

# INFORME DE TESIS - SANCHEZ & RODRIGUEZ

*por* Estefany Janet Sánchez Durand

---

**Fecha de entrega:** 06-nov-2023 09:31a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2219373011

**Nombre del archivo:** INFORME\_DE\_TESIS\_-\_SANCHEZ\_DURAND\_-\_RODRIGUEZ\_RODRIGUEZ.docx (5.44M)

**Total de palabras:** 17593

**Total de caracteres:** 92530

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO**  
**BENEDICTO XVI**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL**



**DETERMINACIÓN DEL TIPO DE PIGMENTO QUE MEJORA LAS PROPIEDADES DE UN ADOQUÍN DE CONCRETO LUMINISCENTE.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTORES**

Br. Estefany Janet Sanchez Durand  
Br. Renzo Antenor Rodriguez Rodriguez

**ASESOR**

Mg. Ing. Javier Quispe Rodriguez  
<https://orcid.org/0009-0003-8346-546X>

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Vivienda, saneamiento y transporte

**TRUJILLO – PERÚ**

**2023**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Monseñor Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, O. F. M.**

Arzobispo Metropolitano de Trujillo

Fundador y Gran Canciller de la Universidad Católica de Trujillo – Benedicto XVI

**Dr. Luis Orlando Miranda Díaz**

Rector de la Universidad Católica de Trujillo – Benedicto XVI

**Dra. Mariana Geraldine Silva Balarezo**

Vicerrectora Académica

**Dra. Ena Cecilia Obando Peralta**

Vicerrector de Investigación

**Mg. Breitner Guillermo Díaz Rodríguez**

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

**Mons. Ricardo Exequiel Angulo Bazauri**

Gerente de Desarrollo Institucional

**Dra. Teresa Sofia Reátegui Marín**

Secretaria General

## DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD

<sup>1</sup> Señor(a) Decano(a) de la Facultad de Ingeniería:

Yo Mg. Ing. Javier Quispe Rodriguez <sup>1</sup> con DNI N° 18126008 como asesor del trabajo de investigación **“DETERMINACIÓN DEL TIPO DE PIGMENTO QUE MEJORA LAS PROPIEDADES DE UN ADOQUÍN DE CONCRETO LUMINISCENTE”** <sup>1</sup> desarrollado por los bachilleres Sanchez Durand, Estefany Janet y Rodriguez Rodriguez, Renzo Antenor <sup>1</sup> con DNI N° 75475631 y DNI N° 48824863 respectivamente, del Programa Profesional de Ingeniería Civil, considero que dicho trabajo de titulación reúne los requisitos tanto técnicos como científicos y corresponden con las normas establecidas en el reglamento de titulación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y en normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por la comisión de la clasificación designado por el Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

<sup>1</sup> Se declara también que el porcentaje de similitud o coincidencia es menor o igual al 20 %, estándar permitido por el Reglamento de grados y títulos de la Universidad Católica de Trujillo.



-----  
Mg. Ing. Javier Quispe Rodriguez  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

### ***A Dios***

*Por direccionarme a su voluntad en cada paso de mi trayectoria universitaria, renueva mis fuerzas continuamente cuando enfrento barreras, abre puertas en los momentos indicados y me brinda sabiduría en cada decisión a tomar.*

### ***A mis padres***

*Por su apoyo brindado en cada peldaño de mi vida; mi madre Betty Durand Avalos, mi mejor amiga, quien, con su amor, esfuerzo, trabajo y sus enseñanzas en Dios ha logrado formarme para tomar decisiones con rostro humano; y mi padre Jorge Sanchez Bada, quien con su vida y esfuerzo me ha incentivado a poder continuar en el trayecto de cada meta anhelada.*

### ***A mi hermano***

*A quien amo mucho, Aldair Sanchez Durand, pues con su corazón lleno de fortaleza, bondad y humildad me ha enseñado mucho con la ayuda al prójimo, y no rendirse en cada etapa de nuestra vida.*

### ***A mi familia***

*Por su motivación y consejos, en especial a mis tíos Juan y Baldir, grandiosos seres humanos que con un mensaje y su granito de arena en todo mi período universitario, han brindado su disposición de apoyarme e incentivar-me.*

***Estefany Janet Sanchez Durand***

***Autor.***

## **DEDICATORIA**

### ***A Dios***

*Adorado Padre gracias por todo. Por brindarnos la vida, familia, amigos, gracias por guiarnos en cada momento y permitirnos reflejar todo el conocimiento adquirido en este proyecto, gracias por siempre mantenerme en pie con cada batalla que se me presenta.*

### ***A mi madre***

*Gracias por permitirme conocer la luz de la mañana. Por ser mi apoyo en todo momento, por tener siempre una palabra precisa para cada circunstancia de la vida. Mi honra a mi madre Edit Rosario Rodriguez Romero, quien siempre me motiva al esfuerzo para cumplir mis objetivos a cabalidad. Mi mejor inspiración Charito.*

### ***A mi familia***

*A mis ángeles en el cielo a Papa Julio y Mamá Perpetua, quienes siempre me apoyaron en todo momento y me brindaron su amor incondicional, gracias por sus sabias palabras y consejos. A mis hermanos Gypsy, Fernando y Carmen, por ser mis bases firmes para poder formarme como persona. A mis tíos Gabino y David, que siempre me brindaron apoyo moral. Gracias por permitirme lograr este objetivo, este logro también es de ustedes.*

***Renzo Antenor Rodriguez Rodriguez***

***Autor.***

## **AGRADECIMIENTO**

### ***A nuestros docentes***

*Por habernos inculcado valores y conocimientos a través de su experiencia profesional; sus consejos y correcciones nos han ayudado a direccionarnos por el camino correcto. Asimismo, un especial agradecimiento al ingeniero Fernando Saldaña Milla, ingeniero Luis Alva Reyes, ingeniero Henry Chipana Saldaña y al ingeniero John Bejarano Guevara, pues sus aportes y consejos de superación tanto profesionalmente como humanamente han sido parte de un camino correcto.*

### ***A nuestro asesor***

*Ingeniero Javier Quispe Rodriguez, por su tiempo y guía; nos enseñó mucho con sus sabios consejos, y llevaremos plasmado en nosotros el valor de la humildad, aplicado en todo momento de nuestra vida.*

### ***A nuestros amigos***

*Por escucharnos, animarnos y comprendernos en situaciones frustrantes, y por compartir nuestras alegrías y triunfos. ¡Gracias a Dios por sus vidas!*

***Estefany Janet Sanchez Durand  
Renzo Antenor Rodriguez Rodriguez***

***Autores.***

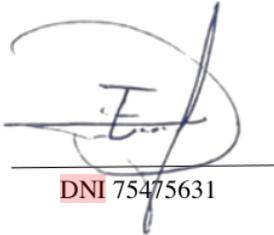
## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Nosotros, **Estefany Janet Sanchez Durand con DNI 75475631** y **Renzo Antenor Rodriguez Rodriguez con DNI 48824863**, egresados del Programa de Estudios de **Pregrado de Ingeniería civil** de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, damos fe que hemos seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos emanados por la Facultad de **Ingeniería y Arquitectura**, para la elaboración y sustentación del informe de tesis titulado: “**DETERMINACIÓN DEL TIPO DE PIGMENTO QUE MEJORA LAS PROPIEDADES DE UN ADOQUÍN DE CONCRETO LUMINISCENTE**”, el cual consta de un total de 91 páginas, en las que se incluye 09 tablas y 33 figuras, más un total de 17 páginas en anexos.

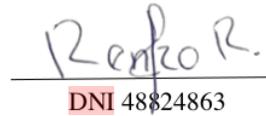
Dejamos constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaramos bajo juramento en razón a los requerimientos éticos, que el contenido de dicho documento, corresponde a nuestra autoría respecto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizamos que los fundamentos teóricos están respaldados por el referencial bibliográfico, asumiendo un mínimo porcentaje de omisión involuntaria respecto al tratamiento de cita de autores, lo cual es de nuestra entera responsabilidad.

Se declara también que el porcentaje de similitud o coincidencia es de 17%, el cual es aceptado por la Universidad Católica de Trujillo.

Los autores



DNI 75475631



DNI 48824863

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
<b>6</b> I. INTRODUCCIÓN .....	15
II. METODOLOGÍA .....	28
<b>2.1</b> Enfoque .....	28
<b>2.2</b> Diseño de investigación .....	28
<b>2.3</b> Objeto de estudio .....	29
<b>1</b> <b>2.4</b> Técnicas e instrumentos de recojo de datos .....	30
<b>2.5</b> Técnica de procesamiento y análisis de información .....	35
<b>2.6</b> Aspectos éticos en investigación .....	36
III. RESULTADOS .....	37
<b>14</b> <b>3.1</b> Determinación del tipo de pigmento que mejora las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente .....	37
<b>3</b> <b>3.2</b> Análisis de la variación del tipo de pigmento sobre la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente .....	40
<b>1</b> <b>3.3</b> Análisis de la variación del tipo de pigmento sobre la absorción de un adoquín de concreto luminiscente .....	43
<b>1</b> <b>3.4</b> Análisis de la variación del tipo de pigmento sobre la luminosidad de un adoquín de concreto luminiscente .....	44
<b>3.5</b> Comparación del costo de un adoquín de concreto tipo I de 60 mm con un adoquín de concreto luminiscente .....	54
<b>20</b> <b>3.6</b> Prueba de hipótesis .....	55
IV. DISCUSIÓN .....	63
V. CONCLUSIONES .....	66
VI. RECOMENDACIONES .....	68
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
ANEXOS .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estructura de un pavimento articulado .....	21
<b>Figura 2:</b> Características de un adoquín de concreto .....	22
<b>Figura 3:</b> Representación de la resistencia de compresión en el concreto .....	25
<b>Figura 4:</b> Diagrama representativo del diseño de investigación .....	29
<b>Figura 5:</b> Medidas del adoquín de concreto .....	30
<b>Figura 6:</b> Diagrama de flujo del proceso realizado .....	34
<b>Figura 7:</b> Relación del tipo de pigmento y las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente expuesto a una carga de 10 minutos .....	37
<b>Figura 8:</b> Relación del tipo de pigmento y las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente expuesto a una carga de 20 minutos .....	38
<b>Figura 9:</b> Relación del tipo de pigmento y las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente expuesto a una carga de 30 minutos .....	39
<b>Figura 10:</b> Resistencia a la compresión del grupo control a la edad de 28 días de curado .....	40
<b>Figura 11:</b> Resistencia a la compresión con adición del aluminato de estroncio a la edad de 28 días de curado .....	41
<b>Figura 12:</b> Resistencia a la compresión con adición del sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre a la edad de 28 días de curado .....	42
<b>Figura 13:</b> Resistencia a la compresión promedio con adición de pigmentos fotoluminiscentes a la edad de 28 días de curado .....	43
<b>Figura 14:</b> Absorción individual con adición de pigmentos fotoluminiscentes a la edad de 28 días de curado .....	43
<b>Figura 15:</b> Absorción promedio con adición de pigmentos fotoluminiscentes a la edad de 28 días de curado .....	44
<b>Figura 16:</b> Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuesto a una carga de 10 minutos .....	45
<b>Figura 17:</b> Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuesto a una carga de 20 minutos .....	45
<b>Figura 18:</b> Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuesto a una carga de 30 minutos .....	46

<b>Figura 19:</b> Luminancia de los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuestos a una carga de 10 minutos .....	47
<b>Figura 20:</b> Luminancia de los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuestos a una carga de 20 minutos .....	47
<b>Figura 21:</b> Luminancia de los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuestos a una carga de 30 minutos .....	48
<b>Figura 22:</b> Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuesto a una carga de 10 minutos .....	49
<b>Figura 23:</b> Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuesto a una carga de 20 minutos .....	50
<b>Figura 24:</b> Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuesto a una carga de 30 minutos .....	51
<b>Figura 25:</b> Luminancia de los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuestos a una carga de 10 minutos .....	52
<b>Figura 26:</b> Luminancia de los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuestos a una carga de 20 minutos .....	53
<b>Figura 27:</b> Luminancia de los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuestos a una carga de 30 minutos .....	54
<b>Figura 28:</b> Promedio de la resistencia a la compresión .....	56
<b>Figura 29:</b> Promedio de luminancia (mCd/m <sup>2</sup> ) expuesto a una carga de 30 minutos vs tiempo de descarga .....	56
<b>Figura 30:</b> Absorción promedio máximo de los pigmentos fotoluminiscentes .....	57
<b>Figura 31:</b> Resistencia a la compresión promedio con adición de pigmentos fotoluminiscentes a la edad de 28 días de curado .....	58
<b>Figura 32:</b> Promedio de la absorción del grupo control, adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y adoquines con aluminato de estroncio .....	60
<b>Figura 33:</b> Costo normalizado de unidades de probetas con respecto al adoquín de concreto comercial .....	62

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Muestras a ensayar por resistencia a la compresión en 28 días .....	30
<b>Tabla 2:</b> Valores mínimos de la resistencia a la compresión .....	31
<b>Tabla 3:</b> Valores máximos de la absorción .....	32
<b>Tabla 4:</b> Valores mínimos de la luminancia .....	32
<b>Tabla 5:</b> Costo de unidades de adoquín comercial, grupo control, adoquín con adición del aluminato de estroncio y del sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre .....	55
<b>Tabla 6:</b> Prueba de ANOVA para la resistencia a la compresión de los adoquines respecto al tipo de pigmento sobre la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente a la edad de 28 días .....	59
<b>Tabla 7:</b> Prueba de TUKEY para la resistencia a la compresión en kg/cm <sup>2</sup> respecto del tipo de pigmento sobre la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente a la edad de 28 días .....	59
<b>Tabla 8:</b> Prueba de ANOVA para la absorción del concreto de un adoquín luminiscente con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y/o aluminato de estroncio	61
<b>Tabla 9:</b> Costo de unidades de probetas de grupo control, adoquín con adición de aluminato de estroncio y adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre respecto al adoquín comercial .....	62

## RESUMEN

En la presente investigación se buscó determinar el tipo de pigmento que mejora las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente, donde se ensayaron la resistencia a la compresión, absorción y luminosidad, la población de estudio estuvo conformada por 45 probetas de dimensiones de 20 cm x 10 cm x 6 cm, en forma de paralelepípedo rectangular, y se dividieron en tres grupos, 15 probetas pertenecían al grupo control, 15 al grupo con adición del 25% de aluminato de estroncio y 15 al grupo con adición del 25% de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, la adición de ambas fue con respecto al peso del cemento, además todas estas probetas fueron curadas en un período de 28 días. Posteriormente de haber realizado los ensayos mencionados, continuamos con el procesamiento y análisis de datos mediante el ANOVA y el post prueba de Tukey, donde los resultados determinaron que el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre tiene un mayor tiempo de atenuación en su luminancia después de ser expuesto a una fuente de 15 watts en comparación con una fuente de 500 watts, y por su parte, aluminato de estroncio tiene un mayor tiempo de atenuación en su luminancia después de ser expuesto a una fuente de 500 watts en comparación con una fuente de 15 watts. Asimismo, los especímenes ensayados son semejantes entre sí respecto al rango de la resistencia a la compresión, donde el adoquín con la adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre tiene mayor resistencia a comparación del adoquín con aluminato de estroncio. Además, las muestras de los tres grupos cumplen de manera individual con el 7.5 % máximo de absorción de un adoquín de concreto, según indica la norma NTP 399.611. Para finalizar comprobamos que el adoquín luminiscente con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre tiene mayor tiempo de atenuación siendo expuesto a una luz más limpia, y a la vez cumpliendo los requisitos mínimos de luminancia que indica la norma UNE 23035 - 1.

**Palabras clave:** Luminosidad, resistencia a la compresión, absorción, aluminato de estroncio, sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, adoquín.

