

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Iluminancia y Tenacidad en Pasta de Cemento Translucida;  
Desarrollo de Pasta de Cemento Fluorescente**

**Juan José Andrade Lara  
Ingeniería Civil**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
**Ingeniero Civil**

Quito, 23 de mayo del 2024

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Iluminancia y Tenacidad en Pasta de Cemento Translúcida;  
Desarrollo de Pasta de Cemento Fluorescente**

**Juan José Andrade Lara**

**Nombre del profesor, Francisco Játiva, PhD**

Quito, 23 de mayo del 2024

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Juan José Andrade Lara  
Código: 00209121  
Cédula de identidad: 1724727175  
Lugar y fecha: Quito, 23 de mayo del 2024

## ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

## UNPUBLISHED DOCUMENT

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

## RESUMEN

En la presente investigación, se busca evaluar la iluminancia y la resistencia a la tenacidad de la pasta de cemento translúcida de muestras de 3%, 4% y 5% de la fibra óptica y de 5% de fibra óptica en reemplazo por su volumen, respectivamente, realizando una comparación con muestras control (sin fibra óptica). Además de usar la pasta de cemento translúcida con material fluorescente, para desarrollar una pasta fluorescente con aplicaciones en el área de la construcción y arquitectura a partir de pigmento fotoluminiscente. Para la creación de la pasta de cemento se utiliza una mezcla homogénea, tomando en consideración una relación de agua/cemento (a/c) de 0.42 para todos los especímenes. Para la fabricación de cubos fluorescentes se desarrolló 4 cilindros de 0.75 pulgadas de altura y 82 milímetros de diámetro, de cada porcentaje de fibra óptica plástica (i.e. 3%, 4% y 5%). Para la evaluación de la tenacidad se desarrollaron dos prismas (ancho y altura=10.16cm y L=35.56cm (14”) según establecido en la norma ASTM C1602 – 12, una de las viguetas sería una muestra control (con fibra de polipropileno al 5%), mientras que la segunda sería en función al 5% del volumen de la pasta de cemento con fibra óptica plástica. Para la elaboración de los especímenes fluorescentes se consideró realizar 6 cubos con agregados fotoluminiscentes de una granulometría regular. Los cubos se realizaron con la geometría de 5 cm por lado, tomado en cuenta que 3 de ellos utilizarían fibra óptica plástica (entrelazada en forma de malla) mientras que los otros 3 sería una muestra control sin fibra óptica plástica. Los 6 cubos utilizan una mezcla de pasta de cemento de 0.42 (a/c) y un porcentaje de agregado fluorescente de 35.6%.

**Palabras clave:** Pasta de Cemento Translúcida, Fibra Óptica Plástica, Iluminancia en la Pasta de Cemento Translúcida, Resistencia a la Tenacidad, Pasta de Cemento Fluorescente.

## ABSTRACT

The present research aims to evaluate the illuminance and toughness resistance of translucent cement paste samples containing 3%, 4%, and 5% optical fibers, and 5% optical fibers by volume, respectively, compared to control samples (without optical fibers). Additionally, translucent cement paste with fluorescent material is used to develop a fluorescent paste for applications in the construction and architecture field, utilizing photoluminescent pigment. A homogeneous cement paste mixture is used with a water/cement ratio (w/c) of 0.42 for all specimens. For the production of fluorescent cubes, four cylinders of 0.75 inches in height and 82 millimeters in diameter were made for each percentage of plastic optical fiber (i.e., 3%, 4%, and 5%). To assess toughness, two prisms were developed (width and height = 10.16cm and length = 35.56cm (14")) following ASTM C1602 – 12 standards. One of the beams served as a control sample (with 5% polypropylene fiber), while the second was based on 5% of the volume of cement paste with plastic optical fiber. For the production of fluorescent specimens, six cubes were made with regular particle size distribution photoluminescent aggregates. The cubes were made with dimensions of 5 cm per side, with three of them containing plastic optical fiber (interlaced in mesh form), while the other three were control samples without plastic optical fiber. All six cubes utilized a cement paste mixture with a w/c ratio of 0.42 and a 35.6% fluorescent aggregate percentage.

**Keywords:** Translucent Cement Paste, Plastic Optical Fiber, Illuminance in Translucent Cement Paste, Toughness Resistance, Fluorescent Cement Paste.

## Tabla de contenidos

1.	Introducción .....	11
1.1	Antecedentes .....	11
1.2	Justificación .....	12
1.3	Objetivos .....	12
	Objetivo Principal: .....	12
	Objetivos Específicos:.....	12
2.	Desarrollo del tema .....	14
2.1	Materiales.....	14
2.1.1	Cemento tipo HE .....	14
2.1.2	Fibra óptica platica ( $\phi = 1.5 \text{ mm}$ ).....	14
2.1.3	Luxómetro (Dr. meter modelo LX1330B) .....	14
2.2	Metodología .....	14
2.2.1	Porcentaje de paso de luz.....	14
2.2.2	Tenacidad.....	22
2.2.3	Especímenes luminiscentes .....	25
2.3	Resultados .....	30
2.3.1	Resultados del porcentaje de paso de luz .....	30
2.3.2	Resultados de la resistencia a la tenacidad .....	34
2.3.3	Resultados de los especímenes luminiscentes .....	36
2.4	Análisis de resultados .....	42
2.4.1	Análisis del porcentaje de paso de luz.....	42
2.4.2	Análisis de la resistencia a la tenacidad.....	46
2.4.3	Análisis de los especímenes luminiscentes .....	47
	CONCLUSIONES.....	51
	Referencias Bibliográficas.....	52

## Índice de Tablas

Tabla #1: Tabla de la intensidad lumínica durante un día soleado en Quito, Ecuador. .	18
Tabla #2: Tabla de la intensidad lumínica durante un día nublado en Quito, Ecuador..	18
Tabla #3: Tabla de la intensidad lumínica durante un día lluvioso en Quito, Ecuador..	19
Tabla #4: Granulometría del agregado fotoluminiscente para el desarrollo de cubos fluorescentes. ....	28
Tabla #5: Resultados de intensidad lumínica de la emisión de luz para cada prueba. ...	30
Tabla #6: Resultados de intensidad lumínica de cada espécimen de fibra óptica (i.e. 3%, 4% o 5%). ....	31
Tabla #7: Resultados del porcentaje de paso de luz de cada espécimen de fibra óptica (i.e. 3%, 4% o 5%).....	32
Tabla #8: La carga vs la deflexión de la vigueta con fibra óptica plástica de 5% de remplazo de su volumen, muestra a control de pasta de cemento y con fibra de polipropileno, según la ASTM C1609.....	36
Tabla #9: Intensidad lumínicas de muestras con agregado fluorescente, con fibra óptica plástica y sin fibra óptica plástica.....	37
Tabla #10: Degradación de la intensidad lumínica de los especímenes fluorescentes...	39
Tabla #11: Porcentaje de degradación de la intensidad lumínica de los especímenes fluorescentes. ....	48

## Índice de Figuras

Figura 1: Dimensiones del encofrado cilíndrico para cada porcentaje de fibra óptica plástica.....	15
Figura 2: Dimensiones de los extremos del cilindro, para el paso de la fibra óptica plástica.....	16
Figura 3: Imagen de los cilindros de 3%, 4% y 5% de fibra óptica plástica (sin fundir). 17	17
Figura 4: Intensidad lumínica durante las horas del día soleado, nublado y lluvioso en Quito, Ecuador.....	21
Figura 5: Apoyo de discos expuesto a la luz de la linterna. ....	22
Figura 6: Encofrado de vigueta de 5% de fibra óptica plástica, diseñado en madera. ...	23
Figura 7: Encofrado de vigueta de muestra control y de fibras de polipropileno, diseñado en madera. ....	23
Figura 8: Viguetas fundidas a) Vigueta muestra control b) Vigueta con 5% de fibra óptica plástica c) Vigueta de fibras de polipropileno .....	24
Figura 9: Colocación de la vigueta en la máquina del ensayo a flexión. ....	25
Figura 10: Encofrado para los especímenes de 5% de fibra óptica plástica fluorescente. 26	26
Figura 11: Encofrado para los especímenes fluorescentes de control, sin fibra óptica plástica.....	26
Figura 12: Producto de piedras de pigmento fotoluminiscente. ....	28
Figura 13: Granulometría del agregado fluorescente triturado. ....	30
Figura 14: Proceso de tamizado del agregado fluorescente. ....	30

Figura 15: Intensidad lumínica de la luz solar, de la linterna y de las pruebas con los especímenes de 3%, 4% y 5% de fibra óptica plástica.....	33
Figura 16: Gráfica de la carga vs la deflexión de la vigueta con fibra óptica plástica de 5% de remplazo de su volumen, muestra a control de pasta de cemento y con fibra de polipropileno.....	35
Figura 17: Cubo con agregado fluorescente iluminado.....	37
Figura 18: Intensidad lumínica de muestras con agregado fluorescente, con fibra óptica plástica al 5% y sin fibra óptica plástica.....	39
Figura 19: Gráfica de la degradación de la intensidad lumínica de los especímenes fluorescentes .....	42
Figura 20: Porcentaje de paso de luz de los especímenes de fibra óptica plástica (i.e. 3%, 4% y 5%). .....	43
Figura 21: Porcentaje de disminución según el porcentaje de fibra óptica plástica. ....	45
Figura 22: Imagen de la muestra cilíndrica expuesta a luz (paso de luz por las fibras ópticas).....	46
Figura 23: Gráfica del porcentaje de degradación de la intensidad lumínica de los especímenes fluorescentes .....	50

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes

En el previo estudio (Almeida, 2023) se desarrollaron mezclas de hormigón translucido en donde se evaluó la resistencia a la compresión y modulo dinámico; El actual escrito busca expandir la investigación previa. Esta investigación analiza la luminosidad de la pasta de cemento translucida desarrollada con diferentes porcentajes de fibra óptica plástica en función a su volumen (i.e. 3%, 4% y 5%) y la tenacidad. Adicionalmente se explora el desarrollo de pastas de cemento fluorescentes, donde se tomará en cuenta el uso de la fibra óptica plástica y de agregado fluorescente (Garden Depot).

El porcentaje de paso de luz por el hormigón translucido depende de varios factores, entre ellos está el porcentaje de material translucido, la distribución homogénea que tenga el espécimen del material translucido y la intensidad lumínica que recibe el luxómetro (dependiendo de su forma y tamaño). Tal y como lo menciona Villanueva (Villanueva, 2020) en su investigación a mayor porcentaje de material translucido tenga una muestra mayor sera su intensidad lumínica. Cabe mencionar, que hay que considerar otros factores de error como las pérdidas de luz que el sensor no pueda leer durante la experimentación.

Actualmente se busca una menor emisión de CO<sub>2</sub>. Por ello, la implementación de nuevas tecnologías de iluminación es sustancial para el desarrollo sostenible de obras civiles a largo plazo. Obteniendo nuevos elementos como morteros que son auto recargables ante la luz solar y lo cuales generan iluminación durante la ausencia de luz natural, con la confianza de que esta no utiliza energía eléctrica (Ingaroca Gómez & Guillermo Paucar, 2020).

## 1.2 Justificación

En la actualidad se busca reducir la huella de carbono tanto en el proceso de construcción como en la vida útil de la obra civil. Es por ello que existen alternativas que ayudan a disminuir el consumo energético, evitando el uso de electricidad o fuentes de energía similares, por ejemplo, el uso del hormigón translucido. Pensando en la huella de carbono y eliminando gran parte del uso energético de iluminación en estructuras se están considerando elementos no estructurales, como de elemento fluorescentes en carreteras, un estilo de pintura de mortero que ayude a iluminar áreas específicas especializadas para el uso nocturno. Tomando en cuenta los ámbitos de seguridad, industriales, señalización, entre otros.

