3</sup>. No se ha registrado incompatibilidad entre el concreto liviano y la fibra óptica plástica instalada. No hay evidencia de desgaste, abrasión o daño físico visual en las fibras. Se concluye que el concreto liviano ofrece una estructura sólida y segura para las fibras en su interior de tal forma que se encuentran fijas y con sus lados libres y aptos para recibir la luz del exterior. Finalmente, es menester aclarar que los ensayos mecánicos de compresión axial fueron realizados en probetas cilíndricas y cúbicas, mientras que las de compresión diagonal fueron en bloques unitarios. Queda abierta, para posteriores investigaciones, la determinación de otras propiedades mecánicas como lo son el módulo de Young o el coeficiente de Poisson, por ejemplo.

### Conflictos de intereses

Los autores firmantes del presente trabajo de investigación declaran no tener ningún potencial conflicto de interés personal o económico con otras personas u organizaciones que puedan influir indebidamente con el presente manuscrito.

### Contribuciones de los autores

Preparación y ejecución: GRS; Desarrollo de la metodología: GRS; Concepción y diseño: GRS; Edición del artículo: GRS; Supervisión del estudio: GRS.

## 5. LITERATURA CITADA

- Alfonso, S., & Parola I. (2018). Desarrollan una nueva fibra óptica de plástico. Artículo Columna Cero Ciencia. Consultado el 18 abril 2019. Disponible en <https://columnacero.com/ciencia/10056/desarrollan-una-nueva-fibra-optica-de-plastico/>.
- ACI [American Concrete Institute]. (2013). ACI Concrete Terminology ACI CT-13 78p.
- Baoguo, H., Liqing, Z., & Jinping, O. (2017). Smart and Multifunctional Concrete Toward Sustainable Infrastructures, Singapur. Publicado por Springer Nature Singapur. 399 p.
- Eberle, P. (2017). Estudio y análisis de fibras ópticas de plástico para transmisión de medios multimedia en entornos HAN. Monografía en Ingeniería electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Bogotá, Colombia. 89 p.
- Galván, S., & Sosa, J. (2013). Materiales No tradicionales Concreto Translúcido. Revista (en línea). Civilizate PUCP Núm. 3, Perú. Consultado el 01 Set. 2018. Disponible en [https://revistas.pucp.edu.pe/imagenes/civilizate/civilizate\\_003.html](https://revistas.pucp.edu.pe/imagenes/civilizate/civilizate_003.html)
- Gutiérrez, D. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción Universidad Nacional de Colombia sede Manjales – Caldas, Colombia. 232 p.
- Hernández, S., Baptista, L., & Fernández, C. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill Education. Ciudad de México, México 600 p.
- IDAE [Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía]. (2007). Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios. España. 67 p.
- IMCyC [Instituto mexicano del cemento y del concreto]. (2013). Poliestireno en la fabricación del concreto. Revista Construcción y Tecnología, III(9):61.
- Keyence. (ND) Guía de sensores para fábricas clasificados por principios, Fundamentos del sensor. Disponible en: [keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/fiber/info/](https://keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/fiber/info/).
- Norma ASTM C 567 (2006). Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete. American Society for Testing and Materials.5p.
- Norma NTE E.060 (2009). Concreto armado 2009 aprobado mediante DECRETO SUPREMO N° 010-2009-VIVIENDA. 200p.
- Norma técnica E.070 (2006). Albañilería 2006 aprobado mediante RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 011-2006-VIVIENDA. 58p

- NTCh (Norma chilena oficial) 1070. (1984). Aislación térmica - Poliestireno expandido – Requisitos. Chile; INN (Instituto nacional de normalización).
- NTP 339.185. (2013) Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. 2ª Edición. Perú; INACAL.
- NTP 399.621. (2015). Unidades de Albañilería. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería. Perú; INACAL.
- NTP 400.012. (2013). Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª Edición. Perú; INACAL.
- NTP 400.037. (2018). Agregados para concreto. Requisitos. 4ª Edición. Perú; INACAL.
- NTP 400.021. (2013). Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. 3ª Edición. Perú; INACAL.
- NTP 400.017. (2016). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen. Perú; INACAL.
- Rubio, A. (2015). Cemento que emite luz. *Revista Construcción y Tecnología*. 5(8):61.
- Rodríguez, A. (2012). Fibra Óptica, qué es y cómo funciona: fibra óptica hoy. Disponible en <https://www.fibraopticahoy.com/seleccion-de-tipos-de-fibras-opticas/>