**ABSTRACT**

In the present investigation, we sought to determine the type of pigment that improves the properties of a luminescent concrete paver, where compression resistance, absorption and luminosity were tested. The study population was made up of 45 specimens with dimensions of 20 cm x 10 cm zinc doped with copper chloride, the addition of both was with respect to the weight of the cement, in addition all these specimens were cured in a period of 28 days. After having carried out the aforementioned tests, we continued with the data processing and analysis using ANOVA and the Tukey post test, where the results determined that zinc sulfide doped with copper chloride has a longer attenuation time in its luminance after of being exposed to a 15 watt source compared to a 500 watt source, and for its part, strontium aluminate has a longer attenuation time in its luminance after being exposed to a 500 watt source compared to a 15 watts. Likewise, the tested specimens are similar to each other regarding the range of compressive strength, where the paver with the addition of zinc sulfide doped with copper chloride has greater resistance compared to the paver with strontium aluminate. In addition, the samples of the three groups individually comply with the 7.5% maximum absorption of a concrete paver, as indicated by the NTP 399.611 standard. Finally, we verified that the luminescent paver with zinc sulfide doped with copper chloride has a longer attenuation time when exposed to cleaner light, and at the same time meeting the minimum luminance requirements indicated by the UNE 23035 - 1 standard.

**Keywords:** Luminosity, compressive strength, absorption, strontium aluminate, zinc sulfide doped with copper chloride, cobblestone.

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, existe mucha expectativa con el avance de la tecnología en diversas áreas de la vida cotidiana, a tal punto que se han encontrado soluciones para distintos problemas; sin embargo, muchas veces no se ha tomado en cuenta el impacto ambiental de la tecnología que los rodea o que tan perjudicial puede llegar a ser para el planeta en un futuro. En este contexto, la iluminación es un aspecto que ha venido a ser parte fundamental para la vida rutinaria del ser humano, desde la iluminación interna del hogar hasta lugares públicos, como carreteras, ciclovías, plazas, entre otros.

Ante lo mencionado y comparado con la realidad, surgen distintas problemáticas debido a la falta de iluminación en zonas que no llegan la energía eléctrica o tiene baja iluminación, problema que se ve reflejado en su mayoría en los accidentes de tránsito. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), menciona que los diferentes factores de riesgo causan muertes aproximadas de 1.3 millones de personas a nivel mundial, considerando que uno de estos factores es la falta de seguridad en la infraestructura vial. Es así que, se puede visualizar la influencia de tener una buena iluminación en el tránsito de vehículos o bicicletas, puesto que es parte esencial para la seguridad, sobre todo en zonas con baja iluminación artificial.

Sin lugar a duda, la energía eléctrica no es del todo renovable y en su mayoría cuando se requiere iluminar desde carreteras hasta ciclovías o pequeños parques se recurre usualmente a las fuentes de energía convencional; sin embargo, estas para generar electricidad no son sostenibles en el tiempo y acarrear contaminación al planeta, y es por eso que se debe combatir esta problemática con alternativas más sostenibles y buscando la utilización de los recursos y energías renovables para poder proyectarnos al futuro como una sociedad amigable con el medio ambiente incluso en el avance tecnológico.

A nivel nacional, el Perú desde el 2015 viene consumiendo 22.4 miles de gigavatio-hora [GWh] en alumbrado público, donde también ha existido deficiencias que arrojan el 1.64 % de Unidades de Alumbrado Público (UAP) por parte del servicio de este sector, además de manera específica, el departamento de la Libertad es uno de los departamentos que más energía eléctrica consume en el país después de Lima (Organismo Supervisor de la

Inversión en Energía y Minería [OSINERGMIN], 2016). Así, con bajo alumbrado público tiende a ver poca visibilidad por parte de peatones, ciclistas y conductores.

Por otra parte, no existe un registro exacto y oficial que contemple la situación en la que se encuentran la infraestructura vial para ciclistas. Además, que se desconoce la cantidad exacta de ciclovías en buen estado. Es por ello que, al no contar con un registro del estado actual de ciclovías, esto puede ser perjudicial para la movilización de los usuarios en bicicletas. Según la Encuesta Nacional de Hogares realizada en el 2019, solamente en el departamento de Lima se tienen al menos un 15% de domicilios que cuentan con bicicletas, y que en la población donde hay una mayor concentración de usuarios de bicicletas es la localidad de Santa Rosa, Chaclacayo y Magdalena vieja con un 100%, 52% y 32% respectivamente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2023).

Por su parte, el departamento de La Libertad no es la excepción, puesto que también carece de infraestructura vial para ciclistas. Es así que, Giron y Herrera (2021) indican que la población trujillana no utiliza como primer medio de transporte las bicicletas, y esto es debido a diversos factores dentro de la infraestructura, como la mala distribución de las ciclovías y la poca visibilidad en la delimitación de las mismas.

Por otro lado, desde un enfoque turístico, Trujillo con un 61.5 % se convierte en la provincia más visitada del departamento de La Libertad, es así que necesita estrategias innovadoras que le permitan sumar como un lugar atractivo, donde en gran parte de toda la ciudad, un turismo no solo debe realizarse de día, sino también de manera nocturna, es allí donde se encuentra la desventaja, ya que algunos lugares todavía se encuentran con baja iluminación, como son los parques (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo [MINCETUR], 2018).

Ante lo mencionado, una alternativa viable hacia toda esta problemática es el uso de un pigmento fotoluminiscente, el cual se le adicionará en la dosificación de un concreto para adoquines de pavimentos articulados, tanto el aluminato de estroncio ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4$ ) como el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre ( $\text{ZnS}:\text{CuCl}$ ) le brindarán luminosidad al adoquín, donde será útil para pavimentar parques, veredas, carreteras, ciclovías, entre otros, los cuales harán que exista una mejor visualización en las señalizaciones, debido a que este material absorbe la luz en el día y la emite durante las horas nocturnas, además resaltando

que este aportaría al desarrollo sostenible, debido a que su producción de funcionamiento es a partir de la radiación solar, una energía renovable y a la vez económica.

Cabe mencionar que, <sup>17</sup> en la actualidad es de suma importancia la innovación dentro de los materiales para el sector construcción, donde para este tiempo se cumpla con el concepto de desarrollo sostenible, que engloba la tecnología, la economía y el medio ambiente en relación a la sociedad, además estos productos deben realizarse de acuerdo a los rangos establecidos en las respectivas normas para que no altere en su ejecución. Es por ello que, <sup>2</sup> el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y el aluminato de estroncio, son pigmentos fotoluminiscentes y materiales no contaminantes que permiten a los adoquines del pavimento articulado captar la radiación solar por el día y liberarla por la noche, siendo de esa manera útil para la seguridad vial, ciclovías, parques y paseos peatonales.

Además, justificando en un aspecto tecnológico, en la materialización de esta investigación se realizó un adoquín luminiscente, el cual se caracteriza por ser un material innovador, puesto que a la mezcla tradicional de concreto simple para elaborar un adoquín, se le adicionó un pigmento fotoluminiscente que le brindó al producto final la condición de poder recargarse con radiación solar, capturando energía proveniente del sol durante el día y liberándola por la noche, alcanzando así un aporte para los materiales tradicionales de construcción.

Asimismo, se percibe una justificación económica, al considerar la intervención del pigmento fotoluminiscente en los adoquines del pavimento articulado, debido a que el diseño arquitectónico de un adoquín luminiscente es muy llamativo, a tal punto que generaría turismo y por ende ganancia económica para la localidad, aportando a un paisajismo nocturno.

Del mismo modo, brinda un aporte a la sociedad, la cual recae en el pigmento fotoluminiscente dentro un adoquín, parte de la superficie de un pavimento articulado, debido a que permitió un impacto positivo dentro de la sociedad, pues ayudó a un aporte de visualización para las diferentes señalizaciones que necesita cada zona en cuanto a la transitabilidad y el paisajismo.

De la misma manera, este también aporta al cuidado de nuestro medio ambiente, debido a que genera iluminación mediante una energía renovable, pues proviene de la radiación solar, además, se considera un material reciclable por su buena resistencia a la

compresión y por su vida útil, la cual está considerada mayor a 30 años, por lo tanto, todo ello también generaría un aporte al desarrollo sostenible.

Adicional a lo mencionado, con respecto a la justificación técnica – normativa, el adoquín de concreto luminiscente es una alternativa viable técnicamente, debido a que está acorde con lo requerido normativamente para un adoquín de concreto, la cual tiene como base la Norma Técnica Peruana 399.611 (2017), asimismo, por ser un material luminiscente se tiene que regir bajo una normativa especial, como la norma española UNE 23035 -1, y también esto puede aportar y dejar un precedente para la creación de una Norma Técnica Peruana que pueda basarse en el uso de materiales luminiscentes como complemento para la iluminación en lugares públicos.

Preliminar a la realización del estudio experimental, se investigó ciertos estudios base a través de antecedentes que ya se han venido realizando, tales como Buitrago y Cardenas (2018) realizaron un artículo titulado <sup>32</sup> “Implementation of photoluminescent material in pavements for the transit of bikes” cuyo objetivo era poder evaluar a un material fotoluminiscente y su comportamiento físico dentro de mezclas asfálticas para el uso en ciclovías, proponiendo así una gradación específica de una mezcla porosa y lechada por medio del sulfuro de zinc, asfalto y resina epóxica probados con el ensayo de Marshall, logrando así un resultado favorable, puesto que permitió la luminosidad por un alrededor de 5 horas con la posibilidad de poder luego incrementar el pigmento fotoluminiscente, y a la vez se consiguió aumentar la seguridad vial por medio del uso de las bicicletas.

Por otro lado, Medina y Moreno (2018), realizaron un trabajo de indagación denominado <sup>2</sup> “Influencia de las piedras fotoluminiscentes en la iluminación y las propiedades mecánicas del concreto, Trujillo - 2018”, en donde realizaron un concreto simple y le incrustaron piedras fotoluminiscentes con el objetivo de comprobar si era posible obtener un concreto fotoluminiscentes resistente, para eso se realizaron los ensayos de resistencia y se utilizaron un sensor de luz, alcanzando un resultado favorable, puesto que cumplió con los requisitos mínimos de 10 minutos que se presencia en la norma UNE 23035 -1 y con un tiempo de descarga de 8 horas.

Asimismo, se ubicó a Yingli et al. (2018), investigadores que realizaron un artículo científico titulado <sup>25</sup> “Study on properties and mechanisms of luminescent cement-based pavement materials with super-hydrophobic functionen” donde su objetivo principal era

investigar los efectos de los materiales luminiscentes de larga duración, para lo cual las muestras de cemento luminiscente se prepararon utilizando moldes (50 mm x 50 mm x 20 mm) y se sometieron a una prueba de luminiscencia a un test de ángulo de contacto, después se trató la superficie con los materiales hidrofóbicos dando como resultado las mejores propiedades luminiscentes por el contenido de polvo luminiscente que fue de 25%, mientras que el óptimo contenido de polvo reflectante se mantuvo en 10%.

Otra investigación comprobada fue el de Flor et al. (2018), en la cual realizaron una investigación titulada “Estudio de un compuesto cementante fotoluminiscente y su aplicación en la construcción”, cuyo objetivo fue realizar un mortero con adición de un compuesto luminiscente (SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:M), donde se evaluó las propiedades mediante unos ensayos físicos – mecánicos y un análisis químico XRF a tres especímenes de mortero, dando un resultado favorable, pues la dosificación 0.3:1, proporción representativa del Sr Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:M con relación al material conglomerante, que es el cemento, accedió a tener un mejor resultado en cuanto a la fotoluminiscencia, adicional a ello se realizó un análisis económico de costo/beneficio para la aplicación del compuesto luminiscente como una señalización vial siendo más económico comparando con una luminaria tradicional.

Del mismo modo, Argiz y Sanjuán (2019) realizaron un artículo titulado “Photoluminescent cements” en el que se buscó describir las posibles rutas de fabricación de cemento luminiscente y su potencial aplicación, para la cual se usó aluminatos alcalinotérreos (fosforescentes) y geo polímeros fosforescentes, obteniendo un resultado positivo, ya que se consiguió emisiones de larga duración, de hasta 20 horas, por medio de las longitudes de onda de los colores verde y azul, mientras que en los colores rojo, naranja y amarillo los tiempos de emisión son mucho menores.

Adicionalmente, se tuvieron en cuenta a He et al. (2019), investigadores que realizaron un artículo denominado “Characteristics analysis of self-luminescent cement-based composite materials with self-cleaning effect” en donde se buscó producir materiales que tengan una composición a base de cemento autoluminiscentes (SCCM), siendo luego evaluados sus propiedades mecánicas, luminosas e impermeables, posteriormente hubo una comparación entre los resultados y el grupo de control, los cuales fueron favorables para el brillo inicial y pasado 10 minutos se aumentó entre un 4.7% y 45.79% respectivamente.

<sup>4</sup> Asimismo, Inocente Quinteros (2020) realizó un trabajo de investigación titulado “Diseño de asfalto con adición de piedras fotoluminiscentes para el aumento de la visibilidad en vías” en donde realizaron un diseño que se basaba en innovar un asfalto adicionando piedras con característica de ser fotoluminiscentes, con la intención de determinar si era posible obtener un pavimento flexible fotoluminiscente donde se realizaron los ensayos de intensidad de luz en las piedras luminosas, estabilidad y flujo, además se realizó el costo de producción del asfalto fotoluminiscente, dando como resultado desfavorable ya que la producción de un asfalto con esas características luminosas es superior al de un asfalto convencional.

De igual forma, es considerable citar a Wang et al. (2020), debido a que realizaron una investigación titulada “Cement filled with phosphorescent materials for pavement: Afterglow decay mechanism and properties”, en la cual se buscó determinar un compuesto luminescente a base de cemento (LCCM) y comprobar si era factible realizar un pavimento para carreteras, evaluando que el incremento de malla (RP) mejora la resistencia mecánica de la muestra, mientras que el brillo y el tiempo de resplandor, primero aumentan y posteriormente disminuyen con un aumento de malla (LP), los resultados determinaron que es un compuesto que permite ahorrar energía y reducir la contaminación lumínica, además mejora la seguridad del tráfico vehicular en lugares con poca iluminación.

<sup>23</sup> Por otro lado, Bello y Rosero (2021) realizaron una investigación denominada “Prototipo de adoquines luminiscentes con pigmentos refractarios y polímeros plásticos reciclados para parques y viviendas” en donde se elaboró un adoquín luminescente a base de materiales reciclables como los plásticos y partículas refractarias, y se definió las cualidades del adoquín con pruebas físicas, mecánicas y químicas, la dosificación empleada fue la de un adoquín PET con goma sintética reflectiva, obteniendo así un resultado favorable en cuanto a las características físicas, mecánicas y químicas, y desfavorable en el desgaste cuando el adoquín es expuesto al medio ambiente.

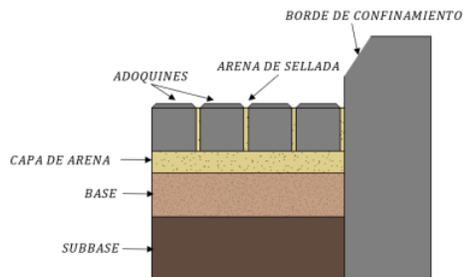
Otro aporte importante, fue el de Wang et al. (2021), puesto que realizaron un artículo titulado “Self-luminescent cement-based composite materials: properties and mechanisms”, en esta investigación buscaron determinar la influencia de la hidratación y distribución del polvo luminescente en las propiedades mecánicas y el brillo del cemento relleno con materiales luminescentes, por esa razón fue que diseñaron siete contenidos de LP (Polvo luminescente) con 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% y 45% de la masa de cemento, el RP

(Polvo reflectante) fue un 10 % y mezcla agua-cemento se mantuvo en 0,4 para cada probeta, la cual luego se obtuvo como resultado que el tiempo de iluminación es eficiente en los materiales luminiscentes a base de cemento y su mayor brillo es después de la irradiación de 30 minutos.