El presente trabajo de titulación analiza las propiedades físicas de la pasta de cemento con respecto a la iluminancia (cantidad de luz que pasa medida en luxes) y la tenacidad utilizando diferentes porcentajes de fibra óptica en función a su volumen de pasta de cemento i.e. 3%, 4% y 5%. Adicionalmente, se desarrollará una mezcla de pasta de cemento fluorescente la cual pueda absorber luz a través de fibra óptica plástica.

## 1.3 Objetivos

### *Objetivo Principal:*

Análisis de la iluminancia y tenacidad de pasta de cemento translucida y desarrollo de pasta de cemento fluorescente.

### *Objetivos Específicos:*

Evaluar la iluminancia de la pasta de cemento translucido fabricada con diferentes porcentajes de fibra óptica (i.e. 3%, 4% y 5% por volumen).

Evaluar la tenacidad en viguetas fabricadas con el porcentaje de fibra óptica con mayor paso de luz (i.e. 5% por volumen).

Utilizar agregados fluorescentes y fibra óptica para la producción de pasta de cemento translucido luminosa con un mínimo de 60% de agregados por peso de mezcla.

## 2. Desarrollo del tema

### 2.1 Materiales

#### 2.1.1 *Cemento tipo HE*

El cemento tipo HE permite una alta resistencia temprana, de tal manera que posee un aditivo químico dentro del cemento que permite la aceleración de la resistencia y es un reductor de agua.

#### 2.1.2 *Fibra óptica plástica ( $\phi = 1.5 \text{ mm}$ )*

La fibra óptica plástica es un elemento que permite el paso de luz de un extremo a otro con la ventaja de la flexibilidad y resistencia del plástico. Teniendo una longitud de 200 metros por rollo. La fibra óptica plástica es un polímero de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

#### 2.1.3 *Luxómetro (Dr. meter modelo LX1330B)*

Dispositivo que permite medir la intensidad de luz con un sensor, con un radio de medición de 2.0 [1/s] y un rango de medición luminosa de 200, 2,000, 20,000 y 200,000 [lux].

### 2.2 Metodología

#### 2.2.1 *Porcentaje de paso de luz*

Para la medición del porcentaje de paso de luz, se desarrollaron especímenes de pasta de cemento con relación agua-cemento ( $a/c=0.42$ ) y fibra óptica plástica (en diferentes porcentajes i.e. 3%, 4% y 5% por volumen). Para la creación de los especímenes se desarrollaron 3 encofrados cilíndricos con cada porcentaje de fibra óptica plástica establecida, mediante una impresora 3D (Ender). Estos encofrados son diseñados para un diámetro externo de 82 mm (espesor de 3 mm) de diámetro y con una altura de 219 mm (Figura 1 y Figura 2).

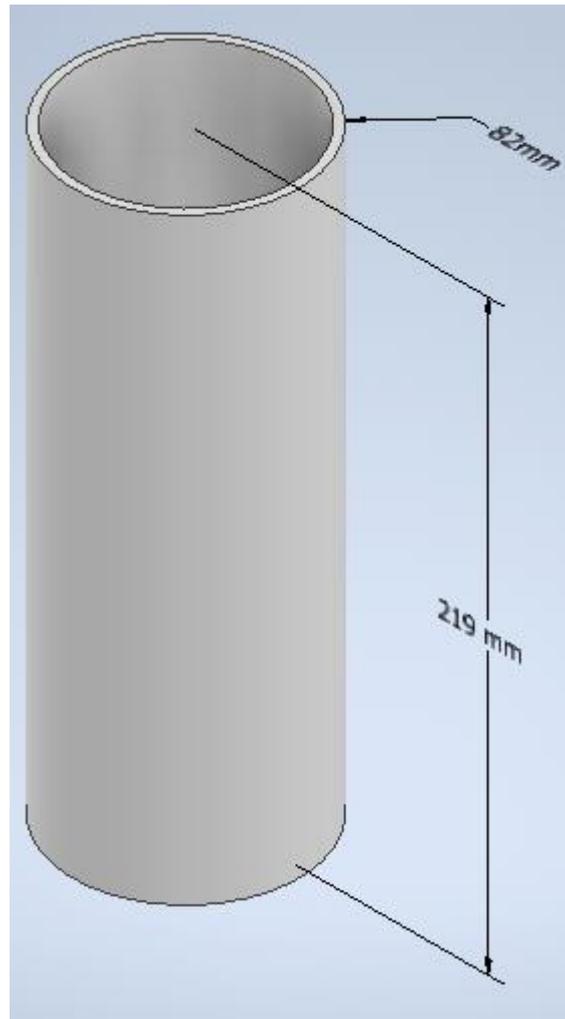


Figura 1: Dimensiones del encofrado cilíndrico para cada porcentaje de fibra óptica plástica.

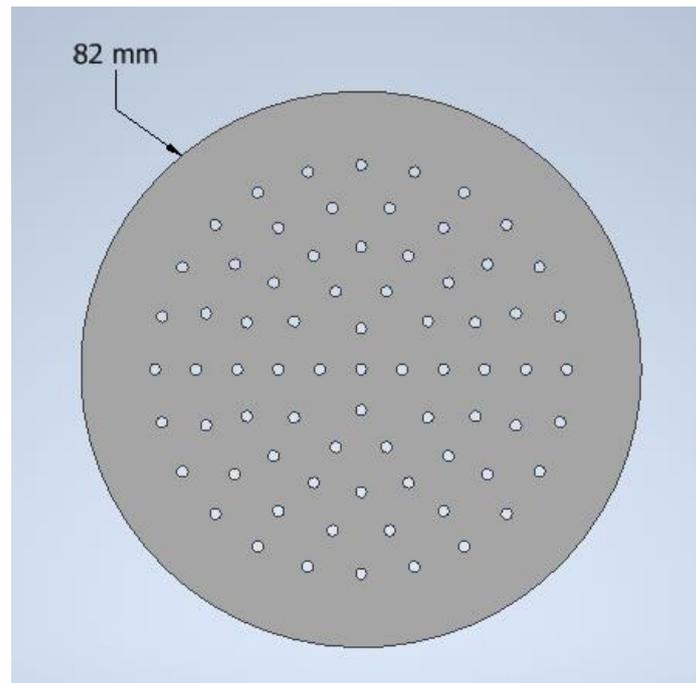


Figura 2: Dimensiones de los extremos del cilindro, para el paso de la fibra óptica plástica.

Los diseños para la impresión de los encofrados se hicieron a partir del programa Inventor considerando un espesor de pared de molde 3 mm. Con ello se tomó en consideración que el diseño no haga que las fibras se topen las paredes del espécimen, ni tampoco hagan contacto entre ellas, ya que esto causa una pobre distribución de fibra que genera mayores espacios vacíos pudiendo disminuir la resistencia y afectando el paso de luz en especímenes en el momento de los ensayos de luz, haciendo que ciertas zonas del espécimen tengan un mejor paso de luz que otras. La mezcla es realizada acorde a la norma ASTM C305. De la mezcla realizada se obtuvieron 4 cilindros, de cada porcentaje de fibra óptica (3%, 4% y 5%), con un espesor de 2 cm (0.75 pulgadas) cada uno, para el desarrollo de cada prueba.



Figura 3: Imagen de los cilindros de 3%, 4% y 5% de fibra óptica plástica (sin fundir).

Al simular una situación real de iluminación para obras civiles, se debe considerar la variación lumínica de un día normal. En este estudio se ha escogido a la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) localizada en el sector de Cumbayá en Quito-Ecuador para realizar estas mediciones. Las mismas se realizaron en el patio central (despejado de cualquier objeto que cause una sombra en cualquier momento del día). Estas mediciones son representativas para el Distrito Metropolitano de Quito para la fecha del año y momento del día establecido. Se midió la iluminancia [lux] mediante un luxómetro (Dr. meter modelo LX1330B) en un rango de tiempo entre 7:00 am y 6:00 pm haciendo mediciones cada hora. Se realizaron mediciones en un día soleado, nublado y lluvioso. Para simular la luz del sol se ha utilizado una linterna de altos luxes capaz de emular la intensidad lumínica ( $1.7 \cdot 10^4$  [lux]) emitida por el sol durante sus horas pico.

La recopilación de datos del día soleado llega a tener un rango pico de intensidad de  $1.6 \cdot 10^4$  a  $1.7 \cdot 10^4$  [lux]. Tal y como se señala en la recopilación de datos de la

**Tabla #1: Tabla de la intensidad lumínica durante un día soleado en Quito, Ecuador.**

Día Soleado	Intensidad Lumínica [lux 10 <sup>4</sup> ]					
	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Intento 4	Promedio Día Soleado	Desviación estándar
7:00	1.2	1.0	1.0	1.2	1.1	0.12
8:00	2.4	2.3	2.6	2.4	2.4	0.14
9:00	4.8	5.1	5.2	4.9	5.0	0.17
10:00	13.5	13.6	13.2	13.8	13.5	0.23
11:00	15.4	15.1	15.8	15.4	15.4	0.26
12:00	16.9	16.9	16.8	17.1	16.9	0.14
13:00	14.9	15.0	14.9	14.9	14.9	0.07
14:00	12.0	12.1	11.8	11.6	11.8	0.19
15:00	6.9	6.7	7.0	7.1	6.9	0.18
16:00	4.9	4.9	5.1	5.2	5.0	0.17
17:00	2.8	2.5	2.5	2.7	2.6	0.14
18:00	2.0	2.1	2.0	2.0	2.0	0.07

**Tabla #2: Tabla de la intensidad lumínica durante un día nublado en Quito, Ecuador**

Día Nublado	Intensidad Lumínica [lux 10 <sup>4</sup> ]					
	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Intento 4	Promedio Día Nublado	Desviación estándar

7:00	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.05
8:00	1.9	1.8	1.9	2.2	2.0	0.14
9:00	3.1	3.0	2.9	3.0	3.0	0.08
10:00	6.5	6.0	6.0	6.2	6.2	0.23
11:00	10.6	10.9	10.9	10.6	10.7	0.16
12:00	13.2	13.5	13.1	13.0	13.2	0.22
13:00	10.3	10.4	10.7	10.2	10.4	0.21
14:00	7.5	7.4	7.3	7.7	7.5	0.17
15:00	6.9	6.9	6.9	6.8	6.9	0.05
16:00	6.1	6.1	6.1	5.9	6.1	0.09
17:00	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9	0.12
18:00	2.9	3.1	2.7	2.8	2.9	0.15

**Tabla #3: Tabla de la intensidad lumínica durante un día lluvioso en Quito, Ecuador**

Día Lluvioso	Intensidad Lumínica [lux 10 <sup>4</sup> ]					
	Intento	Intento	Intento	Intento	Promedio	Desviación estándar
	1	2	3	4	Día Lluvioso	
7:00	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.03
8:00	1.0	1.0	0.9	1.1	1.0	0.09
9:00	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	0.04
10:00	2.0	2.0	1.9	1.9	2.0	0.07
11:00	2.5	2.6	2.9	2.5	2.6	0.18
12:00	4.6	4.6	4.8	4.7	4.7	0.12

13:00	4.0	3.9	4.0	3.8	3.9	0.07
14:00	4.0	4.1	4.0	3.7	3.9	0.16
15:00	3.7	3.5	3.5	3.8	3.6	0.15
16:00	3.0	2.9	3.3	3.1	3.1	0.16
17:00	1.8	1.8	1.8	2.0	1.8	0.12
18:00	1.7	1.5	1.6	1.7	1.6	0.08

En la Figura 4 visualiza la disminución de la intensidad lumínica durante el día soleado, nublado y lluvioso.