Los autores citados aportaron para la base del planteamiento de la presente investigación, anexando a esta términos de soporte, como es el concepto de pavimento, que según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC, 2013) indica que es la unión de capas que se encuentran superpuestas de manera horizontal, realizado con un diseño técnico de materiales adecuados para una buena seguridad y la comodidad que debe existir en el tránsito; asimismo, existen tipos de pavimentos, en los cuales se destaca el pavimento semirrígido, que según Menéndez Acurio (2009) es la unión de un pavimento flexible con un rígido, la cual puede ser adoquinado, presentando una capa de rodadura en la superficie, conformada por ladrillos, concreto hidráulico, unidades de piedra o madera, para posteriormente ser colocados encima de una capa de arena.

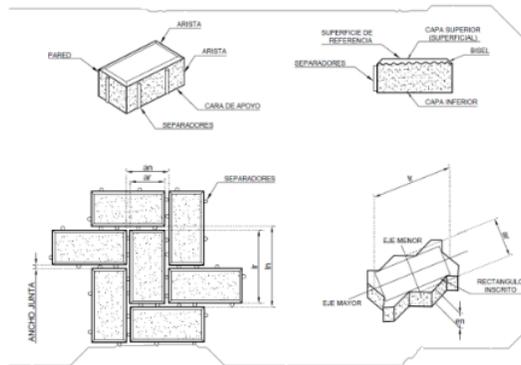
Del mismo modo, se anexa el concepto de pavimento articulado, que según Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2010), la norma CE. 010 indica que está estructurado por un adoquín de concreto en la capa de rodadura de su superficie, colchón o cama de arena, subbase y subrasante, es por ello, que el adoquín viene a ser definido como un componente prefabricado a base de concreto simple, que tiene 320 kgf/cm<sup>2</sup> para uso peatonal (Md Mizanur et al., 2020), teniendo como mayor ventaja el fácil montaje y apariencia agradable, puesto que está compuesto por elementos simétricos y con un aparejo que se pueden formar señales, figuras o delimitaciones (Abt et al., 2007).

**Figura 1**  
*Estructura de un pavimento articulado*



*Nota.* La figura muestra las capas de un pavimento articulado o intertrabado.

**Figura 2**  
*Características de un adoquín de concreto*



*Nota.* La figura muestra las dimensiones de los adoquines y sus respectivas características. Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y Concreto [IMCYC], (2014).

Asimismo, una definición necesaria para esta investigación, es la del pigmento fotoluminiscente, que se destaca por ser un material en polvo o pintura que luego de recibir luz desde una fuente proveniente de la naturaleza o convencional tiende a guardar la energía recibida y proyectar luminosidad durante la noche (Suleymanova et al., 2020). Cabe mencionar que, el polvo luminiscente se mezcla con los demás aditivos para lograr el producto final, a diferencia de la pintura luminiscente, la cual se coloca mediante capas para añadirla en la superficie de algún producto, es decir, se toma en cuenta el número de pasadas con cierta brocha.

De igual modo para obtener diversos tipos de pigmentos que almacenan energía mediante la emisión la luz, es mediante la agrupación de las siguientes familias: aluminatos, silicatos, entre otros; estos tienden a doparse con tierras de característica rara para su activación (Rodrigues, 2023), definiendo así, algunos tipos de pigmentos fotoluminiscentes, como el aluminato de estroncio ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4$ ), que es un compuesto químico que tiene la capacidad de emitir luz cuando está sometido a ciertas condiciones, es decir, tiene la propiedad de luminancia; también tiene la ventaja de ser insoluble, puesto que no afecta a las propiedades tanto químicas como físicas de un adoquín (Waqas et al., 2019), esto es debido a que se encuentra estructurada en una forma tridimital, y a la vez está compuesta por capas conocidas como tetraedros  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  (Rojas Hernández, 2015).

Además, otro pigmento luminiscente, es el sulfuro de zinc, el cual es un componente base para el desarrollo de un adoquín de concreto luminiscente, Bottani y Odetti (2020), lo mencionan como un compuesto inorgánico de color blanco puro, usado para diversas aplicaciones en forma de pigmento; y asimismo encontramos el cloruro de cobre (CuCl), que tiene una apariencia pardusca en forma de polvo de luz, el cual es utilizado en diferentes áreas de la industria agrícola y metalúrgica (Švarcová et al., 2021), además se usa como aditivo para conservante de la madera y en la fabricación de papel fotosensible, pigmentos para vidrio y cerámica (New Jersey Department of Health and Senior Services, 2007). Sumado a esto, al activar la estructura ZnS con el CuCl, se produce una aleación simbolizada químicamente como ZnS:CuCl, esto quiere decir que el cloruro de cobre genera el color fosforescente al pigmento luminiscente (Nanasaheb et al., 2023).

Ante lo mencionado, es necesario definir el término de la fotoluminiscencia, el cual representa a un material con característica electromagnética, es decir, que para su carga se necesita de una luz natural o convencional, teniendo así la ventaja de no llegar a colapsar ya que es energizada por medio de partículas diminutas y luego liberadas, siendo así útil para las diversas señalizaciones ( Bube, 1950).

Por otro lado, la principal propiedad física del pigmento fotoluminiscente es la luminancia, es decir, que es capaz de emitir intensidad luminosa, la cual se mide en mCd/m<sup>2</sup>; además se define como iluminancia al flujo luminoso por unidad de área (F / A) que recibe una superficie, este se mide en luxes (Bukshtab, 2012); asimismo, este pigmento se caracteriza por absorber energía que proviene de una fuente externa, para posteriormente liberarla, formando así un ciclo renovable (Vargas et al, 2020). Con lo mencionado, se asume que es un material que se caracteriza por absorber, almacenar y emitir luz mediante toda una estructura de base cristales. Después de absorber la luz, ya sea energía natural o artificial, pueden llegar a mantener su brillantez por más de doce horas. Cabe mencionar que es útil para señalizaciones de tránsito o emergencia, decoraciones, entre otros (Riches et al, 2015).

Es así que, la fórmula para analizar la luminosidad del adoquín luminiscente se realiza mediante la ecuación 1 (Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR], 2003).

$$L = \frac{E}{\Omega_p} \quad \dots (1)$$

Donde:

L = Representa a la luminancia con unidad de medición en cd/m<sup>2</sup>.

E = Representa a la iluminancia en unidades de luxes (lux), dato recogido con un luxómetro.

$\Omega_p$  = Representa al ángulo sólido proyectado, determinado por la superficie del material u objeto que se va a medir y el centro de la cabeza del fotómetro, que viene a ser la superficie del ingreso de luz.

Del mismo modo, la ecuación 2 del ángulo sólido proyectado se expresa de la siguiente manera (AENOR, 2003):

$$\Omega_p = \pi_x \left[ 1 + \left( \frac{r}{R^2} \right) \right]^{-1} \times \Omega_0 \quad \dots (2)$$

Donde:

$\Omega_0$  = Representa al ángulo sólido unitario con unidad de medición de grados.

r = Representa a la distancia entre la superficie del ingreso de la luz\* y el material u objeto que se va a medir (mm).

R = Representa al radio de la superficie del área dimensionada (mm).

\* La luz ingresa por medio del sensor de detección.

Es preciso mencionar que, para esta investigación, al tener una base rectangular debido a la forma del adoquín de concreto luminiscente, se realizó un análisis matemático para el área equivalente circular del área rectangular a estudiar, quedando la fórmula expresada en la siguiente ecuación 3.

$$\Omega = \pi \left( 1 + \frac{\pi h^2}{A} \right)^{-1} \quad \dots (3)$$

Donde:

A = Área de la base del objeto.

h = Altura o distancia desde de la cabeza del fotómetro hasta la base del objeto.

Otra propiedad física es, la absorción, el cual se refiere a la cantidad de agua que absorbe una muestra mediante una de sus caras bajo el control de ciertas de condiciones y por un cierto tiempo conforme se sumerge o introduce en el agua, además todo ese proceso, se realiza manteniendo el nivel del agua de manera constante, su unidad de medida es adimensional, representándose en porcentaje (%).

Por lo tanto, la fórmula para analizar la absorción del adoquín luminiscente se realiza mediante la ecuación 4 (Norma Técnica Peruana 400.021 [NTP], 2002).

$$\text{Absorción \%} = \left( \frac{B-A}{A} \right) * 100 \quad \dots (4)$$

Donde:

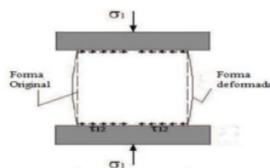
A = Masa del espécimen secado en el horno, su unidad de medida es en gramos (g).

B = Masa del espécimen saturado o húmedo seco en aire, su unidad de medida es en gramos (g)\*.

\* El espécimen saturado seco, se refiere que luego de 24 horas en el agua, se retira y se seca con un paño, luego se deja secar por un minuto y se procede a pesar.

Complementando estos conceptos, es importante comentar acerca de la resistencia a la compresión, debido a que es una propiedad mecánica de un adoquín de concreto, la cual tiene ciertos valores que están normados para lograr una buena superficie del pavimento articulado, es así que según Callister y Rethwisch (2020), lo conceptúan como la carga máxima por unidad de área que puede soportar el material, este valor se calcula en un ensayo de compresión - deformación en donde se le aplica al material una fuerza compresiva que provoca la contracción del material.

**Figura 3** Representación de la resistencia de compresión en el concreto.



Nota. Se visualiza el adoquín de concreto en un ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Vila et al. (2017)

Es así que, la fórmula para analizar la resistencia a la compresión del adoquín luminiscente se realiza mediante la ecuación 5 (Aspilcueta Ascencios, 2015).

$$f'c = \frac{P}{A} \quad \dots (5)$$

Donde:

P = Máxima carga o fuerza interna del concreto

A = Área de la sección o del concreto

Después de la revisión bibliográfica y habiendo adquirido un vasto conocimiento de la investigación, se consideró al tipo de pigmento como la variable independiente y a las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente como parte de la variable dependiente, además se planteó el siguiente problema general: ¿Qué tipo de pigmento mejora las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente? y los posteriores problemas específicos: ¿Existe variación en la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente al usar aluminato de estroncio o sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre?, ¿Existe variación en la absorción de un adoquín de concreto luminiscente al usar aluminato de estroncio o sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre?, ¿Existe variación en la fotoluminiscencia de un adoquín de concreto luminiscente al usar aluminato de estroncio o sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre? y ¿Existe diferencia en el costo de un adoquín tipo I de 60 mm con un adoquín de concreto luminiscente?.

Asimismo, los problemas mencionados llevaron a plantear respuestas tentativas, donde se tiene la siguiente hipótesis general, H: El pigmento a base de aluminato de estroncio mejora las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente; seguidamente, se presentan las hipótesis específicas en respuesta a los problemas específicos de manera ordenada, encontramos que la primera hipótesis específica indica que en la H0: No existe variación en la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y en la H1: Existe variación en la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, la segunda hipótesis específica indica que en la H0: No existe variación en la absorción de un adoquín de concreto luminiscente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y en la H1: Existe variación en la absorción de un adoquín de concreto luminiscente con

aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre; en la tercera hipótesis específica indica que en la H0: No existe variación en la fotoluminiscencia de un adoquín de concreto luminiscente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y en la H1: Existe variación en la fotoluminiscencia de un adoquín de concreto luminiscente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, y en la cuarta hipótesis se indica que en la H0: No existe diferencia en el costo de un adoquín tipo I de 60 mm con un adoquín de concreto luminiscente y en la H1: Existe diferencia en el costo de un adoquín tipo I de 60 mm con un adoquín de concreto luminiscente.

Finalmente, todo conllevó a plantear un objetivo general, que es determinar el tipo de pigmento que mejora las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente, y también los siguientes objetivos específicos, que es analizar la variación en la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente con aluminato de estroncio y con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, analizar la variación de la absorción de un adoquín de concreto luminiscente con aluminato de estroncio y con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, analizar la variación en la fotoluminiscencia de un adoquín de concreto luminiscente con aluminato de estroncio y con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y comparar el costo de un adoquín de concreto tipo I de 60 mm con un adoquín de concreto luminiscente.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1 Enfoque

Es preciso mencionar que, esta investigación realizada es de carácter aplicada, debido a que busca la utilización de los conocimientos adquiridos y la implementación de la práctica en la investigación (Vargas Cordero, 2009). Asimismo, es una investigación cuantitativa por ser medible (Monje Álvarez, 2011). Además, es de tipo experimental, resaltando también que se realizó mediante el método hipotético - deductivo, puesto que se definió al campo de acción y allí intencionalmente se manipuló la variable independiente, y posteriormente se recopiló los datos que se generaron y donde se modificó la variable dependiente (Borja Suárez, 2016).

### 2.2 Diseño de investigación

La investigación fue experimental, debido a que estaba constituida por una variable independiente y dependiente, siendo definidas de la siguiente manera:

**Variable independiente:** Tipo de pigmento. Se consideró como pigmentos fotoluminiscentes, el aluminato de estroncio y el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.

**Variable dependiente:** Propiedades de un adoquín de concreto luminiscente. Después de 28 días de curado se midió la resistencia a la compresión, absorción y la luminosidad.

Del mismo modo, la presente investigación pertenece a un diseño experimental puro en modalidad con estudio de post – prueba, puesto que se tuvo en cuenta un grupo control como parte de la muestra para la ayuda de obtención de resultados.

Observándose así, la matriz de diseño experimental para los niveles de las variables de la siguiente manera:

$$GC: O_1 \xrightarrow{x} O_2$$

GC: Grupo control

O<sub>1</sub>: Adoquín de concreto

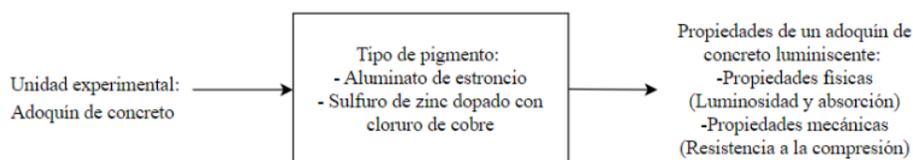
X: Tipo de pigmento (Aluminato de estroncio y el Sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre)

O<sub>2</sub>: Adoquín de concreto luminiscente (Resistencia a la compresión, absorción y luminosidad)

Asimismo, en la figura 4 se puede visualizar del diseño de investigación representado mediante un esquema, donde se aprecia desde la unidad experimental y las variables que fueron estudiadas:

#### Figura 4

Diagrama representativo del diseño de investigación.



Nota. Se visualiza la variable independiente que será manipulada y el efecto representado en la variable dependiente.

### 2.3 Objeto de estudio

En la presente investigación se consideró al objeto de estudio como la población que se pretende estudiar, por la cual se detalla en la siguiente manera:

**Población:** Según la Norma Técnica Peruana 399.611 (NTP, 2017), la población se conformó por 45 muestras, divididas en 3 grupos integrados por 15 especímenes cada uno.

**Muestra:** Fue constituida por 45 probetas de concreto luminiscente, usando los moldes de 20 cm x 10 cm x 6 cm, 15 probetas como grupo de control, 15 probetas con adición del 25% de aluminato de estroncio y 15 probetas con adición del 25% de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, formando 3 grupos para 28 días, las cuales se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1**

Muestras a ensayar por resistencia a la compresión en 28 días

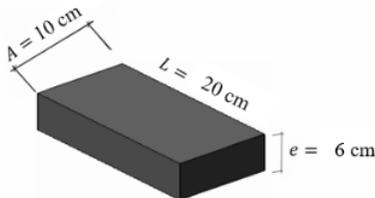
Tipo de pigmento	Nº de probetas	Adición
Grupo control	15	0%
Aluminato de estroncio	15	25%
Sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre	15	25%
Total	45	

Nota. En la tabla 1 se resume el tipo de pigmento para cada muestra y los días de fraguado para adquirir la mayor resistencia.

**Unidad muestral o de análisis:** Una probeta de concreto con adición de aluminato de estroncio o sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre para 28 días de curado.

**Figura 5**

Medidas del adoquín de concreto



Nota. Se visualiza que las dimensiones de las probetas del adoquín de concreto son 20 cm x 10 cm x 6 cm.

## 2.4 Técnicas e instrumentos de recojo de datos

### 2.4.1 Instrumentos de recojo de datos

Los instrumentos empleados para la recolección de datos se realizaron mediante formatos, la cual su elaboración fue en base a la Norma Técnica Peruana 399.611, titulada como “Adoquines de concreto para pavimentos” y Norma Técnica Peruana 400.021 titulada como “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso”, estos aportaron para el ensayo de resistencia de compresión y la absorción de un adoquín de concreto peatonal, y la Norma Española 23035 – 1 “Señalización Fotoluminiscente” para el ensayo de la luminosidad.

## 2.4.2 Técnicas de recojo de datos

El principal objetivo de la investigación fue poder determinar el tipo de pigmento que mejora las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente para uso peatonal, es así que se elaboraron 45 probetas, usando los moldes de 20 x 10 x 6 cm para las muestras a base de concreto con la adición del pigmento fotoluminiscente, además se consideró una distribución de 3 grupos, contando cada uno con 15 probetas con una adición del 25% de aluminato de estroncio, 15 probetas con una adición del 25% de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre en relación del peso del cemento, sumándole a ello el grupo control con 0%.

A continuación, se puede observar los valores límites que se consideró para la realización de esta investigación:

En la tabla 2 se puede visualizar el valor normado de la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto.

**Tabla 2**

Valores mínimos de la resistencia a la compresión

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, min. MPa (kgf/cm <sup>2</sup> )	
		Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I (Patonal)	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥80	55 (561)	50 (510)

*Nota:* En la tabla 2 se puede visualizar los valores mínimos de la resistencia a la compresión respecto a cada tipo de adoquín de concreto. Datos tomados de la NTP 399.611 (2017).

De igual manera, en la tabla 3 se puede observar el valor normado de la absorción de un adoquín de concreto.

**Tabla 3**

Valores máximos de absorción (%)

Tipo de adoquín	Absorción, máx. (%)	
	Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I y II	6	7.5
III	5	7

Nota: En la tabla 3 se puede visualizar los valores máximos del porcentaje de absorción del adoquín de concreto. Datos tomados de la NTP 399.611 (2017).

A continuación, en tabla 4 podemos visualizar la luminancia mínima exigida por la norma UNE 23035-1 (2003), para un tipo de baldosas (pisos), además como nos indica la norma, se considerará una luminancia mínima de 60 mCd/m<sup>2</sup> en un tiempo de 10 minutos. Asimismo, se considerará una luminancia a 7.8 mCd/m<sup>2</sup> en un tiempo de 60 minutos, con un tiempo de atenuación de 900 minutos.

**Tabla 4**

Valores mínimos de luminancia

Variación	Tiempo (minutos)	Luminancia (mCd/m <sup>2</sup> )
Variación 1	10	≥ 60
Variación 2	60	≥ 7.8
Tiempo de atenuación	900	≤ X

Nota: En la tabla 4 se puede visualizar los valores mínimos de luminancia en los productos fotoluminiscentes que van a ser usados en señalizaciones. Datos tomados de Una Norma Española (UNE) 23035 – 1.

El primer paso de la elaboración de las probetas, consistió en seleccionar el material y pesarlo, luego se adicionó el 25% de aluminato de estroncio en 15 probetas, después se adicionó el 25% de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre en 15 probetas, la adición de ambas fue con respecto al peso del cemento en la capa superficial. Posteriormente se utilizó la dosificación 1:1.53:1.34 (cemento – agregado fino – agregado grueso) respecto a las dimensiones de las probetas del volumen, que estuvo compuesto por el cemento Portland tipo MS, en cuanto al agregado fino se consideró arena gruesa y para el agregado

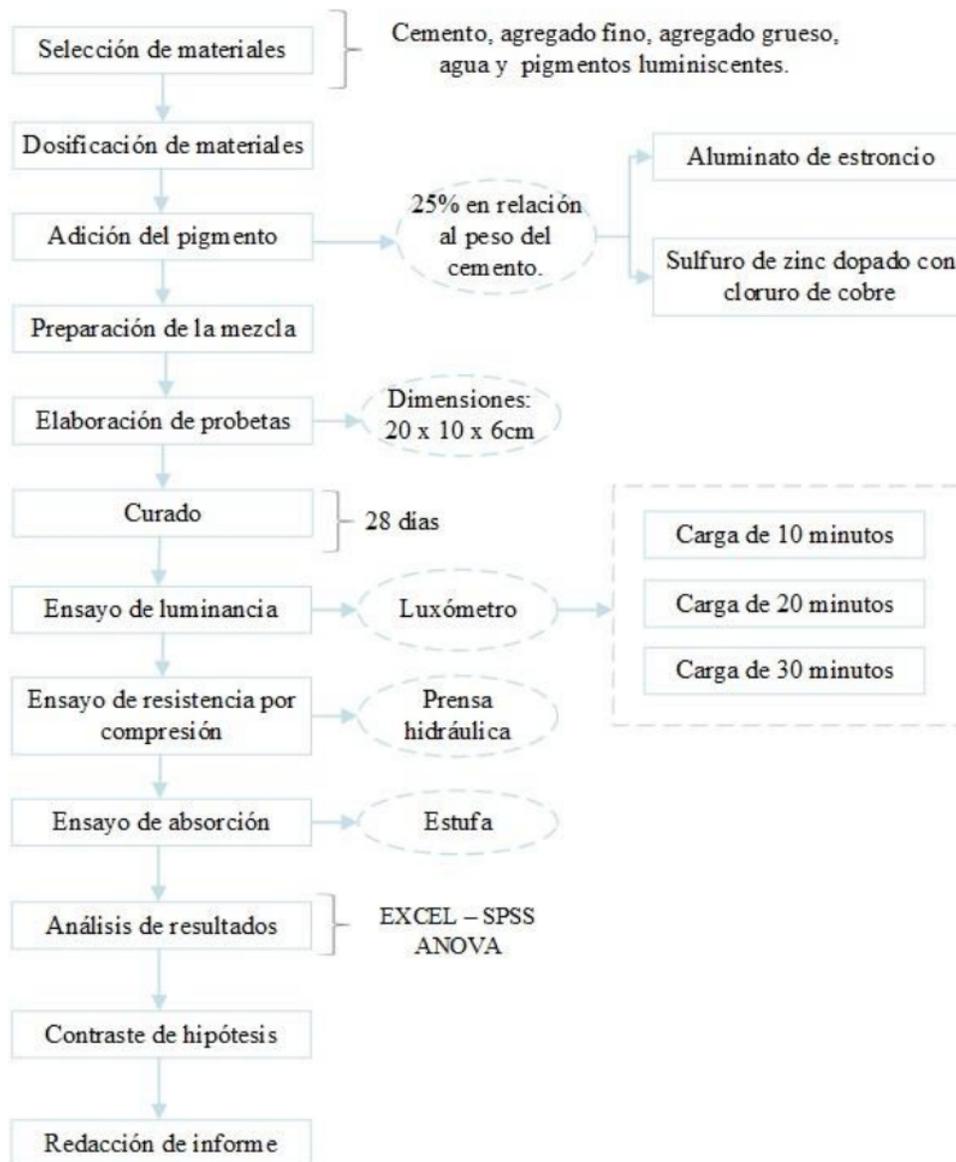
grueso se consideró un confitillo de 1/4", además para la mezcla del concreto se tuvo una relación de agua / cemento de 0.42, con la intención de realizar el grupo control y la adición de los tipos de pigmentos que se incluyeron dentro de las mezclas pasando a ser vaciadas en las probetas, siempre se tuvo en cuenta la limpieza de los moldes a usar y la superficie donde se propuso asentar. Seguidamente, se comenzó el llenado de las probetas, considerando llenarlo en tres capas, cada una con sus respectivos 25 golpes, considerando que el pigmento fotoluminiscente será colocado en la capa superficial. Después de desmoldó las probetas para ingresar a la poza de curado, la cual se introdujo a una temperatura de 20° C +- 5°C y se esperó 28 días para poder realizar los ensayos de luminiscencia, resistencia de compresión y absorción. Al finalizar los ensayos, se analizó los resultados con el SPSS a manera de detallar la información en la respectiva investigación.

Es preciso mencionar que, todo el proceso se realizó en la Universidad Católica de Trujillo – Benedicto XVI, específicamente en el laboratorio de materiales, bajo la supervisión y control de nuestro asesor.

Para un mejor alcance del proceso de la investigación, se desarrolló un diagrama de flujo con la finalidad de ir desde una observación general a específica, como se detalla en la figura 6.

**Figura 6**

*Diagrama de flujo del proceso realizado.*



*Nota.* Se visualiza el proceso desde la realización de las probetas hasta los resultados obtenidos.

Del mismo modo, para la elaboración de las probetas y sus respectivos ensayos, se utilizaron los siguientes equipos:

**Báscula de mesa CBK 70a W/USB ADAM:** Es un instrumento que tiene una capacidad de hasta 32kg, con una lectura mínima de 1 g, y la posición horizontal de la balanza se calibra mediante tornillos nivelantes y una burbuja, es así que es útil para medir la masa de las probetas y realizar los ensayos, como el de resistencia a la compresión y absorción. Cabe mencionar que, a pesar de guardar datos de manera digital, en esta ocasión se registraron los datos de una forma manual.

**Estufa de laboratorio ECOCELL – 111 STANDARD:** Es un equipo que tiene una capacidad de 111 litros, llegando a soportar un peso máximo de muestras de hasta 50 kg, adicional a ello cuenta con una temperatura máxima en el interior de 300°C, es así que, esta estufa cumple los estándares según la Norma ASTM C – 1585 para el ensayo de absorción, el cual se inició con el secado de las muestras a una temperatura de 110 °C por un período inicial de 24 horas.

**Luxómetro YK–2005LX:** Es un instrumento que mide iluminancia en un rango de 0.0 hasta 100 000 lux (lx) mediante el sensor de detección, por la cual fue usado para medir la iluminancia en el tiempo de descarga del adoquín de concreto luminiscente, con el propósito de comparar los resultados obtenidos en referencia de la norma UNE 23025 -1, la cual nos indica los lineamientos mínimos sobre la luminancia para señalización.

**Prensa hidráulica ACCU-TEK 250:** Es un equipo que tiene una capacidad para aplicar una fuerza de hasta 1 112 kN es decir 113 393 kgf , teniendo una exactitud calibrada de 0.5% de la lectura de la probeta ensayada, es así que al cumplir con los lineamientos de las normas ASTM C 39, y AASHTO T-22, fue útil para realizar el ensayo de compresión, centrando la probeta con platinas de acero en el espacio libre vertical y luego digitalizando las dimensiones del adoquín, que en este caso fue de 20 x 10 x 6 cm, para posteriormente tener resultados de las cargas que resiste el espécimen.

## **2.5 Técnica de procesamiento y análisis de información**

El análisis se efectuó a través de gráficos y figuras, además para la comprobación de hipótesis, se usaron las pruebas estadísticas, como el ANOVA (Análisis de Varianza Unidireccional), debido a que existían más de dos grupos y como mínimo la realización de

15 probetas por grupo, posterior a ello, se empleó el post prueba de Tukey, con la intención de conocer si existe o no diferencia significativa, pues es un término que ingresa dentro de los objetivos la investigación presente.

## **2.6 Aspectos éticos en investigación**

Los ensayos y la recolección de los datos se realizaron de manera legal, puesto que no se llegó a alterar ningún dato obtenido, y así se pudo respetar la normativa ética de dicha investigación.

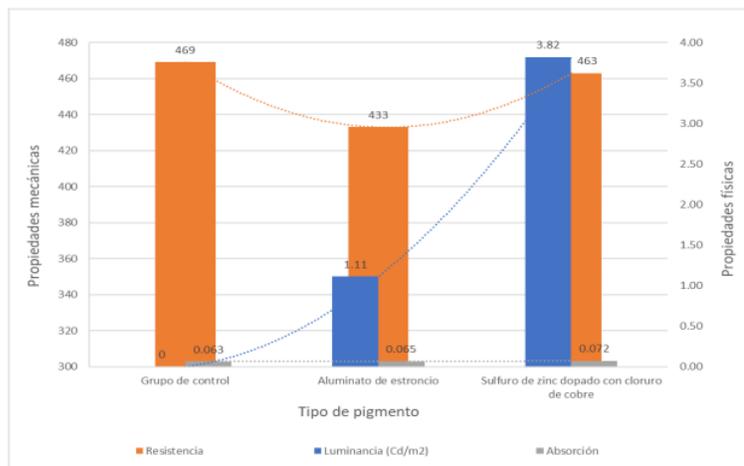
### III. RESULTADOS

#### 3.1. Determinación del tipo de pigmento que mejora las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente

En la figura 7 se visualiza la manera en cómo generó una variación el tipo de pigmento sobre las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente que posteriormente fue expuesto a 10 minutos de luz artificial, las probetas fueron evaluadas mediante los ensayos de resistencia a la compresión, absorción y luminosidad, presentándose el punto más alto en el pigmento de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, además tomando como referencia el grupo de control, las probetas con la adición del pigmento fotoluminiscente presentan una caída en la resistencia a la compresión, sin embargo, se mantiene por encima del valor mínimo 320 kgf/cm<sup>2</sup>, indicado por la norma. Con respecto a la propiedad de luminiscencia, se presenta una baja luminosidad en el aluminato de estroncio comparado con el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre. Asimismo, en relación a la absorción, las muestras cumplen con la absorción individual máxima de 7.5% que debe tener un adoquín de concreto, según la NTP 399.611 (2017).

Figura 7

Relación del tipo de pigmento y las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente expuesto a una carga de 10 minutos.

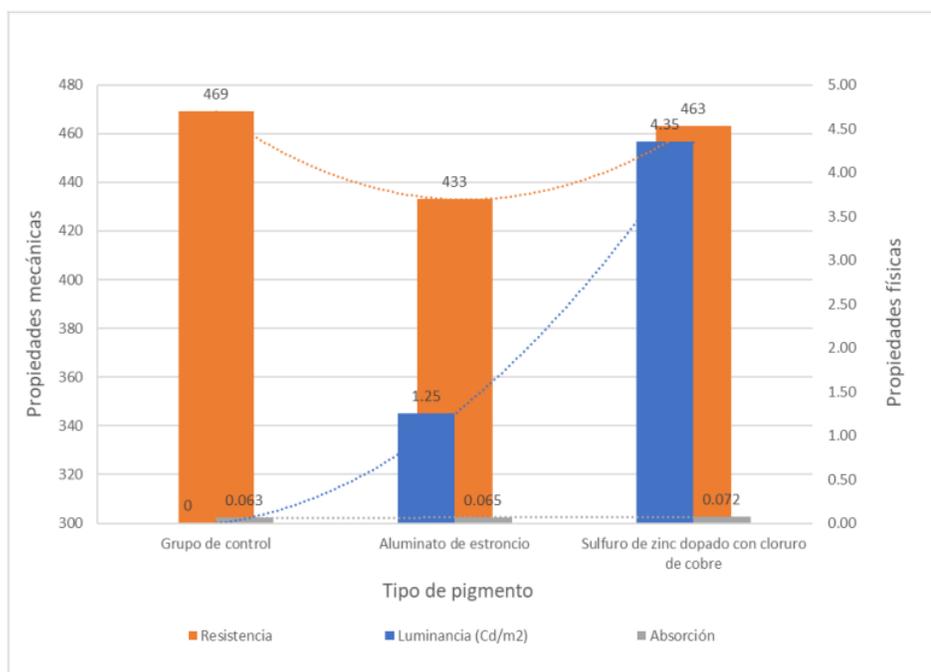


Nota. Elaborado en Excel (2023).