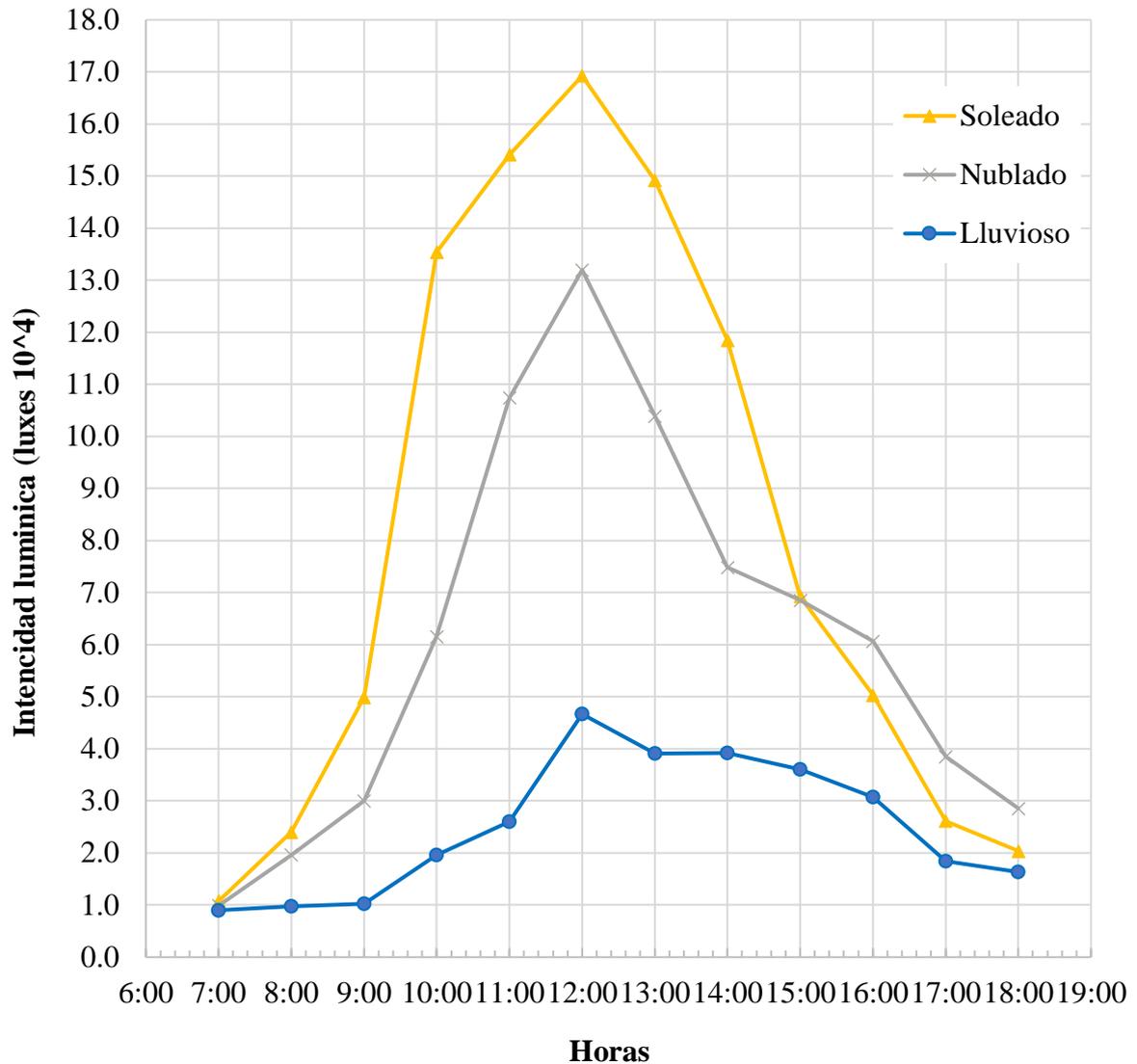


Figura 4: Intensidad lumínica durante las horas del día soleado, nublado y lluvioso en Quito, Ecuador

El luxómetro requiere recibir la luz únicamente de la linterna por lo que se diseñó e imprimió en 3D un soporte que impide que luz externa entre y se generen errores de medición. Este soporte está conformado por una sección rectangular con un orificio de 4 cm donde se coloca el sensor del luxómetro, y un cilindro de 7.6 cm (0.1 cm más grande que el diámetro original de los especímenes de 7.5 cm), donde se puede colocar y retirar cada espécimen de una manera sencilla.

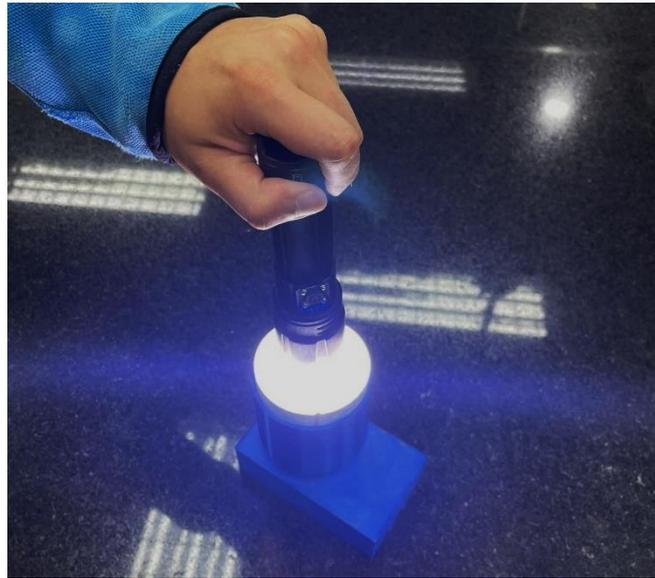


Figura 5: Apoyo de discos expuesto a la luz de la linterna.

### 2.2.2 Tenacidad

La resistencia de los elementos en una obra civil a la tenacidad es sumamente importante, principalmente por su comportamiento post-pico, es decir, después de su momento de ruptura, debido a que se considera la capacidad que tiene un elemento para absorber energía deformándose plásticamente. Esto ocurre principalmente cuando la estructura se ve sometida a cargas cíclicas, donde está expuesta a altas vibraciones, a cargas dinámica o de impacto (Pająk & Ponikiewski, 2013). De tal manera se hace un análisis del material y de la seguridad que este proporciona dentro de la estructura. La prueba a la tenacidad los especímenes de fibra óptica son esencial si se desea implementar en paredes externas o para la división de ambientes, debido a que permite identificar la energía por deformación que es capaz el espécimen de resistir, este corresponde al área bajo la curva de la medición de la resistencia. Por otro lado, también se puede determinar y evaluar la fuerza máxima (pico) a la que llega el espécimen de prueba. Esta prueba al igual que las consiguientes se hace para un espécimen de control (sin fibra óptica) de

pasta de cemento con  $a/c=0.42$ , otro con 5% de reemplazo de fibra de polipropileno y otro espécimen de 5% de fibra óptica con respecto a su volumen.



Figura 6: Encofrado de vigueta de 5% de fibra óptica plástica, diseñado en madera.



Figura 7: Encofrado de vigueta de muestra control y de fibras de polipropileno, diseñado en madera.

En la Figura 6 y en la Figura 7 se observan los encofrados diseñados en madera para los especímenes de tenacidad de 5% y de la muestra control y para la muestra con fibras de polipropileno, utilizando las dimensiones geométricas establecidas por la ASTM C1602 – 12. En la Figura 6 se aprecia el uso de cinta para mantener la tensión en las fibras ópticas plásticas colocadas de manera longitudinal y de tal manera evitar el pandeo de las fibras dentro del espécimen.

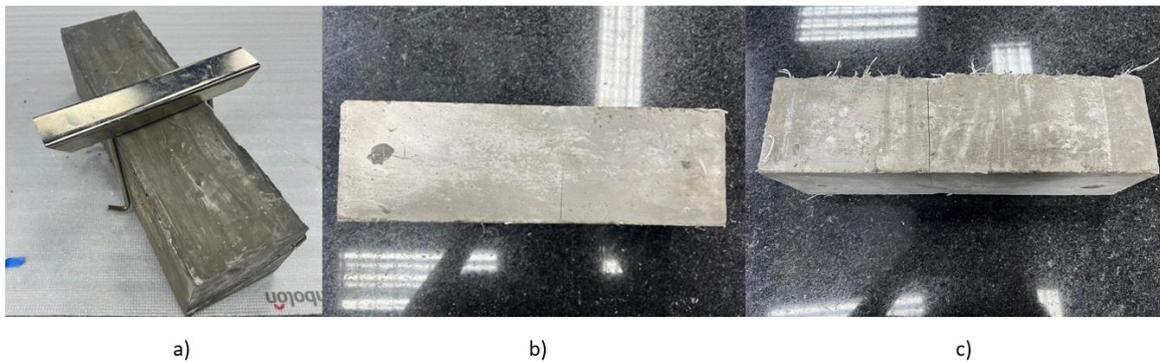


Figura 8: Viguetas fundidas a) Vigueta muestra control b) Vigueta con 5% de fibra óptica plástica c) Vigueta de fibras de polipropileno

En la prueba a flexión para medir el comportamiento hay que considerar la posición de los apoyos y de los rodillos de carga tal y como lo menciona la norma ASTM C1602–12. Los apoyos para las viguetas van a los laterales a 1 pulgada de cada extremo de la vigueta. Consecuentemente se coloca los rodillos de carga a  $1/3$  y  $2/3$  de la distancia de la vigueta. Utilizando en los extremos de los laterales dos deformímetros (calibrados de una igual manera), los cuales miden la deformación en el transcurso de las pruebas a flexión de las viguetas.



Figura 9: Colocación de la vigueta en la máquina del ensayo a flexión.

### 2.2.3 *Especímenes luminiscentes*

El diseño de pasta de cemento fluorescente va en función de la creación de elementos que sean utilizados y mejoren la seguridad en forma de divisiones, señalizaciones de tránsito o “pintura” de mortero. Por ello, se diseña un encofrado en AutoCAD, en madera (material resistente y reutilizable), donde se considera el porcentaje de fibra óptica de 5%. Este diseño de paso del cable de fibra óptica es en función de una malla bidireccional, donde se optimiza la recarga lumínica del espécimen en su mayor parte del mismo, mientras que al mismo tiempo la exposición de luz del espécimen sera en ambas direcciones.

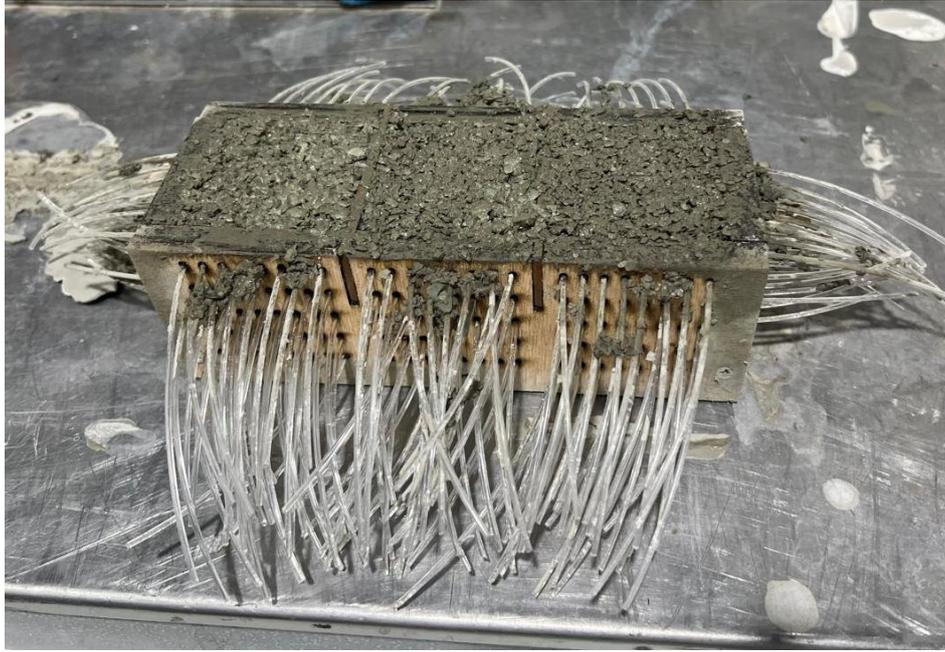


Figura 10: Encofrado para los especímenes de 5% de fibra óptica plástica fluorescente.