Del mismo modo, en la figura 8 se observa como el tipo de pigmento logró un cambio sobre las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente que posteriormente fue expuesto a 20 minutos de luz artificial. Las probetas pasaron por el ensayo de resistencia a la compresión, absorción y luminosidad, presentándose el punto más alto en las probetas con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre. Además, la resistencia a la compresión es semejante entre probetas, y están por encima del valor máximo normado en la NTP 399.611 (2017). Asimismo, la probeta con aluminato de estroncio presenta un menor tiempo de atenuación en su brillo con respecto al sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre. Finalmente, las muestras cumplen con la absorción individual máxima de 7.5% del adoquín de concreto, sin embargo, la absorción promedio está muy cercano al valor máximo de la norma de 6%.

**Figura 8**

Relación del tipo de pigmento y las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente expuesto a una carga de 20 minutos.

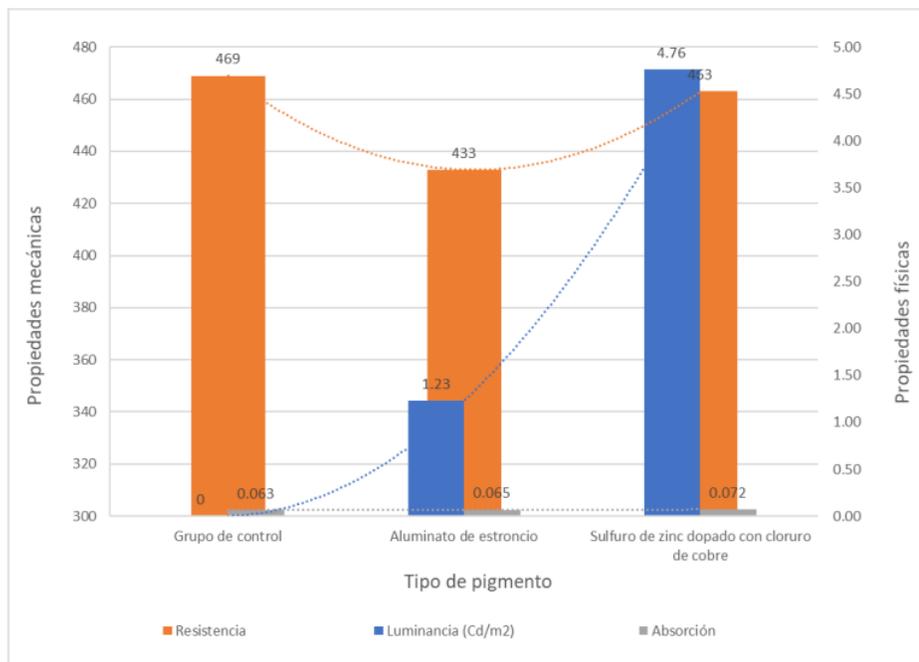


Nota. Elaborado en Excel (2023).

Además, en la figura 9 se observa como el tipo de pigmento generó una variación sobre las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente que posteriormente fue expuesto a 30 minutos de luz artificial. Las probetas pasaron por el ensayo de resistencia a la compresión, absorción y luminosidad, presentándose el punto más alto en la probeta con adición de sulfuro de zinc dopado de cloruro de cobre. Además, la resistencia a la compresión es semejante entre probetas, y están por encima del valor máximo normado en la NTP 399.611 (2017). Asimismo, el valor de luminosidad de 4.76 Cd/m<sup>2</sup> fue el mayor de los 3 ensayos que se realizaron en 10', 20' y 30' de exposición a luz convencional. También, respecto a la absorción cumplen con la absorción individual máxima de 7.5 % del adoquín de concreto, sin embargo, la absorción promedio está muy cercano al valor máximo de la norma de 6%.

**Figura 9**

Relación del tipo de pigmento y las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente expuesto a una carga de 30 minutos.



Nota. Elaborado en Excel (2023).

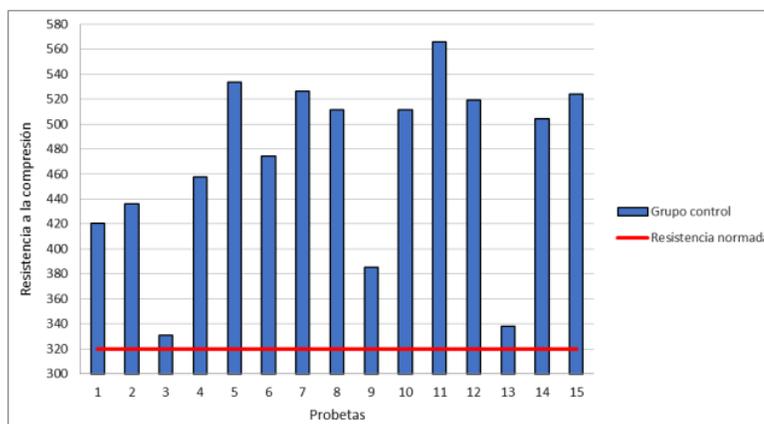
En los resultados anteriormente mostrados, se puede observar que el pigmento que logró un mejor cambio en las propiedades fue el adoquín con la adición del sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, debido a que su valor de la resistencia fue  $463 \text{ kgf/cm}^2$ , de la absorción promedio fue  $7.2\%$  y de la luminosidad con exposición de 30 minutos a luz artificial fue  $4.76 \text{ Cd/m}^2$ , mientras que, del adoquín con la adición del aluminato de estroncio, obtuvo un valor de resistencia a la compresión de  $433 \text{ kgf/cm}^2$ , de absorción promedio fue  $6.5\%$  y de la luminosidad con exposición de 30 minutos a luz artificial fue  $1.23 \text{ Cd/m}^2$ .

### 3.2 Análisis de la variación del tipo de pigmento sobre la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente

En la figura 10 se observa los datos obtenidos del ensayo de la resistencia a la compresión del grupo control, el cual tuvo un curado de 28 días, donde se midió el peso expresado en gramos (g), carga aplicada (kgf), área ( $\text{cm}^2$ ) considerando la sección de  $0.20 \text{ cm}$  y  $0.10 \text{ cm}$ , arrojando unos resultados de resistencia a la compresión en  $\text{kgf/cm}^2$ . Por un lado, es importante mencionar que todas las muestras ensayadas cumplen con los requisitos mínimos exigidos por la NTP 399.611 (2017), que es de  $320 \text{ kgf/cm}^2$ . Por otro lado, los datos obtenidos de las probetas ensayadas obtuvieron un valor mínimo y máximo de  $331 \text{ kgf/cm}^2$  y  $566 \text{ kgf/cm}^2$  respectivamente. Del mismo modo, el promedio de las 15 muestras ensayadas arrojó un valor de  $469 \text{ kgf/cm}^2$ .

**Figura 10**

Resistencia a la compresión del grupo control a la edad de 28 días de curado.

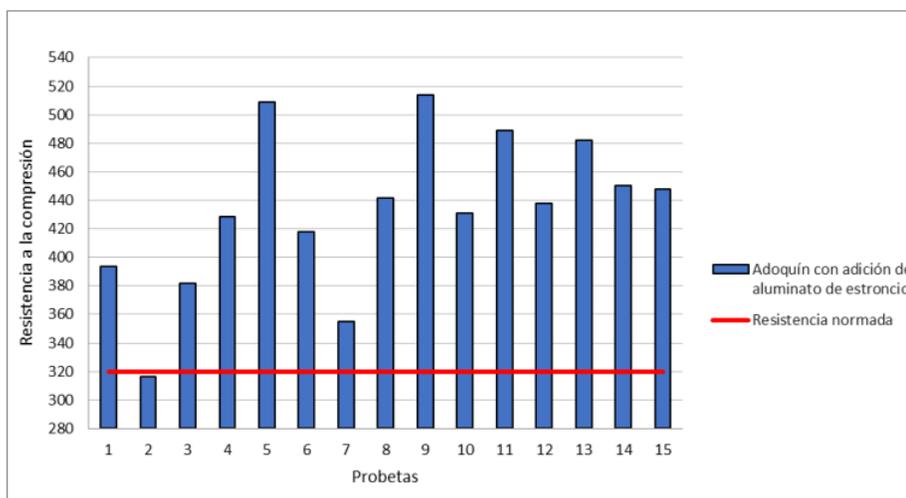


Nota. Datos que fueron obtenidos experimentalmente.

6 Asimismo, en la figura 11 se observa los datos obtenidos del ensayo de la resistencia a la compresión del grupo control, el cual tuvo un curado de 28 días, donde se midió el peso expresado en gramos (g), carga aplicada (kgf), área (cm<sup>2</sup>) considerando la sección de 0.20 cm y 0.10 cm, arrojando unos resultados de resistencia a la compresión en kgf/cm<sup>2</sup>. Por un lado, es importante mencionar que todas las muestras ensayadas cumplen con los requisitos mínimos exigidos por la NTP 399.611 (2017), que es de 320 kgf/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, los datos obtenidos de las probetas ensayadas obtuvieron un valor mínimo y máximo de 316 kgf/cm<sup>2</sup> y 514 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. Del mismo modo, el promedio de las 15 muestras ensayadas arrojó un valor de 433 kgf/cm<sup>2</sup>, presentando un valor menor con respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

2 **Figura 11**

Resistencia a la compresión con adición del aluminato de estroncio a la edad de 28 días de curado.



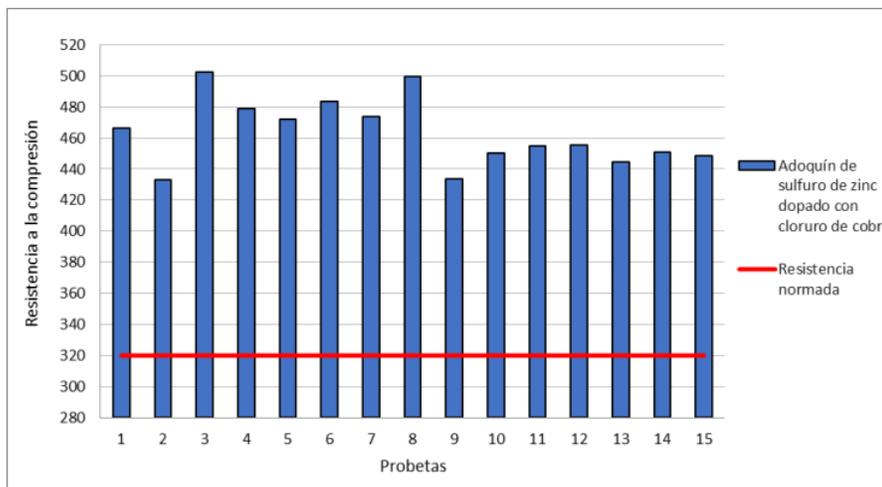
1 Nota. Datos que fueron obtenidos experimentalmente mediante el ensayo de resistencia a la compresión.

De la misma forma, en la figura 12 se observa los datos obtenidos del ensayo de la resistencia a la compresión del grupo control, el cual tuvo un curado de 28 días, donde se midió el peso expresado en gramos (g), carga aplicada (kgf), área (cm<sup>2</sup>) considerando la sección de 0.20 cm y 0.10 cm, arrojando unos resultados de resistencia a la compresión en kgf/cm<sup>2</sup>. Por un lado, es importante mencionar que todas las muestras ensayadas cumplen

4 con los requisitos mínimos exigidos por la NTP 399.611 (2017), que es de 320 kgf/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, los datos obtenidos de las probetas ensayadas obtuvieron un valor mínimo y máximo de 433 kgf/cm<sup>2</sup> y 502 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. Del mismo modo, el promedio de las 15 muestras ensayadas arrojó un valor de 463 kgf/cm<sup>2</sup>, presentando un valor mayor con respecto a la resistencia promedio con el grupo de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.

2 **Figura 12**

Resistencia a la compresión con adición del sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre a la edad de 28 días de curado.

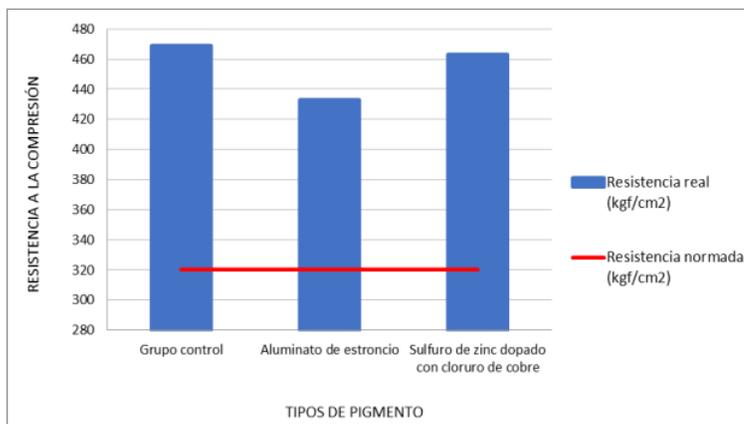


Nota. Datos que fueron obtenidos experimentalmente mediante el ensayo de resistencia a la compresión.

1 En base a lo mencionado, en la figura 13 se visualiza la variación que existe de la resistencia a la compresión del adoquín de uso peatonal en sus tres tipos (grupo control, adición de aluminato de estroncio y adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre). Donde los tres grupos de muestras ensayadas superan ampliamente la resistencia a la compresión requerida por la norma, 320 kgf/cm<sup>2</sup>. Asimismo, se puede evidenciar que el adoquín con adición de aluminato de estroncio presenta un promedio de 433 kgf/cm<sup>2</sup>, el cual representa un valor por debajo del grupo control y del sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.

**Figura 13**

Resistencia a la compresión promedio con adición de pigmentos fotoluminiscentes a la edad de 28 días de curado.



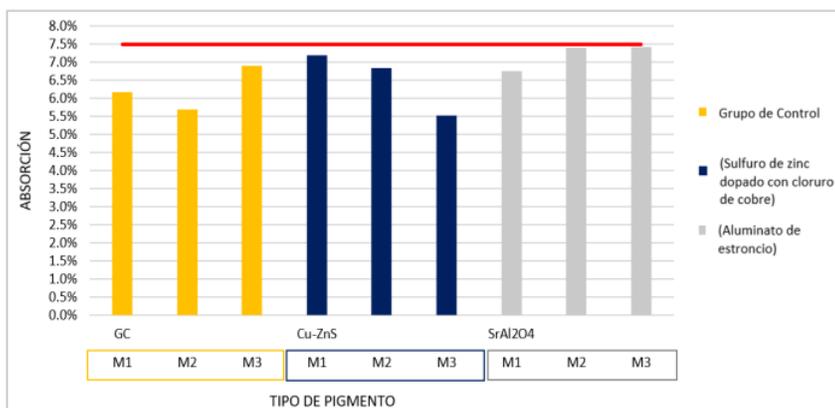
Nota. Elaborado en Excel (2023).

### 3.3 Análisis de la variación del tipo de pigmento sobre la absorción de un adoquín de concreto luminiscente

En la figura 14 se puede evidenciar la variación en la absorción que hay entre las muestras, la cuales se observa que en cada de una de los especímenes no se supera la absorción máxima individual de un adoquín de concreto, según NTP 399.611 (2017).

**Figura 14**

Absorción individual con adición de pigmentos fotoluminiscentes a la edad de 28 días de curado.

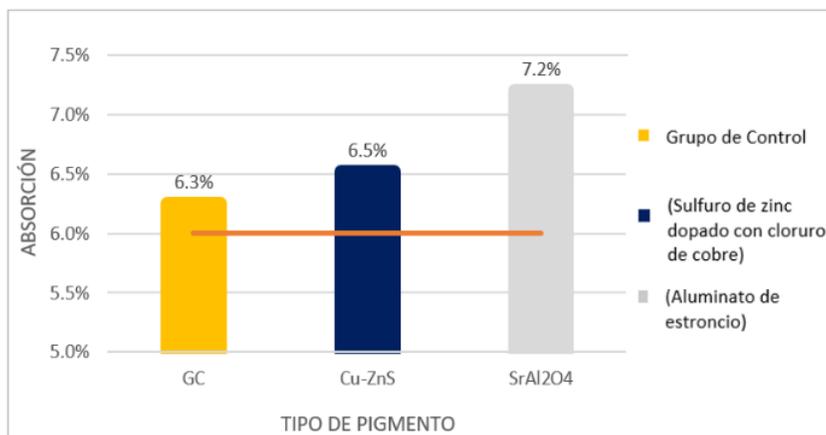


Nota. Elaborado en Excel (2023).

De la misma forma, la figura 15 muestra la variación que existe en las tres muestras en el ensayo de absorción del concreto, notándose un aumento considerable en las probetas con adición de aluminato de estroncio siendo el promedio de 7.2% en comparación al valor máximo normado. Es preciso mencionar que, las tres muestras ensayadas no cumplen con los requisitos mínimos exigidos por la NTP 399.611, el cual es de 6% la absorción del concreto en promedio de tres unidades. Asimismo, las muestras de grupo control, adición con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y aluminato de estroncio superan en un 0.3%, 0.5% y 1.2% respecto al máximo normado.

**Figura 15**

*Absorción promedio con adición de pigmentos fotoluminiscentes a la edad de 28 días de curado.*



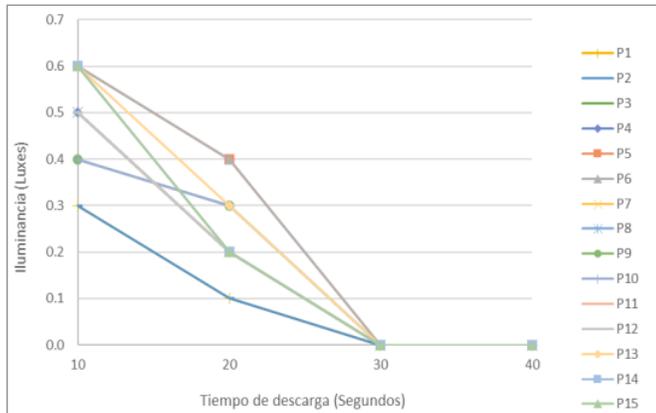
*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

### 3.1 Análisis de la variación del tipo de pigmento sobre la luminosidad de un adoquín de concreto luminiscente

En la figura 16, se evidencia el comportamiento de iluminancia de un adoquín con adición de aluminato de estroncio, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 10 minutos. El valor mayor de iluminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 0.6 luxes, para 20 segundos fue de 0.4 luxes y para los 30 segundos todas las probetas llegaron a 0.0 luxes, asimismo estos fueron medidos con un luxómetro de un decimal de resolución.

14  
**Figura 16**

*Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuesto a una carga de 10 minutos.*

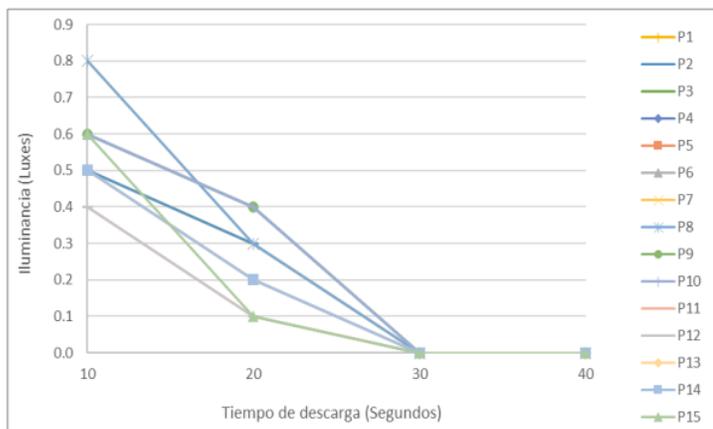


*Nota.* Elaborado en Excel 2023.

De la misma forma en la figura 17, se evidencia el comportamiento de iluminancia de un adoquín con adición de aluminato de estroncio, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 20 minutos. El valor mayor de iluminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 0.8 luxes, para 20 segundos fue de 0.4 luxes y para los 30 segundos todas las probetas llegaron a 0.0 luxes.

**Figura 17**

*Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuesto a una carga de 20 minutos.*

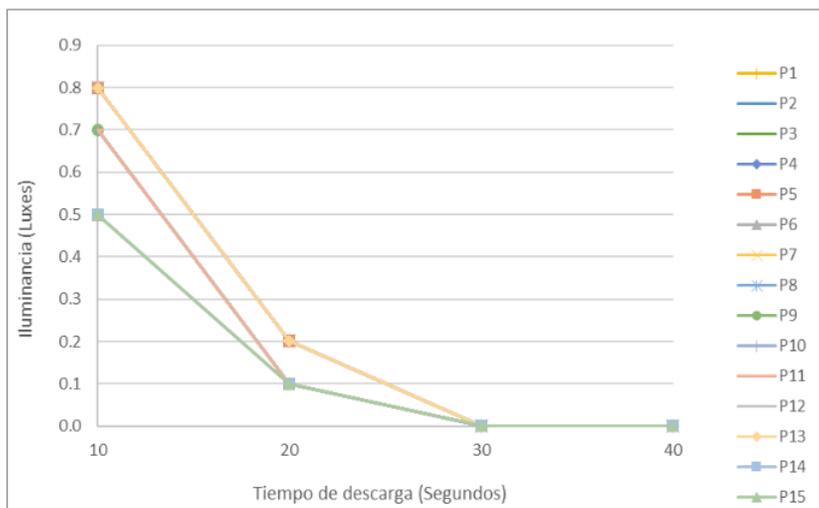


*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

Del mismo modo en la figura 18, se evidencia el comportamiento de iluminancia de un adoquín con adición de aluminato de estroncio, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 30 minutos. El valor mayor de iluminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 0.8 luxes, para 20 segundos fue de 0.2 luxes y para los 30 segundos todas las probetas llegaron a 0.0 luxes.

**Figura 18**

*Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuesto a una carga de 30 minutos.*



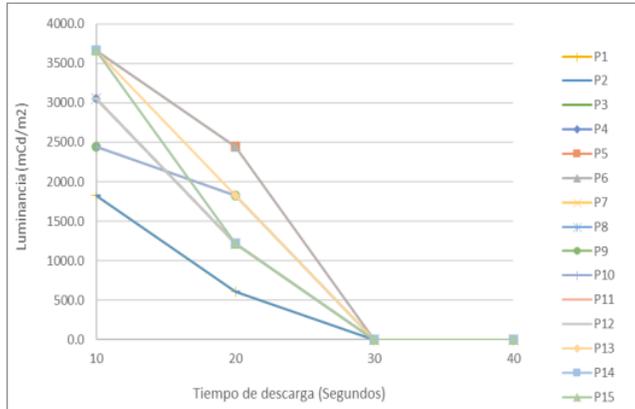
*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

Por otro lado, después de hacer la conversión de luxes hacia mCd/m<sup>2</sup> se obtuvieron los valores mostrados en la figura 19, donde se evidencia el comportamiento de la luminancia de un adoquín con adición de aluminato de estroncio, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 10 minutos. El valor mayor de luminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 3659 mCd/m<sup>2</sup>, para 20 segundos fue de 2439.3 mCd/m<sup>2</sup> y para los 30 segundos todas las probetas llegaron a 0.0 mCd/m<sup>2</sup>.

24

**Figura 19**

*Luminancia de los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuestos a una carga de 10 minutos.*

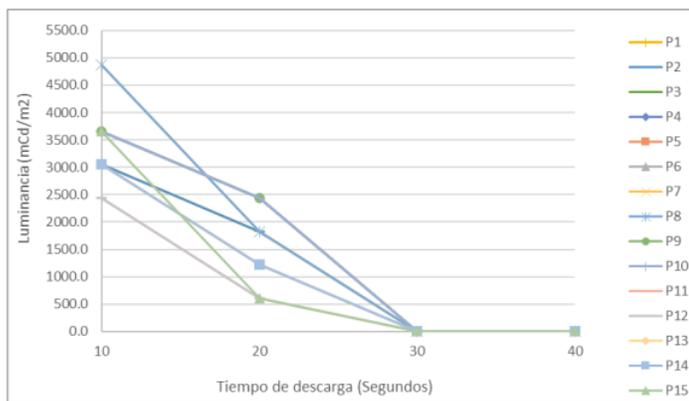


*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

Asimismo, después de hacer la conversión de luxes hacia mCd/m<sup>2</sup> se obtuvieron los valores mostrados en la figura 20, donde se evidencia el comportamiento de la luminancia de un adoquín con adición de aluminato de estroncio, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 20 minutos. El valor mayor de luminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 4878.6 mCd/m<sup>2</sup>, para 20 segundos fue de 2439.3 mCd/m<sup>2</sup> y para los 30 segundos las probetas llegaron a 0.0 mCd/m<sup>2</sup>.

**Figura 20**

*Luminancia de los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuestos a una carga de 20 minutos.*

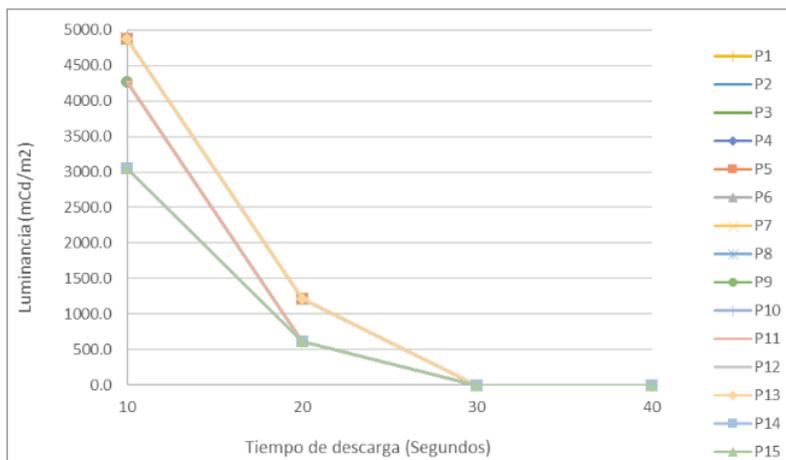


*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

Además, después de hacer la conversión de luxes hacia mCd/m<sup>2</sup> se obtuvieron los valores mostrados en la figura 21, donde se evidencia el comportamiento de la luminancia de un adoquín con adición de aluminato de estroncio, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 30 minutos. El valor mayor de luminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 4878.6 mCd/m<sup>2</sup>, para 20 segundos fue de 1219.7 mCd/m<sup>2</sup> y para los 30 segundos todas las probetas llegaron a 0.0 mCd/m<sup>2</sup>.

**Figura 21**

*Luminancia de los adoquines con adición de aluminato de estroncio expuestos a una carga de 30 minutos.*

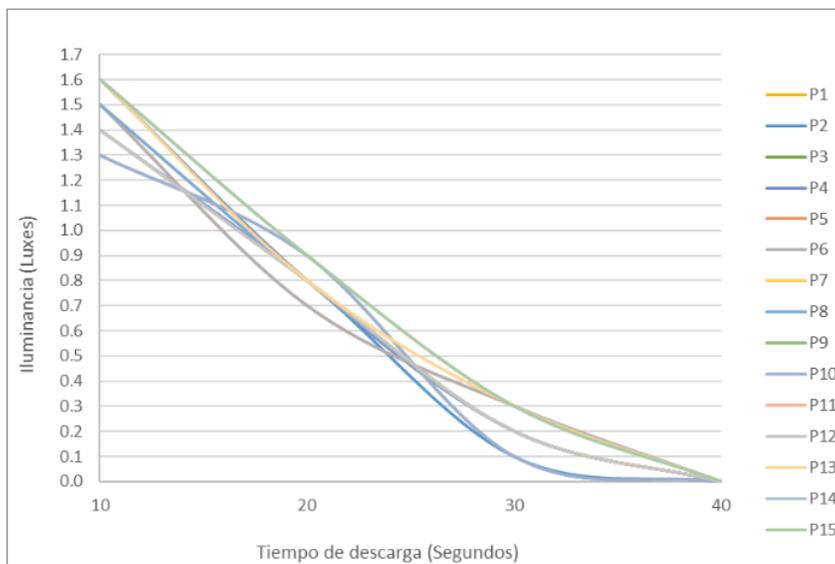


*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

En la figura 22, se evidencia el comportamiento de iluminancia de un adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 10 minutos. El valor mayor de iluminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 1.6 luxes, para 20 segundos fue de 0.9 luxes y para los 30 segundos todas las probetas llegaron a 0.3 luxes, asimismo estos fueron medidos con un luxómetro de un decimal de resolución.

**Figura 22**

*Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuesto a una carga de 10 minutos.*

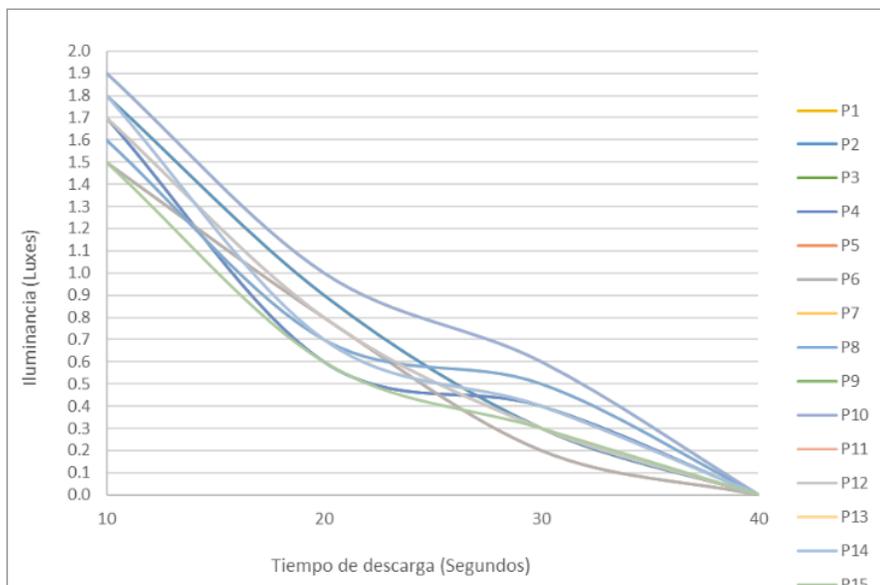


*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

De la misma forma en la figura 23, se observa el comportamiento de iluminancia de un adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 20 minutos. El valor mayor de iluminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 1.9 luxes, para 20 segundos fue de 1.0 luxes y para los 30 segundos todas las probetas llegaron a 0.6 luxes, asimismo estos fueron medidos con un luxómetro de un decimal de resolución.

**Figura 23**

*Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuesto a una carga de 20 minutos.*



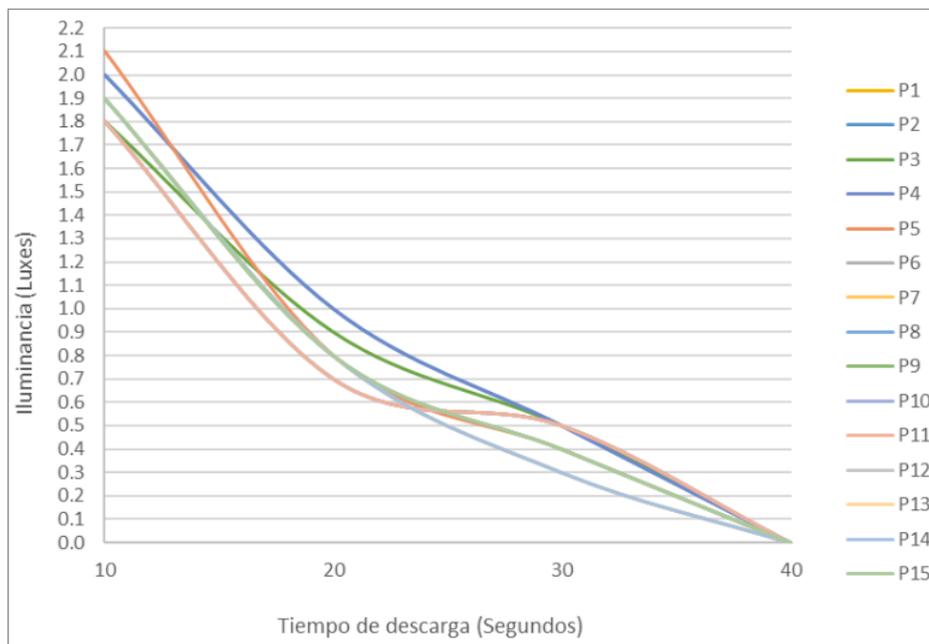
*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

36

Del mismo modo en la figura 24, se observa el comportamiento de iluminancia de un adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 30 minutos. El valor mayor de iluminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 2.1 luxes, para 20 segundos fue de 1.0 luxes y para los 30 segundos todas las probetas llegaron a 0.5 luxes, asimismo estos fueron medidos con un luxómetro de un decimal de resolución.