Figura 11: Encofrado para los especímenes fluorescentes de control, sin fibra óptica plástica.

El encofrado permitirá que se realicen cubos de hormigón de 5 cm por lado, que contengan el agregado triturado material fluorescentes, tal y como se realizó para la prueba a compresión. Estos serán expuestos a la luz solar durante las horas máximas de intensidad lumínica en un día soleado, para de tal manera recargar los especímenes y que estos puedan liberar luz en la oscuridad. También, se utilizará una luz UV para cargar el

especímen de manera artificial. Consecuentemente, se medirá a partir del luxómetro la intensidad lumínica que irradian los especímenes después de las horas cargadas.

El material utilizado para la fluorescencia es *Glow In The Dark Garden Pebbles* desarrollado por la empresa Garden Depot (Garden Depot, 2023). Siendo hecho a partir de un pigmento fotoluminiscente en un plástico en forma de piedras para el uso de jardinería. El compuesto que permite la fluorescencia del material es la fluoresceína sódica, el cual es un "compuesto modelo para la evaluación de la actividad fotocatalítica del óxido de titanio" (Gutiérrez Díaz, 2003). Las propiedades físicas de este materia surgen debido al principio de la conservación de energía donde los compuestos de fotoluminiscencia "absorben energía y posteriormente la emiten en forma de luz, bien inmediatamente o bien durante un período largo de tiempo" (Pérez Expósito, 2013). Este tipo de pigmento absorbe la energía de los rayos UV principalmente, haciendo que los electrones del compuesto salten un grado energético, debido a su cantidad de energía, causando que al regresar a su estado original este electrón libere un fotón de luz, con menor energía debido a la pérdida de energía térmica (Gutiérrez Díaz, 2003).

Estos pigmentos fotoluminiscentes suelen dividirse entre los de corta y larga fosforescencia (capacidad de emisión luminosa durante un corto o largo periodo de tiempo), usados los de larga fosforescencia en áreas de peligro, señalización de tráfico, señalizaciones de salida de emergencia, entre otros usos. (Pérez Expósito, 2013).

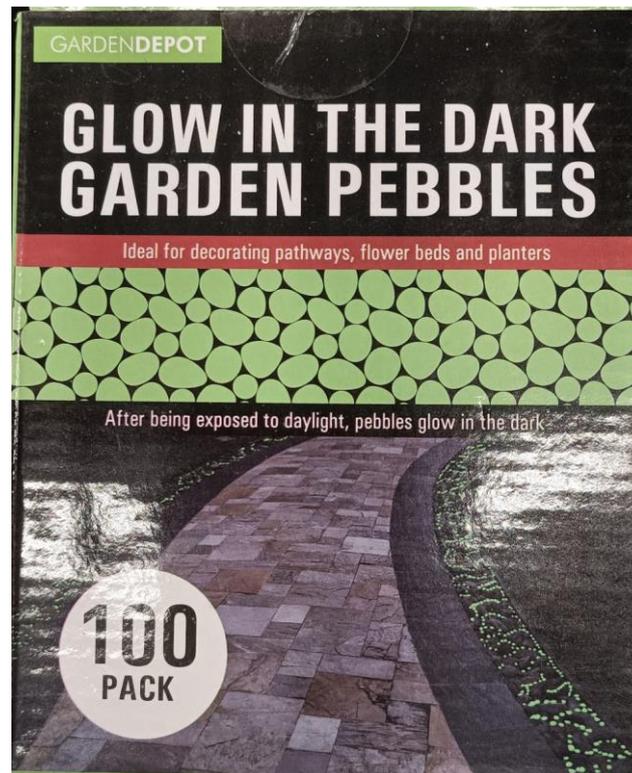


Figura 12: Producto de piedras de pigmento fotoluminiscente.

El agregado fue triturado con el fin de tener una granulometría suficientemente pequeña para realizar los cubos fluorescentes, ya que esto tienen que pasar por una división de 3.3 mm (distancia entre cada fibra óptica plástica). Esta granulometría se hizo a partir de los tamices que se señalan en la Tabla 4.

**Tabla #4: Granulometría del agregado fotoluminiscente para el desarrollo de cubos fluorescentes.**

Abertura de malla		Peso Retenido [g]	Porcentaje del Parcial Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
Tamiz (N°)	Tamiz [mm]				
8	2.360	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
12	1.700	636.5	63.8%	63.8%	36.2%

<b>16</b>	<b>1.180</b>	166.5	16.7%	80.5%	19.5%
<b>30</b>	<b>0.600</b>	134.5	13.5%	94.0%	6.0%
<b>50</b>	<b>0.300</b>	40.5	4.1%	98.0%	2.0%
<b>100</b>	<b>0.150</b>	16.0	1.6%	99.6%	0.4%
<b>140</b>	<b>0.106</b>	3.0	0.3%	99.9%	0.1%
<b>200</b>	<b>0.075</b>	0.5	0.1%	100.0%	0.0%
<b>Total</b>		997.5	100%		

Considerando los valores de la Tabla #4 se establece una curva de granulometría para determinar la regularidad de los diámetros de agregados utilizados. En este caso siendo una granulometría muy regular donde el mayor porcentaje del agregado se retiene en el tamiz 12, es decir de un diámetro de 1.7 mm.

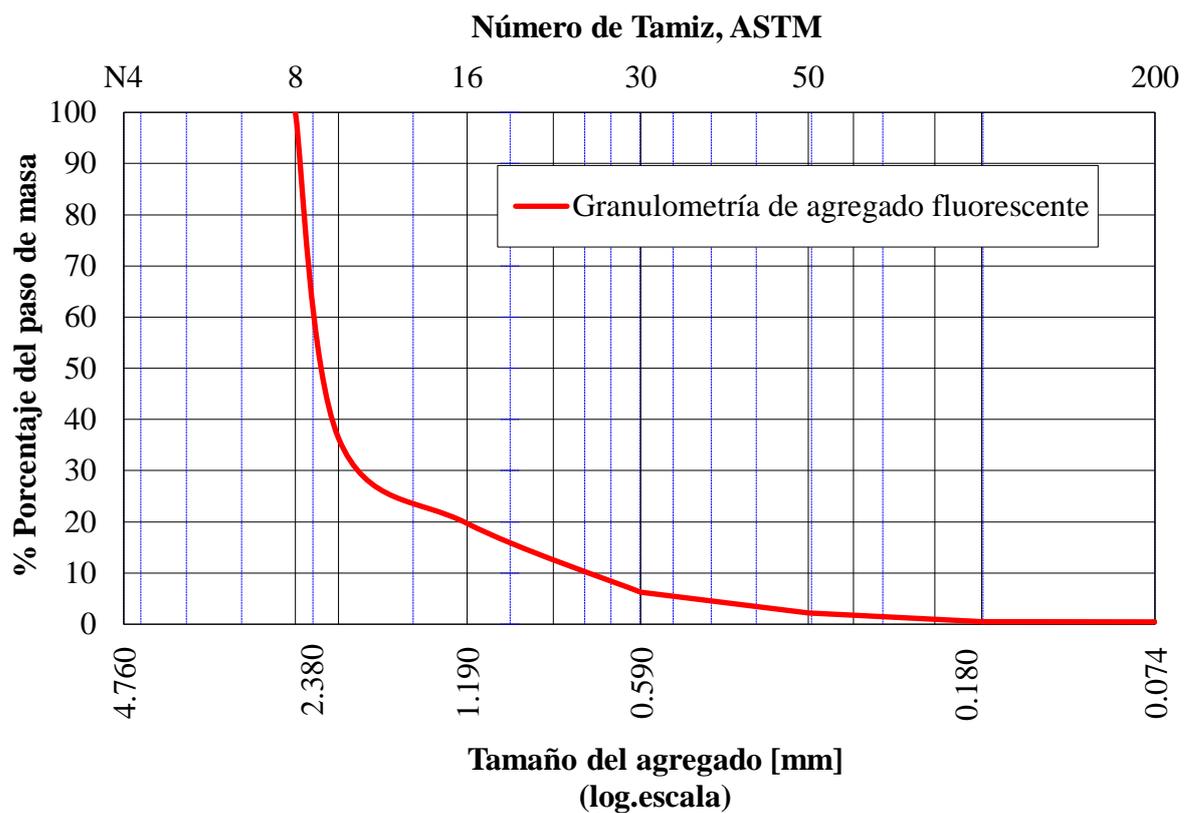


Figura 13: Granulometría del agregado fluorescente triturado.



Figura 14: Proceso de tamizado del agregado fluorescente.

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Resultados del porcentaje de paso de luz

La intensidad lumínica de la linterna con la cual se realiza cada una de la prueba tiene que ser similar a la intensidad máxima de luz en el día soleado (Tabla #1). Por ello se realiza 4 pruebas para cada cilindro tal y como se muestra en la Tabla #5.

**Tabla #5: Resultados de intensidad lumínica de la emisión de luz para cada prueba.**

<b>Paso De Luz</b>			
<b>Intensidad de la emisión de luz [lux*100]</b>			
<b>Porcentaje de Fibra Óptica</b>	<b>5%</b>	<b>4%</b>	<b>3%</b>
1	1650	1614	1625

2	1620	1640	1652
3	1612	1632	1628
4	1605	1625	1627
<b>Promedio</b>	1621.8	1627.8	1633.0
<b>Desviación Estándar</b>	19.8	11.0	12.7

La intensidad lumínica denota resultados similares de parte de la linterna con una desviación estándar máxima de 1980 [lux] y mínima de 1100 [lux].

Con cada intensidad lumínica emitida por la linterna se mide la intensidad lumínica que recibe el sensor tras la colocación del espécimen a medir, sea este de 3%, 4% o 5% de fibra óptica plástica, tal los resultados se muestran en la Tabla #6.

**Tabla #6: Resultados de intensidad lumínica de cada espécimen de fibra óptica (i.e. 3%, 4% o 5%).**

<b>Paso De Luz</b>			
<b>Intensidad de Luz [lux*100]</b>			
<b>Porcentaje de Fibra Óptica</b>	<b>5%</b>	<b>4%</b>	<b>3%</b>
1	53	23	12
2	47	29	11
3	42	27	13
4	45	19	9
<b>Promedio</b>	46.8	24.5	11.3

<b>Desviación</b>			
<b>Estándar</b>	4.7	4.4	1.7

La intensidad lumínica es inversamente proporcional a la cantidad de fibra. Mientras más fibra hay por volumen mayor será la intensidad lumínica medida. Dando resultados de 4680 [lux], 2450 [lux] y 1130 [lux] en los especímenes de 5%, 4% y 3% de fibra óptica plásticas, respectivamente.

Con los resultados obtenidos en de la emisión de luz por la linterna y el paso de luz en cada espécimen se obtiene el porcentaje de paso de luz de cada prueba en función a su porcentaje de fibra óptica, tal y como se observa en la Tabla #7.

**Tabla #7: Resultados del porcentaje de paso de luz de cada espécimen de fibra óptica (i.e. 3%, 4% o 5%).**

<b>Porcentaje de paso de luz</b>			
<b>Porcentaje de Fibra Óptica</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>
1	0.73%	1.43%	3.26%
2	0.68%	1.77%	2.85%
3	0.81%	1.65%	2.58%
4	0.56%	1.17%	2.77%
<b>Promedio</b>	0.69%	1.50%	2.86%
<b>Desviación Estándar</b>	0.10%	0.27%	0.29%

Se observa como el aumento de fibra óptica aumenta considerablemente el porcentaje de paso de luz correspondientemente en cada uno de los porcentajes de fibra óptica plástica. A mayor porcentaje de fibra óptica existe un mayor porcentaje de paso de luz.

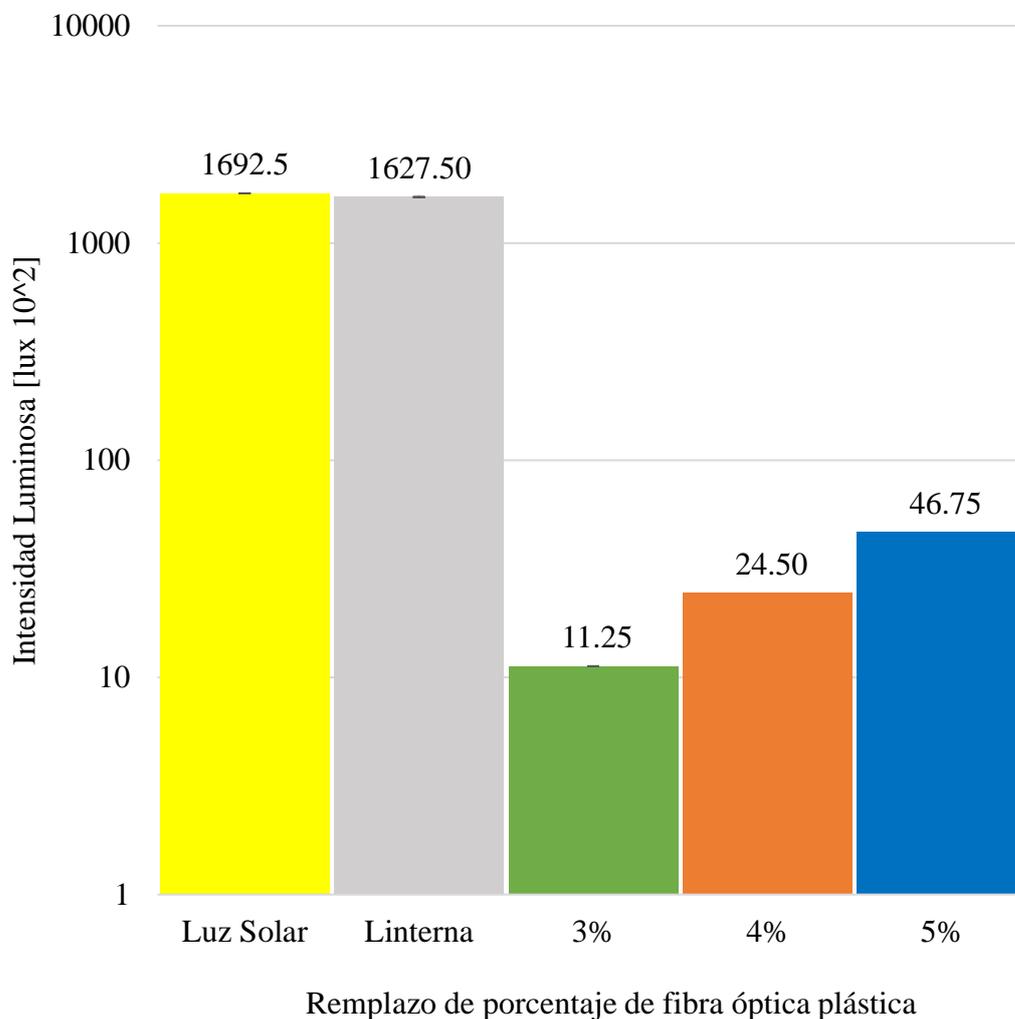


Figura 15: Intensidad lumínica de la luz solar, de la linterna y de las pruebas con los especímenes de 3%, 4% y 5% de fibra óptica plástica.

En la Figura 15 se aprecia un gráfico de barras donde sea realiza una comparación de la intensidad lumínica registrada por el luxómetro de la luz solar, de la linterna y de las pruebas con los especímenes de 3%, 4% y 5% de fibra óptica plástica.

Inicialmente se observa el valor de la intensidad lumínica máxima promedio de la luz solar en Quito, Ecuador en un día soleado (Figura 4). Se observa la respuesta lumínica que tienen los especímenes de diferentes porcentajes de fibra óptica plástica desde el 3%, 4% y 5%. Los especímenes del 5% de fibra óptica son los que tienen un mayor paso de luz, dando un valor de 4675 [lux], lo cual es 4.16 veces más grande que el valor de 1125 [lux] del espécimen 3% de fibra óptica y 1.9 veces más grande que el valor de 2450 [lux] del espécimen de 4% de fibra óptica.

### *2.3.2 Resultados de la resistencia a la tenacidad*

Las viguetas de fibra óptica plástica (i.e. 5% con respecto al volumen), de fibra de polipropileno y la muestra control fueron sometidas a una prueba a flexión donde se utilizó los rangos de medición establecidos por la norma (ASTM C1602) para viguetas de 14 pulgadas de largo y 4 pulgadas de altura y ancho. Con una velocidad de presión constante de 0.035 mm/min hasta llegar a una deformación de 3.5 mm.

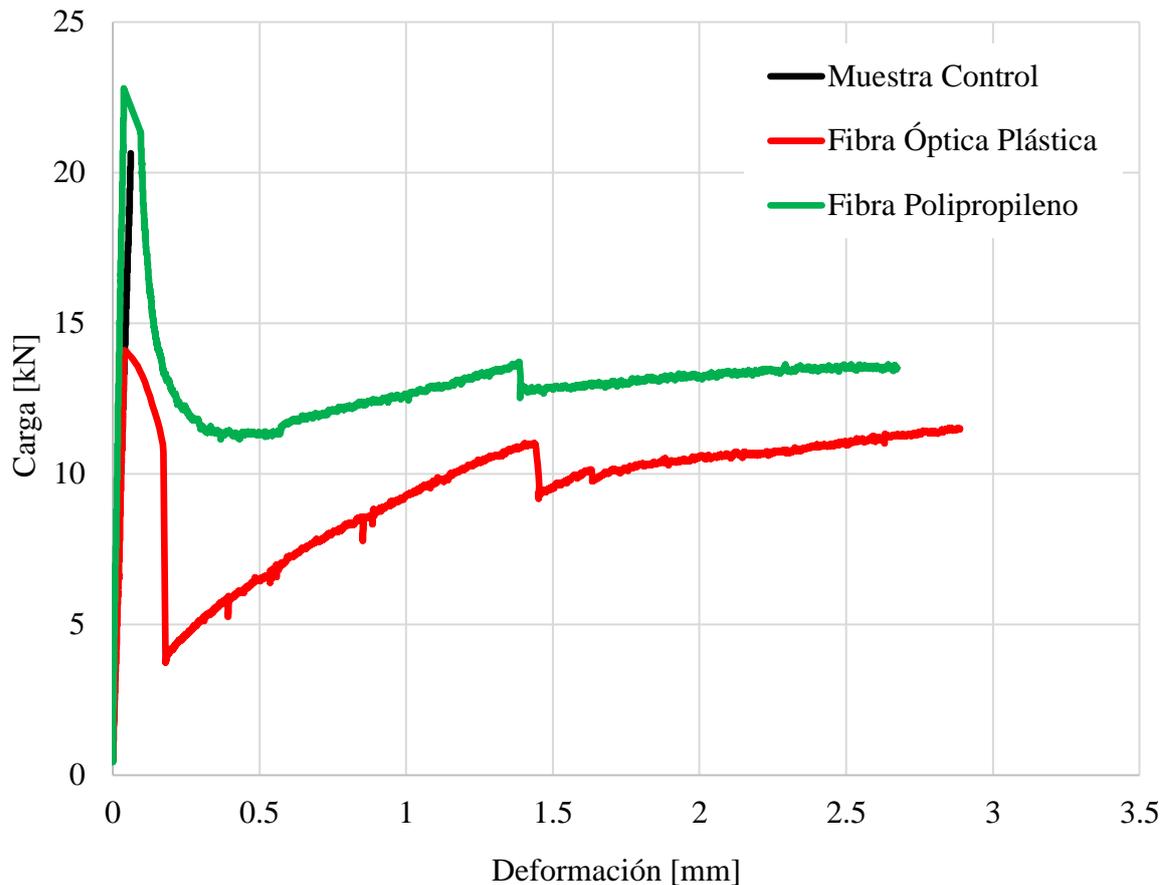


Figura 16: Gráfica de la carga vs la deflexión de la viga con fibra óptica plástica de 5% de remplazo de su volumen, muestra a control de pasta de cemento y con fibra de polipropileno.

En la Figura 16 se observa la prueba a flexión de la viga de fibra óptica plástica al 5% del remplazo de su volumen, la cual llegó a un valor máximo pico inicial de 14.11 kN. Posteriormente se observa una caída de la fuerza en la gráfica debido al rompimiento de la pasta de cemento. Consecuentemente, las fibras ópticas cruzadas longitudinalmente empezaron a cargar y a resistir a flexión.

La prueba a flexión de la viga de control (solo utilizando pasta de cemento), la cual llegó a un valor máximo pico inicial de 20.64 kN. Posteriormente, se fracturó la

pasta de cemento y cediendo a la fuerza aplicada por la máquina de flexión, sin generar más resistencia que tan solo ese valor máximo.

Finalmente, está la vigueta de fibras de polipropileno, esta falla se produce de una similar manera al comienzo de la deformación de la vigueta, pero al romperse el recubrimiento las fibras empiezan a trabajar y a resistir la fractura total del espécimen. Esta vigueta llegó a un valor pico inicial de 22.80 kN.

*Tabla #8: La carga vs la deflexión de la vigueta con fibra óptica plástica de 5% de remplazo de su volumen, muestra a control de pasta de cemento y con fibra de polipropileno, según la ASTM C1609.*

<b>Especímenes</b>	<b>L</b> [mm]	<b>L/600</b> [mm]	<b>L/150</b> [mm]	<b>Pp</b> [N]	<b>δp</b> [mm]	<b>fp</b> [MPa]	<b>P 600</b> [N]	<b>f 600</b> [MPa]	<b>P 150</b> [N]	<b>f 150</b> [MPa]	<b>T 150</b> [J]
<b>Control</b>	355.6	0.59	2.37	20639	0.062	7.00	0	0.00	0	0.00	0.68
<b>Fibra Óptica Plástica</b>	355.6	0.59	2.37	14113	0.040	4.79	7100	2.41	10851	3.68	27.68
<b>Fibra Polipropileno</b>	355.6	0.59	2.37	22804	0.038	7.73	11672	3.96	13556	4.60	34.94

Se denota un aumento de la energía liberada en los especímenes, siendo el de menor valor el de la muestra control con 0.68 J, la fibra óptica plástica con 27.68 J y el mayor valor de 34.94 J en la de fibra de Polipropileno.

### 2.3.3 Resultados de los especímenes luminiscentes

Los especímenes fluorescentes son 6 cubos de 5 cm por lado, los cuales se dividen en 3 con fibra óptica plástica y 3 sin fibra óptica plástica. Utilizando una linterna con

rayos UV (UV Black Lens), logra recargar e iluminar el agregado utilizado en los cubos.