**Figura 24**

*Ensayo de iluminancia realizado a los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuesto a una carga de 30 minutos.*

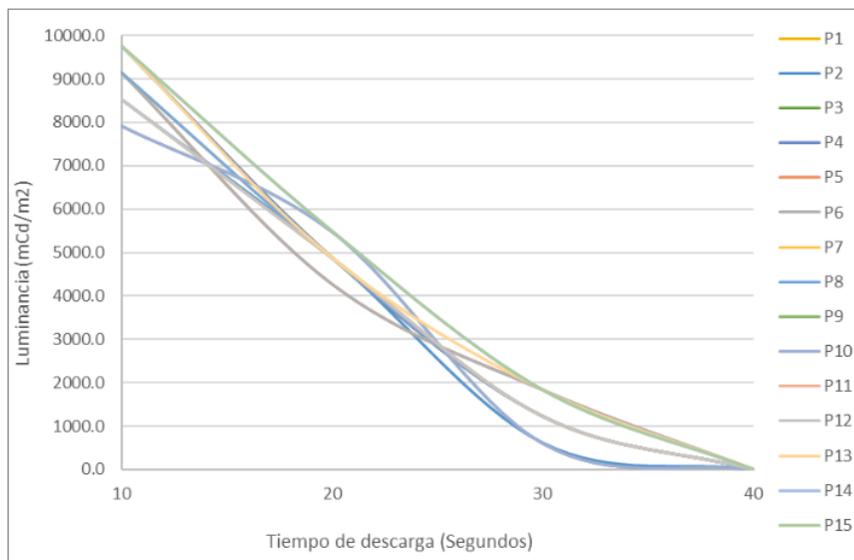


*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

Por otro lado, después de hacer la conversión de luxes hacia mCd/m<sup>2</sup> se obtuvieron los valores mostrados en la figura 25, donde se evidencia el comportamiento de la luminancia de un adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 10 minutos. El valor mayor de luminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 9757.3 mCd/m<sup>2</sup>, para 20 segundos fue de 5488.5 mCd/m<sup>2</sup>, para 30 segundos fue de 1829.5 mCd/m<sup>2</sup> y para los 40 segundos todas las probetas llegaron a 0.0 mCd/m<sup>2</sup>.

**Figura 25**

Luminancia de los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuestos a una carga de 10 minutos.

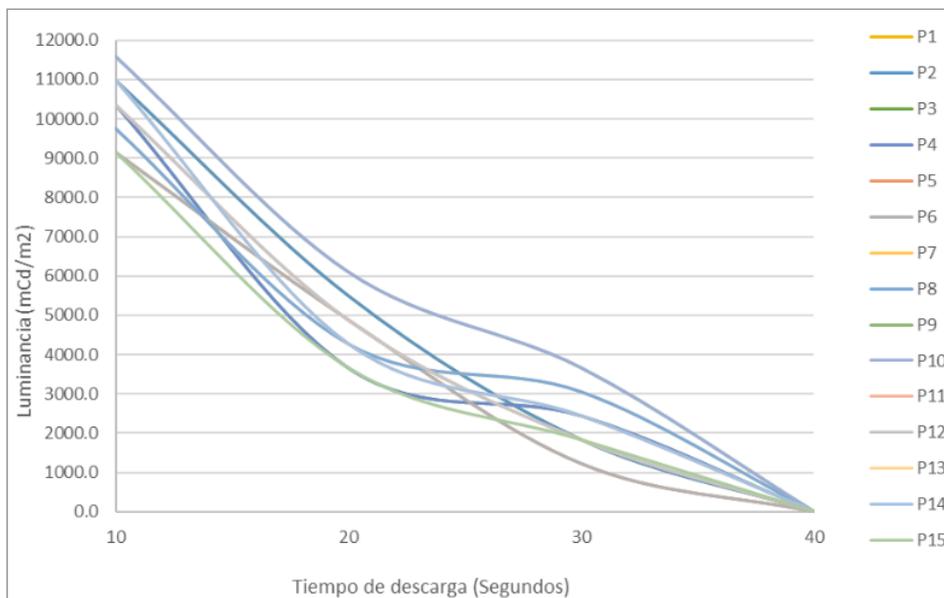


*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

Asimismo, después de hacer la conversión de luxes hacia mCd/m<sup>2</sup> se obtuvieron los valores mostrados en la figura 26, donde se evidencia el comportamiento de la luminancia de un adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 20 minutos. El valor mayor de luminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 11586.8 mCd/m<sup>2</sup>, para 20 segundos fue de 6098.3 mCd/m<sup>2</sup>, para 30 segundos fue de 3659.0 mCd/m<sup>2</sup> y para los 40 segundos todas las probetas llegaron a 0.0 mCd/m<sup>2</sup>.

**Figura 26**

*Luminancia de los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuestos a una carga de 20 minutos.*

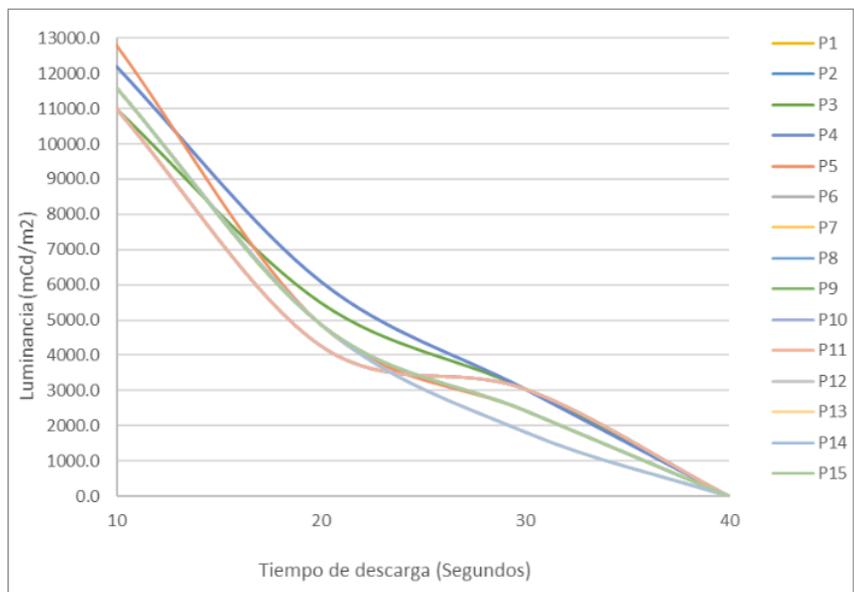


*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

Además, después de hacer la conversión de luxes hacia mCd/m<sup>2</sup> se obtuvieron los valores mostrados en la figura 27, donde se evidencia el comportamiento de la luminancia de un adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, en función del tiempo, el cual fue expuesto a una fuente de luz artificial durante 30 minutos. El valor mayor de luminancia para un tiempo de atenuación de 10 segundos fue de 12 806.5 mCd/m<sup>2</sup>, para 20 segundos fue de 6098.3 mCd/m<sup>2</sup>, para 30 segundos fue de 3049.2 mCd/m<sup>2</sup> y para los 40 segundos todas las probetas llegaron a 0.0 mCd/m<sup>2</sup>.

**Figura 27**

*Luminancia de los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre expuestos a una carga de 30 minutos.*



*Nota.* Elaborado en Excel (2023).

### 3.5 Comparación del costo de un adoquín de concreto tipo I de 60 mm con un adoquín de concreto luminiscente

En la tabla 5 se visualiza los precios del adoquín para uso peatonal comercial, grupo control, adoquín con adición de aluminato de estroncio y adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, los cuales son S/ 1.50, S/ 1.10, S/ 10.10 y S/ 63.24 respectivamente. Además, se puede visualizar un aumento de precio por la adición de aluminato de estroncio y sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre respecto al adoquín tipo I de 60 mm. Es preciso mencionar que, los precios para un m<sup>2</sup> de pavimento articulado, de adoquín comercial, grupo control, adoquín con adición de aluminato de estroncio y adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, por 1m<sup>2</sup> o 50 unidades es de S/ 75.00, S/ 55.00, S/ 505.00 y S/ 3162.00, respectivamente.

**Tabla 5**

Costo de unidades <sup>2</sup> de adoquín comercial, grupo control, adoquín con adición del aluminato de estroncio y del <sup>2</sup> sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.

Comparación de costos de adoquines			
Adoquín	1und	15und	50und
Adoquín comercial	1.50	22.5	75
Grupo Control	1.10	16.50	55
Aluminato de Estroncio	10.10	151.50	505
Sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre	63.24	948.6	3162

*Nota.*

Elaborado en Excel (2023).

### 3.6 Prueba de hipótesis

#### <sup>1</sup> 3.6.1 Determinación del tipo de pigmento que mejora las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente.

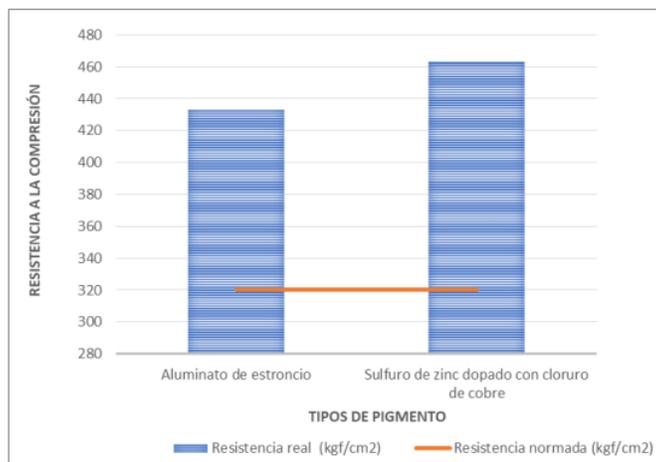
En la figura 28, 29 y 30 se visualiza la influencia <sup>1</sup> del tipo de pigmento que mejora <sup>1</sup> las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente, puesto que mediante <sup>1</sup> los ensayos de resistencia a la compresión, luminosidad y absorción respectivamente, <sup>4</sup> se pudo obtener <sup>4</sup> datos respecto a las propiedades físicas y mecánicas de un adoquín de concreto luminiscente, donde se observa que, de los dos grupos ensayados con diferente tipo de pigmentos, el adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre es el que obtiene el mejor promedio de ambos llegando a 463 kgf/cm<sup>2</sup>. Asimismo, se pudo evaluar que, a mayor tiempo de exposición a una fuente de luz artificial, se obtuvo un mayor tiempo de atenuación; es así que al exponer los adoquines con adición de pigmentos fotoluminiscentes a una carga de 30 minutos, <sup>2</sup> el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre es quien obtiene valores mayores, por lo que al realizar la medida después de 10 segundos de atenuación se obtuvo un máximo valor de 12 806.5 mCd/m<sup>2</sup>, a 20 segundos un máximo valor de 6098.3 mCd/m<sup>2</sup>, a 30 segundos un máximo valor de 3049.2 mCd/m<sup>2</sup>, a 40 segundos un valor de 0,0 mCd/m<sup>2</sup>. Además, según el valor de absorción promedio máximo de 6% que requiere la norma, se

puede evidenciar que el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, es el pigmento más cercano a cumplir, pues arrojó 6.5% de absorción promedio.

Ante lo mencionado, se pudo comprobar que el pigmento que mejora las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente no es el aluminato de estroncio, sino es el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.

**Figura 28**

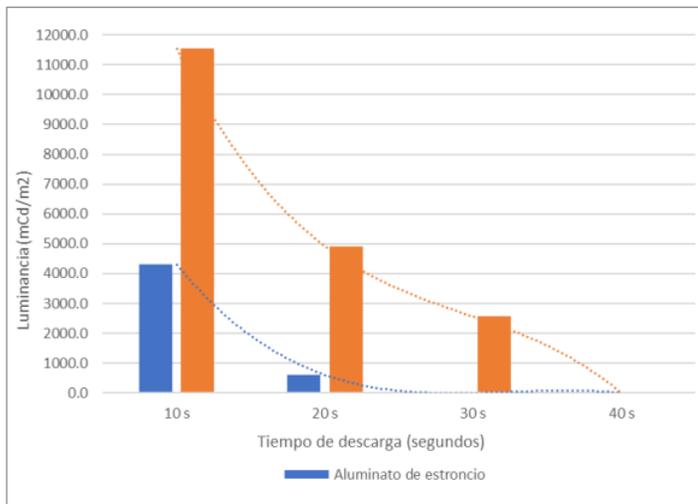
*Promedio de la resistencia a la compresión.*



Nota. Elaborado en Excel (2023).

**Figura 29**

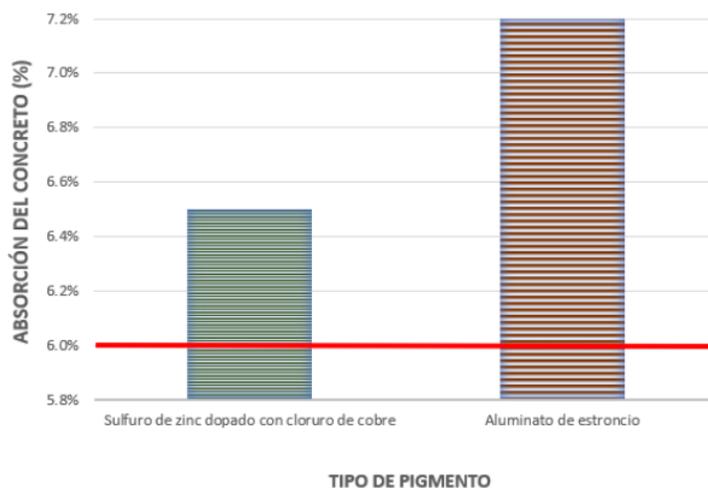
*Promedio de luminancia (mCd/m2) expuesto a una carga de 30 minutos vs tiempo de descarga.*



Nota. Elaborado en Excel (2023).

**Figura 30**

Absorción promedio máximo de los pigmentos fotoluminiscentes.



Nota. Elaborado en Excel (2023).

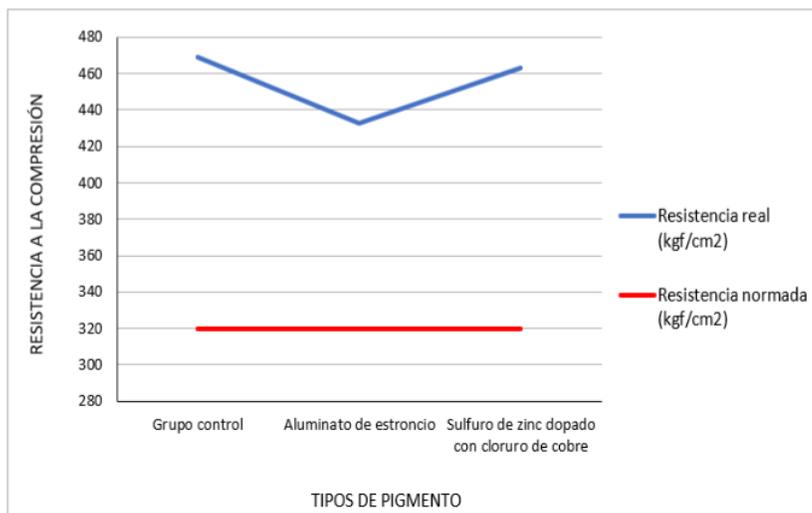
### 3.6.2 <sup>3</sup> Análisis de la variación del tipo de pigmento sobre la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente.