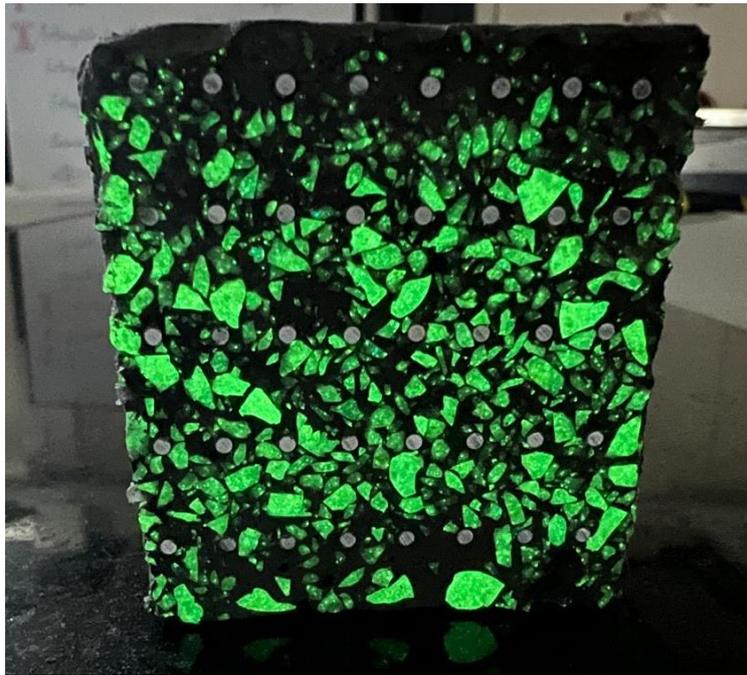


Figura 17: Cubo con agregado fluorescente iluminado.

Con el uso del luxómetro se midió las intensidades máximas a las que llegan los especímenes con fibra óptica y sin fibra óptica tras cargarlos con la linterna UV durante el lapso de 1 minuto. Se registro 7 marcas de luz por cada cubo para tener una mayor exactitud entre los datos.

*Tabla #9: Intensidad lumínicas de muestras con agregado fluorescente, con fibra óptica plástica y sin fibra óptica plástica.*

Cubos fluorescentes		Intensidad lumínica [lux]	
Cubos	Intentos	Con fibra óptica plástica al 5%	Sin fibra óptica plástica
1	1	1.6	1.2
	2	1.6	1.2

	<b>3</b>	1.5	0.9
	<b>4</b>	1.5	0.9
	<b>5</b>	1.4	1
	<b>6</b>	1.4	1.1
	<b>7</b>	1.5	1.2
<b>2</b>	<b>1</b>	1.4	1.2
	<b>2</b>	1.4	1.2
	<b>3</b>	1.4	1.2
	<b>4</b>	1.4	1.1
	<b>5</b>	1.3	1
	<b>6</b>	1.3	1
	<b>7</b>	1.3	1.1
<b>3</b>	<b>1</b>	1.6	0.9
	<b>2</b>	1.6	0.8
	<b>3</b>	1.5	0.9
	<b>4</b>	1.6	1
	<b>5</b>	1.4	0.9
	<b>6</b>	1.4	1.1
	<b>7</b>	1.4	1
<b>Promedio</b>		1.45	1.04
<b>Desviación estándar</b>		0.10	0.13

Obteniendo como resultados promedio en los especímenes con fibra óptica plástica al 5% de 1.45 [lux] y sin fibra óptica 1.04 [lux], con una desviación estándar de 0.10 [lux] y 0.13 [lux], respectivamente.

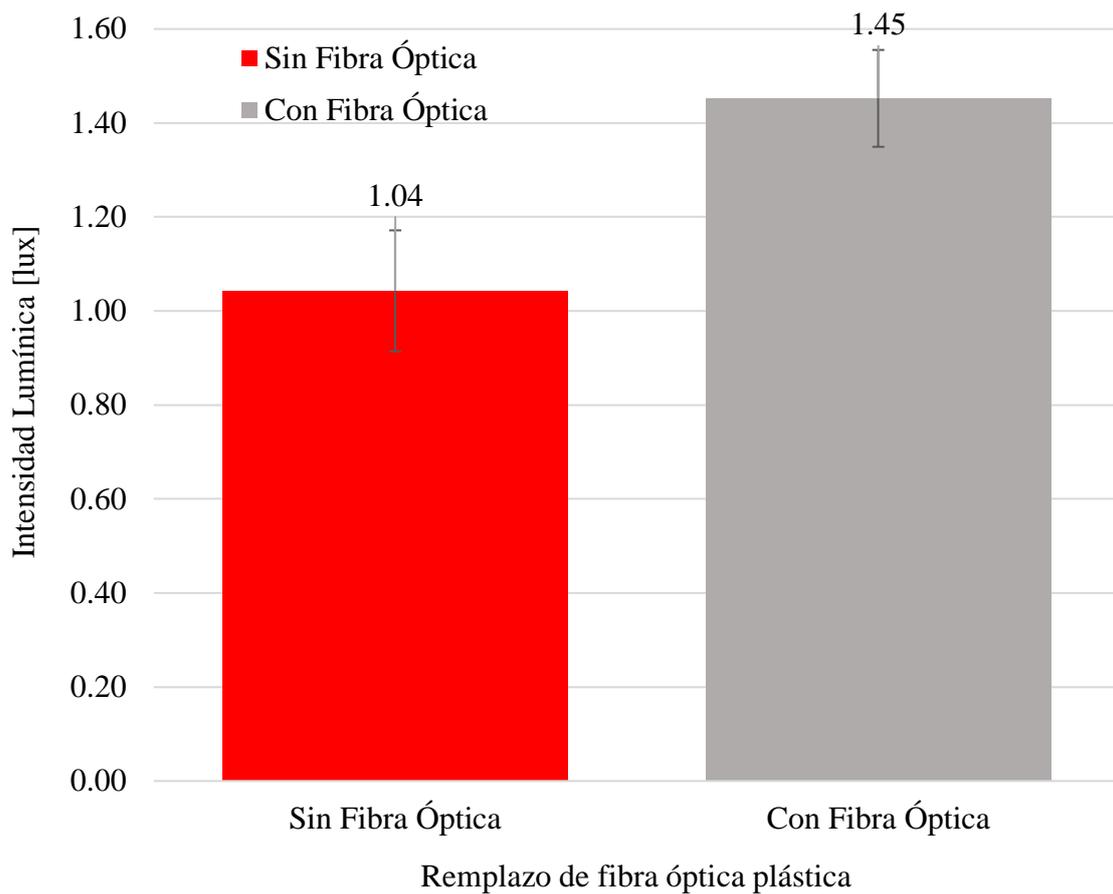


Figura 18: Intensidad lumínica de muestras con agregado fluorescente, con fibra óptica plástica al 5% y sin fibra óptica plástica.

En la Figura 18 se observa una gráfica de barras donde se compara los especímenes fluorescentes. Donde la intensidad máxima de los cubos con fibra plástica al 5% poseen una mayor intensidad lumínica que los cubos sin fibra óptica plástica.

También existe la degradación de la fluorescencia de los cubos, es decir con el pasar del tiempo la intensidad lumínica de los especímenes es menor. Dando a entender que la energía que captan los agregados va disminuyendo.

***Tabla #10: Degradación de la intensidad lumínica de los especímenes fluorescentes.***

<b>Cubos fluorescentes</b>	<b>Intensidad lumínica [lux]</b>		<b>Tiempo [s]</b>
	<b>Con fibra óptica plástica al 5%</b>	<b>Sin fibra óptica plástica</b>	<b>Intervalos</b>
<b>1</b>	1.5	1.1	0
<b>2</b>	1.3	1	2
<b>3</b>	1.2	0.8	4
<b>4</b>	1.0	0.7	6
<b>5</b>	0.8	0.4	8
<b>6</b>	0.7	0.4	10
<b>7</b>	0.5	0.4	12
<b>8</b>	0.4	0.4	14
<b>9</b>	0.4	0.4	16
<b>10</b>	0.4	0.4	18
<b>11</b>	0.4	0.3	20
<b>12</b>	0.4	0.3	22
<b>13</b>	0.4	0.3	24
<b>14</b>	0.3	0.3	26
<b>15</b>	0.3	0.3	28
<b>16</b>	0.3	0.3	30
<b>17</b>	0.3	0.3	32
<b>18</b>	0.3	0.2	34
<b>19</b>	0.2	0.2	36
<b>20</b>	0.2	0.2	38

<b>21</b>	0.2	0.2	40
<b>22</b>	0.1	0.2	42
<b>23</b>	0.1	0.2	44
<b>24</b>	0.1	0.2	46
<b>25</b>	0.1	0.1	48
<b>26</b>	0.1	0.1	50
<b>27</b>	0.1	0.1	52
<b>28</b>	0.1	0	54
<b>29</b>	0.1		56
<b>30</b>	0.1		58
<b>31</b>	0		60

Denotando una degradación de la intensidad de luz diferente entre los especímenes, dependiendo si poseen fibra óptica o no, con diferentes picos de intensidad y duración.

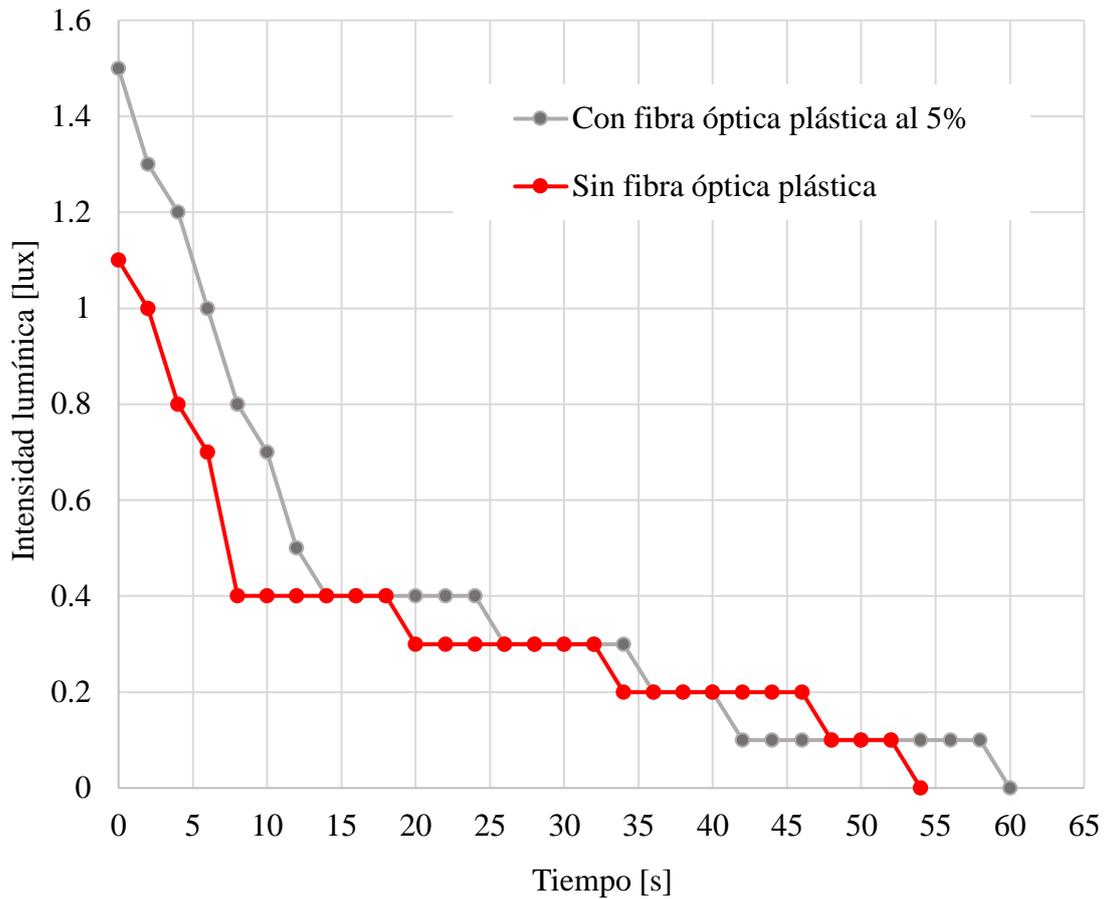


Figura 19: Gráfica de la degradación de la intensidad lumínica de los especímenes fluorescentes

En la Figura 19 se observa un comienzo de intensidad lumínica mayor en los especímenes con fibra óptica, mientras que el decrecimiento de la intensidad lumínica es más lento en los especímenes con fibra óptica plástica.

## 2.4 Análisis de resultados

### 2.4.1 Análisis del porcentaje de paso de luz

Inicialmente se puede observar, en la Tabla #6, un aumento de la intensidad lumínica, en luxes, que tienen los especímenes entre mayor porcentaje de fibra óptica tengan. Esto se debe a que los especímenes de 5% poseen un mayor número de fibras

ópticas que las muestras de 3% y 4%, de tal manera permitiendo que mayor porcentaje de luz sobrepase el espécimen hasta llegar al luxómetro.

Como se observa en la Tabla #7 existe una distinción del porcentaje que pasa por el espécimen, denotando que mayor porcentaje de fibra óptica plástica existe un mayor porcentaje de paso de luz.

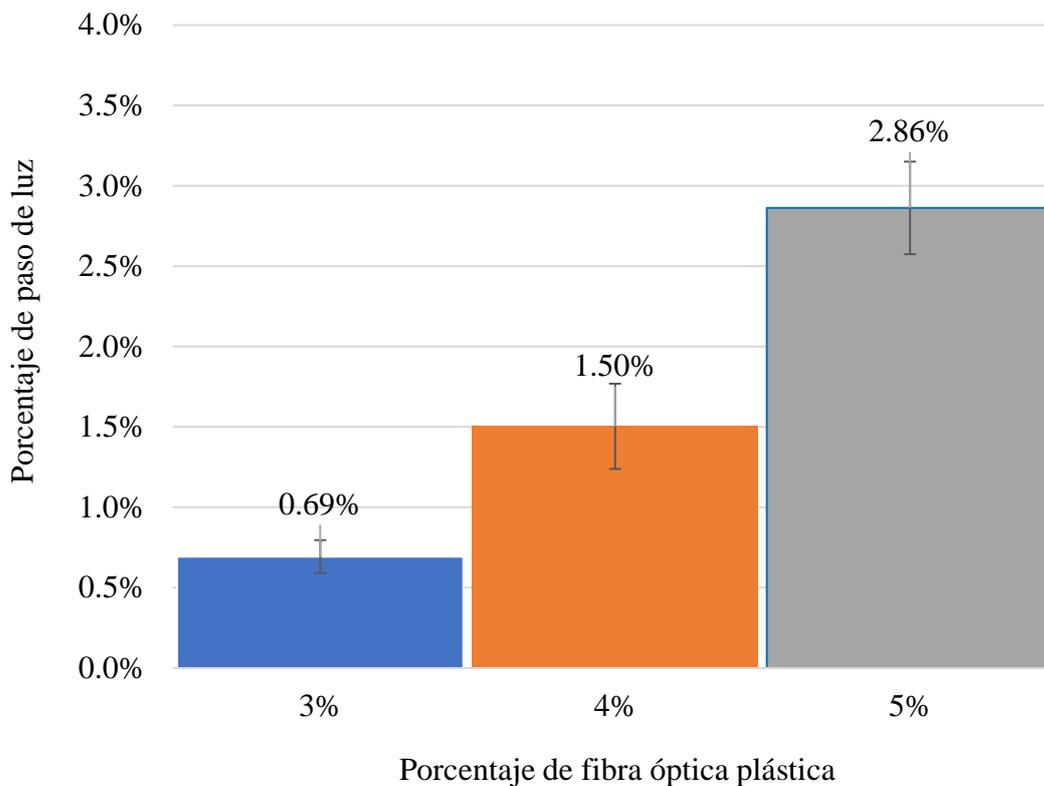


Figura 20: Porcentaje de paso de luz de los especímenes de fibra óptica plástica (i.e. 3%, 4% y 5%).

En la Figura 20 existe una variación dentro de los resultados de los porcentajes de paso de luz debido a 3 razones, a la reflexión de la luz, a la pérdida de energía por la refracción y a la irregularidad lumínica. Al colocar la fuente lumínica (la linterna) en la parte superior de con dirección perpendicular al espécimen se genera un fenómeno denominado reflexión el cual se define como “un rayo de luz que se desplaza en un

medio encuentra una frontera con otro medio, parte de la luz incidente se refleja” (López Figueroa, 2019). Esto causa que las ondas hagan contacto con la sección de hormigón se reflejen y no permitan su paso, además de que las ondas que hacen contacto con la fibra óptica se reflejan en una cierta cantidad (pequeña) sin permitir que lleguen al luxómetro. A esto se le conoce como reflexión difusa la cual permite reflejar la luz de los objetos y verlos tal y como son a comparación de la reflexión especular que es hacer que los rayos de luz se reflejen en una misma dirección (como un espejo) (Milton & Schwinger, 2006). Por otro lado, existe el fenómeno de la refracción que se define como “el rayo que penetra al segundo medio se dobla en la frontera”. Es decir, la onda que llega penetrar y pasar por la fibra óptica pierde energía con el paso de la fibra y la distancia entre la emisión de luz y el luxómetro al pasar el espécimen, cabe mencionar que también el ángulo cambia tras la refracción de la luz (Lekner, 1991). Es decir, la distancia del espécimen con el luxómetro marca una mayor o menor intensidad luminosa y el cambio en el ángulo de refracción genera que la intensidad luminosa no sea la misma en todos los puntos. Generando que el porcentaje que pasa no sea el mismo que el remplazo de la fibra óptica, teniendo una disminución del 76.89% en los especímenes del 3% de fibra óptica, 62.39% en los especímenes del 4% de fibra óptica y 42.74% en los especímenes del 5% de fibra óptica.

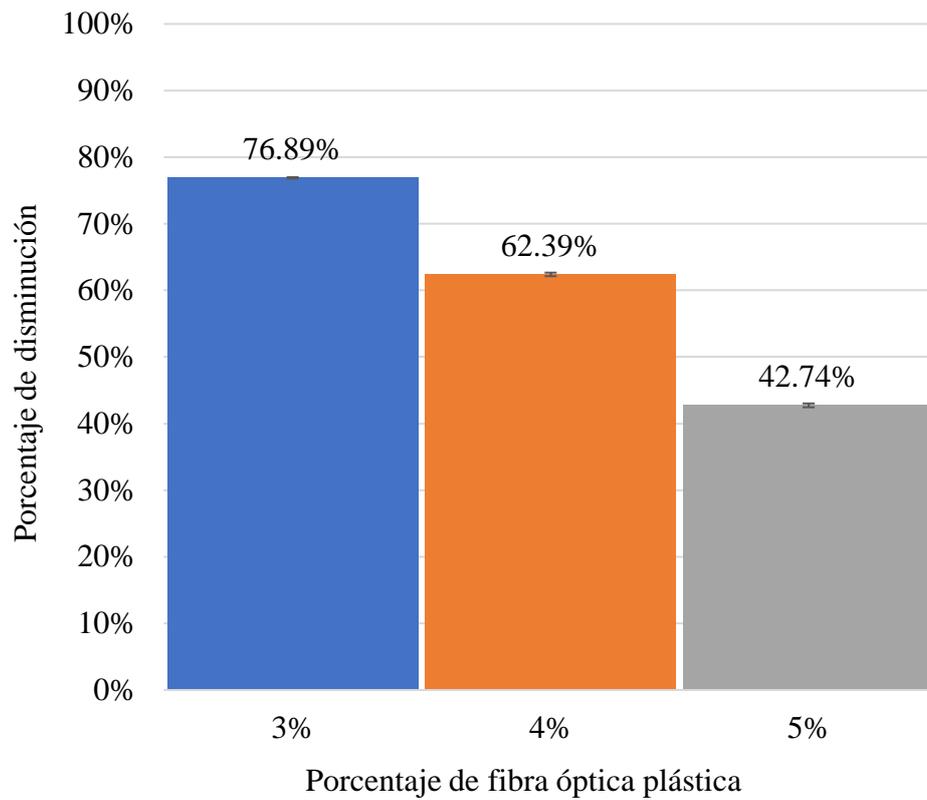


Figura 21: Porcentaje de disminución según el porcentaje de fibra óptica plástica.

A mayor porcentaje de fibra óptica existe una disminución de la pérdida de emisión lumínica en el luxómetro. Además, la variación de los datos se debe a la irregularidad de las fibras ópticas en un modelo cilíndrico, el cual no enfoca todos los fotones de luz al sensor en la misma dirección, ni con el mismo ángulo o intensidad.

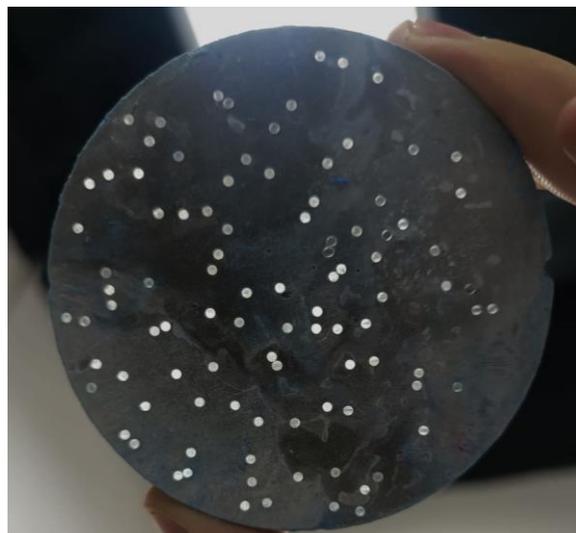


Figura 22: Imagen de la muestra cilíndrica expuesta a luz (paso de luz por las fibras ópticas)

#### 2.4.2 *Análisis de la resistencia a la tenacidad*

Inicialmente se observa la fuerza pico a la que resiste cada una de las viguetas sometidas a la prueba a flexión. La vigueta con mayor pico de resistencia fue la que posee fibras de polipropileno, consecuentemente esta la vigueta de pasta de cemento (la muestra control) y finalmente la vigueta con fibras ópticas plásticas a un 5% de remplazo de su volumen. Esto denota que el uso de fibras óptica plástica en un elemento causa varias fisuras e irregularidades internas, al igual como se comprobó en las muestras a compresión. De tal manera causando que esas irregularidades y fisuras internas que posee el espécimen fallen de manera más sencilla y rápida al someter el espécimen a una prueba a flexión. Mientras que el espécimen de fibras de polipropileno es el que consiguió un mayor valor pico debido a la falta de irregularidad que proporcionan las fibras en el espécimen muy similar al valor de la muestra control.

La deformación a la que ocurre los valores picos en los tres especímenes son muy similares siendo a 0.062 mm, 0.04 mm y 0.038 mm; de la muestra control, la que posee fibra óptica plástica y la que tiene fibras de polipropileno, respectivamente. Denotando una gran similitud entre las muestras que poseen fibras, demostrando que tienden a deformarse más fácilmente y llegar a la ruptura de la mezcla de cemento debido a las irregularidades internas de los especímenes.

La energía determinada fue a partir de la integral bajo la curva (el área) de cada una de las gráficas de la carga vs la deformación de cada vigueta. Esta energía representa, la energía la cual se disipo en el proceso de deformación y esfuerzos que tienen las viguetas en la prueba a flexión. Los resultados obtenidos denotan que la muestra control

a penas logra dispersar energía al solo ser una muestra de pasta de cemento con un valor de 0.68 J, debido a que esta muestra al llegar a la fuerza máxima de resistencia se da a la flexión y se rompe en su totalidad. En la vigueta con fibra óptica plástica se ve una mayor energía disipada de 27.68 J, menor al valor de la vigueta con fibra de polipropileno con 34.94 J. Pero en la Figura 16 se puede observar que las fibras ópticas tienden a cargar más energía que las fibras de polipropileno, esto se puede deber a su tamaño y rigidez.

#### *2.4.3 Análisis de los especímenes luminiscentes*

Considerando los resultados obtenidos de los especímenes fluorescentes se puede observar un claro incremento en la emisión de luz cuando estos poseen fibra óptica plástica. Aumentando en un 39% la intensidad lumínica de los especímenes en su emisión máxima.

Este incremento se debe a que los agregados fluorescentes que están dentro del espécimen también pueden recargarse por la linterna UV y al mismo tiempo emitir luz a través de las fibras ópticas que están colocadas bidireccionalmente (abarcando un mayor rango de luz). De tal manera la luz que detecta el luxómetro no tan solo proviene del agregado fluorescente que se encuentra en el exterior del espécimen, sino también de los extremos de las fibras ópticas que están transmitiendo la luz del agregado interno del espécimen.

En la Figura 19 en el apartado de resultados, se puede observar que en el decrecimiento de la intensidad lumínica de los especímenes con y sin fibra óptica plástica, hay una diferencia notable tanto en la duración de la emisión de luz como en los valores máximos encontrados. Los especímenes con fibra óptica demuestran al comienzo de la emisión de luz un mayor pico de intensidad lumínica, durante los

primero 15 segundos de exposición. Consecuentemente, se nivelan a un rango de intensidad lumínica similar entre los especímenes con y sin fibra óptica plástica. En el transcurso de la disminución de la intensidad lumínica se denota una mayor duración de luz en los especímenes con fibra óptica plástica. Esto se debe a que la fibra óptica está transmitiendo la luz de los agregados internos, los cuales tienen una menor degradación que los agregados que se encuentran en la zona exterior de los especímenes.

***Tabla #11: Porcentaje de degradación de la intensidad lumínica de los especímenes fluorescentes.***

<b>Tiempo [s]</b>	<b>Porcentaje de discusión</b>	
<b>Intervalos</b>	<b>Con fibra óptica plástica al 5%</b>	<b>Sin fibra óptica plástica</b>
0	100%	100%
2	87%	91%
4	80%	73%
6	67%	64%
8	53%	36%
10	47%	36%
12	33%	36%
14	27%	36%
16	27%	36%
18	27%	36%
20	27%	27%
22	27%	27%

24	27%	27%
26	20%	27%
28	20%	27%
30	20%	27%
32	20%	27%
34	20%	18%
36	13%	18%
38	13%	18%
40	13%	18%
42	7%	18%
44	7%	18%
46	7%	18%
48	7%	9%
50	7%	9%
52	7%	9%
54	7%	0%
56	7%	
58	7%	
60	0%	

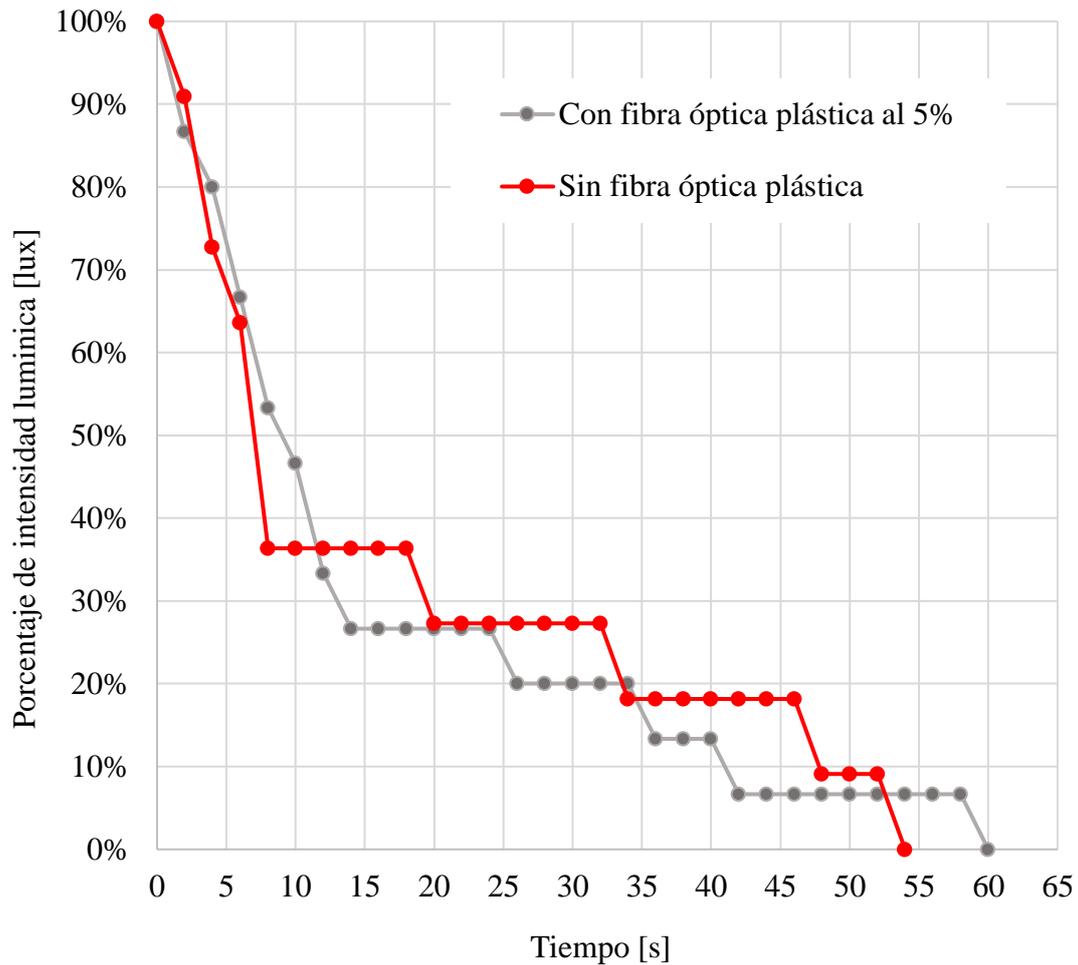


Figura 23: Gráfica del porcentaje de degradación de la intensidad lumínica de los especímenes fluorescentes

En la Figura 23 se observa cómo se va degradando el porcentaje de la intensidad de luz de los especímenes con y sin fibra óptica plástica. Ambos tipos de especímenes tienden a disminuir un gran porcentaje en los primeros segundos sin exposición a la linterna UV. Ambas curvas demuestran que se pierde alrededor del 60% al 65% de la emisión de luz inicial en los primeros 8 a 12 segundos. Además se observa que a pesar de tener valores de intensidad diferentes y duración de tiempos diferentes la disminución de la intensidad lumínica tiende a un comportamiento muy similar con o sin fibra óptica plástica.

## CONCLUSIONES

- Se logró el desarrollo de una mezcla de pasta de cemento translucido con porcentajes de fibra óptica plástica i.e. 3%, 4% y 5% en reemplazo del volumen.
- Se logró fabricar encofrados mediante la impresión 3D de cilindros para el paso de fibra óptica plástica i.e. 3%, 4% y 5%.
- Se logró fabricar encofrados de viguetas en madera para una muestra control y una muestra de fibra óptica plástica de 5%.
- Se logró el desarrollo de una mezcla de pasta de cemento traslucido fluorescente para especímenes de control (sin fibra óptica) y de 5% de fibra óptica plástica en reemplazo del volumen.
- Se logró fabricar encofrados para especímenes cúbicos de fibra óptica plástica de 5% en reemplazo del volumen, en forma de malla y para las muestras control (sin fibra óptica).
- La iluminancia de un espécimen de pasta de cemento traslucido aumenta en función al porcentaje de fibra óptica plástica utilizada, a mayor porcentaje de fibra óptica una mayor iluminancia.
- A mayor porcentaje de fibra óptica plástica que tenga un espécimen existirá una menor disminución del paso de luz debido a una menor pérdida de energía por la refracción y reflexión de las ondas de luz.
- La intensidad lumínica de los especímenes fluorescentes con fibra óptica plástica es mayor en comparación de los especímenes sin fibra óptica plástica.

## Referencias Bibliográficas

- Abdel-Fattah, H., & El-Hawary, M. M. (1999). Flexural behavior of polymer concrete. *Construction and Building Materials*, 13(5), 253-262.  
[https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(99\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(99)00030-6)
- Almeida, R. R. A. (2023). DESARROLLO DE HORMIGÓN TRANSLÚCIDO. *Universidad San Francisco*, 31.
- C09 Committee. (2012). *Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)*. ASTM International.  
[https://doi.org/10.1520/C1609\\_C1609M-12](https://doi.org/10.1520/C1609_C1609M-12)
- El-Helou, & Graybeal. (2020). *Flexural Behavior and Design of Ultrahigh-Performance Concrete Beams | Journal of Structural Engineering | Vol 148, No 4*. <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29ST.1943-541X.0003246>
- Garden Depot. (2023). *Tienda online*. [gardendepotgt](https://www.gardendepotgt.com/tiendaonline).  
<https://www.gardendepotgt.com/tiendaonline>
- Gutiérrez Díaz, M. Á., Jiménez Becerril, J., García Sosa, I., & Valenzuela, M. Á. (2003). Degradación fotocatalítica de fluoresceína sódica con óxido de titanio. *CIENCIA ergo-sum*, 10(1), 80-84.
- Ingaroca Gómez, R. J., & Guillermo Paucar, M. C. (2020). Análisis de la durabilidad y luminancia de un mortero con aluminato de estroncio para señalizaciones. *Universidad César Vallejo*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2968468>
- Lekner, J. (1991). Reflection and refraction by uniaxial crystals. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 3(32), 6121. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/3/32/017>
- Llerena Quishpe, A. D. (2020). *Diseño de un Mortero con Arena de Rio de la Provincia de Cotopaxi, Utilizando Cemento Portland Tipo I y HE Incluido Cal Hidráulica*

- para el Uso de Impresoras 3D* [bachelorThesis, Universidad Nacional de Chimborazo,2019]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6589>
- López Figueroa, A. D. (2019). *Aprendizaje significativo en la enseñanza de los fenómenos de reflexión y refracción de la luz desde una estrategia didáctica mediada por actividades experimentales*.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69639>
- Milton, K. A., & Schwinger, J. (2006). Reflection and Refraction. En K. A. Milton & J. Schwinger (Eds.), *Electromagnetic Radiation: Variational Methods, Waveguides and Accelerators* (pp. 179-183). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-29306-X\\_9](https://doi.org/10.1007/3-540-29306-X_9)
- Pająk, M., & Ponikiewski, T. (2013). Flexural behavior of self-compacting concrete reinforced with different types of steel fibers. *Construction and Building Materials*, 47, 397-408. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.072>
- Pérez Expósito, M. J. (2013). *Estudio y desarrollo de materiales fotoluminiscentes con pigmentos de alta emisión en soporte vítreo sinterizado*.  
<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/1933>
- Robles, A., Arenas, G. F., & Stefani, P. M. (2020). Light transmitting cement-based material (LTCM) as a green material for building. *Journal of Applied Research in Technology & Engineering*, 1(1), 9. <https://doi.org/10.4995/jarte.2020.13832>
- Sasaki, T., Higashiyama, H., & Mizukoshi, M. (2023). Flexural Behavior and Benefits of Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete for Concrete Pavement. *ACI Materials Journal*, 120(1). <https://doi.org/10.14359/51737294>
- Villanueva, R. A. G. (2020). *MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN*.

Yu, Genevet, Kats, Aieta, & Tétienne. (s. f.). *Light Propagation with Phase*

*Discontinuities: Generalized Laws of Reflection and Refraction* / *Science*.

Recuperado 7 de abril de 2024, de

<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1210713>