En la figura 31 se evidencia las tres muestras ensayadas, adoquines del grupo control, adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y adoquines

con adición de aluminato de estroncio, los cuales llegan a superar lo exigido por la NTP 399.611 en cuanto a resistencia a la compresión, el cual establece un valor mínimo de 320 kgf/cm<sup>2</sup> para un adoquín tipo I de 60 mm. Así mismo, se puede ver que el valor de 433 kgf/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión para el adoquín con adición de aluminato de estroncio es más bajo en comparación con los dos grupos anteriormente mencionados.

**Figura 31**

Resistencia a la compresión promedio con adición de pigmentos fotoluminiscentes a la edad de 28 días de curado.



Nota. Elaborado en Excel (2023).

Además, la comprobación de la hipótesis de este objetivo se realizó mediante el ANOVA unidireccional con un nivel de significancia de 0.05 y luego se hizo la post prueba

de Tukey. Cabe mencionar que, el ANOVA se realiza cuando se utiliza más de dos grupos y Tukey para decidir si la diferencia entre los grupos evaluados es significativa o no.

Del mismo modo, en la tabla 6 se visualiza el resultado de la prueba de ANOVA realizado para 45 probetas, estas se ensayaron para determinar la resistencia a la compresión con la adición de pigmentos fotoluminiscentes a la edad de 28 días de curado, además en los datos obtenidos se puede observar un nivel de significancia de 0.159, que al compararse con el valor de significancia de 0.05, se observa que el valor encontrado es superior, es por esta razón que se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alterna ( $H_1$ ), detallando que no existe una variación en la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, es decir, las probetas estadísticamente son iguales.

**Tabla 6**

Prueba de ANOVA para la resistencia a la compresión de los adoquines respecto al tipo de pigmento sobre la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente a la edad de 28 días.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Entre grupos	11287,646	2	5643,823	1,922	,159
Dentro de grupos	123307,485	42	2935,893		
Total	134595,131	44			

Nota. Elaborado en IBM SPSS (2023)

De igual forma, en la tabla 7 se evidencia el post prueba de Tukey, en esta se visualiza que no existe una diferencia significativa entre los grupos evaluados, es por esta razón que se optó por evaluar los costos de adición del tipo de pigmento en cada probeta, para determinar el tipo de pigmento ideal.

**Tabla 7**

<sup>1</sup> Prueba de TUKEY para la resistencia a la compresión en kg/cm<sup>2</sup> respecto del tipo de pigmento sobre <sup>16</sup> la resistencia a la compresión de un adoquín de concreto luminiscente a la edad de 28 días.

Pigmento	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Aluminato de estroncio	15	432,9790
Sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre	15	463,1977
GC	15	469,1570
Sig.		0,173

Nota. Elaborado en IBM SPSS (2023)

### <sup>1</sup> 3.6.3 Análisis de la variación del tipo de pigmento sobre la absorción de un adoquín de concreto luminiscente.

En la figura 32 se evidencia que las tres muestras ensayadas, grupo control, adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y adoquines con adición de aluminato de estroncio, según la norma peruana, superan el valor promedio máximo de absorción, que es 6%. Asimismo, en este ensayo se puede observar que existe un aumento significativo en los adoquines con adición de aluminato de estroncio, obteniendo un promedio de 7.20%. Además, la adición de este tipo de pigmento fotoluminiscente supera el límite en promedio de absorción de 3 especímenes, puesto que debería ser como máximo 6%. Es así que, se observa la variación que existe de tipo de pigmento sobre la absorción de un adoquín de concreto luminiscente.

#### Figura 32

*Promedio de la absorción del grupo control, adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y adoquines con aluminato de estroncio.*



Nota. Elaborado en Excel (2023)

Adicionalmente, en la tabla 8 se visualiza el resultado de la prueba de ANOVA realizado para 9 probetas, estas se ensayaron para determinar la absorción de un adoquín luminiscente con la adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y con la adición de aluminato de estroncio. Asimismo, en los datos obtenidos se puede observar un nivel de significancia de 0.266, que comparando con el valor de significancia planteado (0.05), se visualiza que es superior, es por esta razón que se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alterna ( $H_1$ ), detallando estadísticamente que no existe variación en la absorción de un adoquín de concreto luminiscente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.

**Tabla 8**

Prueba de ANOVA para la absorción del concreto de un adoquín luminiscente con adicción de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre y/o aluminato de estroncio.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Entre grupos	1.416	2	,708	1,667	,266
Dentro de grupos	2,547	6	,424		
Total	3,962	8			

Nota. Elaborado en IBM SPSS (2023)

### 3.6.4 <sup>1</sup> Análisis de la variación del tipo de pigmento sobre la luminosidad de un adoquín de concreto luminiscente.

No aplica.

### 3.6.5 Comparación del costo de un adoquín de concreto tipo I de 60 mm con un adoquín de concreto luminiscente.

En la tabla 9 se visualiza costo por 1m<sup>2</sup> de un adoquín para uso peatonal comercial, grupo control, adoquín con adición de aluminato de estroncio y adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre. Cabe mencionar que, según la figura 33, el costo normalizado de cada adoquín está dado con respecto a un adoquín para uso peatonal comercial. Es así que, el costo de un metro cuadrado de adoquín con adición de aluminato de estroncio está alrededor de 6.73 veces el costo del adoquín comercial, y el costo del adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre es 42.16 veces el costo de 1 m<sup>2</sup> de adoquín comercial. Asimismo, entre los adoquines que tienen una adición de pigmento fotoluminiscente, el que tiene más costo es el adoquín que contiene sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, el cual tiene un costo por m<sup>2</sup> (50 adoquines) de S/. 3162. Ante lo mencionado, <sup>19</sup> se puede inferir que se rechaza la hipótesis nula H<sub>0</sub> y se acepta la hipótesis alterna H<sub>1</sub>, detallando que existe diferencia en el costo de un adoquín tipo I de 60 mm con un adoquín de concreto luminiscente, es decir, estadísticamente no todos son iguales.

**Tabla 9**

*Costo de unidades de probetas de grupo control, adoquín con adición de aluminato de estroncio y adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre respecto al adoquín comercial.*

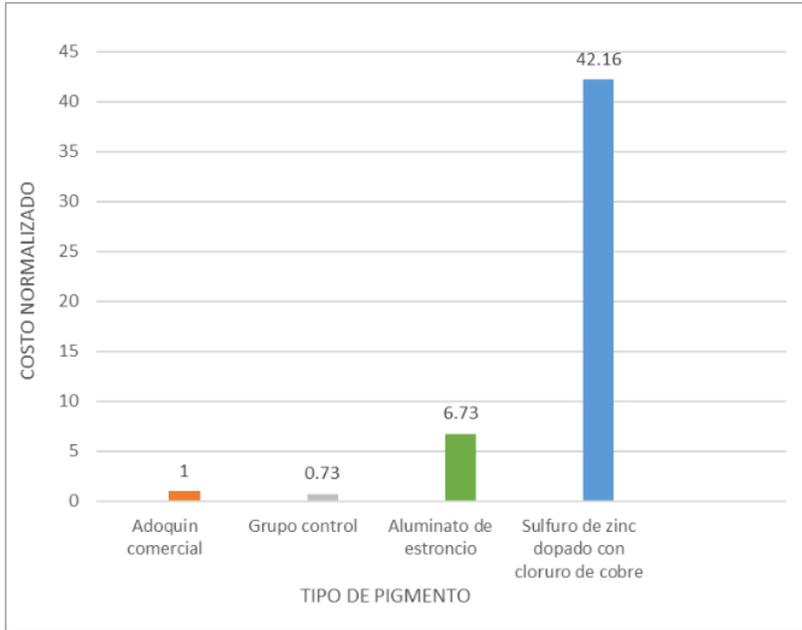
Comparación de costos de adoquín		
Adoquín	Costo por 1m <sup>2</sup>	Costo normalizado
Adoquín comercial	75	1
Grupo Control	55	0.73
Aluminato de Estroncio	505	6.73

Sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre	3162	42.16
---	------	-------

Nota. Elaborado en Excel (2023)

**Figura 33**

Costo normalizado de unidades de probetas con respecto al adoquín de concreto comercial.



Nota. Elaborado en Excel (2023)

**IV. DISCUSIÓN**

La realización de probetas de un adoquín de concreto con adición de pigmentos fotoluminiscentes, como el aluminato de estroncio y sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, permitieron conseguir datos y observar que actúan de distinta manera respecto a sus propiedades físicas (absorción y luminiscencia); sin embargo, en sus propiedades mecánicas (resistencia a la compresión) tienen cierta similitud, pues ambos se encuentran por encima de la resistencia normada. Además, el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre aporta

mucho en la propiedad de la luminosidad y con una fuente de iluminación de foco LED que es más eficiente. Así como lo manifestó Medina y Moreno (2018), quienes demostraron que la adición de pigmentos fotoluminiscentes (sulfuro de zinc), aumentan considerablemente la propiedad luminosa de un concreto simple cumpliendo ampliamente con los requerimientos mínimos que exige la norma UNE 23035.

Evaluando la resistencia a la compresión respecto al tipo de pigmento, se logró demostrar que la resistencia del adoquín luminiscente no se desvía de manera abrupta en sus resultados en comparación con el grupo control, es así que con la adición del sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre adquiere una resistencia a la compresión de 463 kgf/cm<sup>2</sup> y con la adición de aluminato de estroncio resultó un valor de 433 kgf/cm<sup>2</sup>; sin embargo, en esta investigación, a pesar de que la resistencia a la compresión con la adición de los tipos de pigmentos mencionados, no ha aumentado con respecto al grupo de control, todavía son valores por encima del máximo de lo que requiere la norma peruana. Además, Medina y Moreno (2018) al realizar un ensayo de resistencia a la compresión con distintas dosificaciones de material fotoluminiscente, lograron observar que existía similitud en sus resultados. Del mismo modo, Machai y Maldonado (2023) mencionaron que, la incorporación del aluminato de estroncio no afecta significativamente al ensayo de resistencia a la compresión de un adoquín.

Según la NTP 399.611 (2017), la absorción de un adoquín de concreto de manera individual debe ser como máximo 7.5%, pero en promedio de 3 probetas debe ser como máximo 6%; en esta investigación, las probetas de manera individual si cumplen con el porcentaje máximo; sin embargo, en promedio los adoquines con adición de aluminato de estroncio arrojan 7.2 % y los de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre arrojan 6.5 %, es así que el más cercano a lo que indica la normativa peruana es el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre; por otro lado, es importante mencionar que la norma NTC 2017 indica que el porcentaje individual debe ser como máximo 8% y en promedio máximo de 7%, es decir, los adoquines con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre cumplirían de manera individual y en promedio con los valores máximos de absorción respecto a esta norma, caso contrario sucede con los adoquines con aluminato de estroncio, pues cumplen de manera individual, pero en valor máximo promedio no. Cabe mencionar que, según Álvarez y Guachamín (2020), la absorción depende de la resistencia climática de acuerdo a la ubicación geográfica.

Con respecto a la luminosidad del adoquín con adición del pigmento fotoluminiscente, los resultados mostrados del ensayo realizado con el adoquín con adición del aluminato de estroncio fueron realizados con una fuente de 500 watts del reflector halógeno; sin embargo, es importante aclarar que este adoquín bajo una fuente de 15 watts de un foco LED no tuvo éxito en el ensayo. Caso contrario, fue el del adoquín con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, en el cual los resultados positivos se obtuvieron con la fuente de iluminación LED de 15 watts. Además, la razón que con determinada fuente de luz no se tenga éxito para un adoquín u otro, se puede deber a las proporciones utilizadas de pigmento fotoluminiscentes, a la naturaleza química de los pigmentos o a la temperatura a la que se somete el adoquín cuando está siendo iluminado con una fuente de luz, esto se tendría que corroborar en futuros ensayos, los cuales se encuentran fuera del alcance del objetivo de esta tesis. Cabe mencionar que, según Buitrago y Cardenas (2018), el clima cálido con una radiación solar más intensa aporta a que el tiempo de luminancia sea mayor, por ende, ofrece mayor eficiencia a comparación del clima nublado, asimismo, resaltó que la cantidad de pigmento fotoluminiscente también influye en la luminosidad de las briquetas, es decir, mientras más pigmento se aumente, mayor luminosidad habrá.

8 En un análisis de costos de un adoquín de concreto tipo I de 60 mm, se pudo observar que el precio de la unidad de adoquín de concreto con aluminato de estroncio es de S/ 10.10 y que el precio de un adoquín con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre es S/ 63.24, además los costos por m<sup>2</sup> (50 unidades) son S/505.00 y S/3162 respectivamente. Es preciso mencionar que, actualmente el mercado ofrece un adoquín comercial a S/ 1.50 y por m<sup>2</sup> (50 unidades) a S/ 75.00. Ante lo mencionado, se nota una diferencia de precios bastante altos, el adoquín con la adición del sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre tiene un costo mayor, y esto se debe a que este tipo de pigmento luminiscente se utiliza como producto intermedio, es decir, que forma parte de los componentes para un producto final, en este caso el adoquín de concreto luminiscente, y además es un producto químico no tan común; en cambio, el aluminato de estroncio es más comercial; asimismo, se recalca que la compra del pigmento fotoluminiscente tuvo un costo mayor debido a la compra de una cantidad mínima, ya que si se hubiera pedido por mayor, el costo habría sido mucho menor.

## V. CONCLUSIONES

Se determinó que el tipo de pigmento que mejora las propiedades de un adoquín de concreto luminiscente, considerando el aluminato de estroncio y el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, fue el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, debido a que, en los ensayos de resistencia a la compresión, absorción y luminosidad, obtuvo los mejores resultados, los cuales fueron 463 kgf/cm<sup>2</sup>, 6.5% y 11546.1 mCd/m<sup>2</sup> respectivamente.

Al analizar el ensayo de resistencia a la compresión, se encontró que no hay existe una variación abrupta de los adoquines con pigmento fotoluminiscente con respecto a los adoquines del grupo de control, siendo los datos obtenidos para el aluminato de estroncio 433 kgf/cm<sup>2</sup> y para el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre 463 kgf/cm<sup>2</sup>. Además, los tres grupos ensayados superan los requisitos mínimos exigidos por la Norma Técnica Peruana CE .010 de 320 kgf/cm<sup>2</sup>.

Se determinó que existe variación en la absorción de un adoquín de concreto luminiscente al usar aluminato de estroncio o sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, además ambos pigmentos fueron expuestos a las mismas condiciones según lo establecido por la norma ASTM C – 1585, donde se obtuvo los resultados de 7.2 % y 6.5 %, respectivamente. Además, en el ensayo de absorción ambas muestras ensayadas no superan el valor máximo individual de 7.5% indicado por la NTP 399.611, pero si superan el valor máximo promedio de 3 unidades, que es el 6%.

Se determinó que existe variación en la luminancia de un adoquín de concreto luminiscente al usar aluminato de estroncio o sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre siendo los valores obtenidos para un tiempo exposición de 30 minutos a una fuente de luz artificial y tiempo de atenuación de 10 segundos, en cuanto al aluminato de estroncio 4309.5 mCd/m<sup>2</sup> y para el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre 11546.1 mCd/m<sup>2</sup>, siendo este último el más eficiente.

Al realizar el análisis de costos, se comprobó la diferencia en el costo de un adoquín comercial tipo I de 60 mm con un adoquín de concreto luminiscente, donde se compararon tres grupos, el primero fue el adoquín comercial, adoquín con adición de aluminato de estroncio, y adoquín con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre, siendo los valores por unidad S/ 1.50, S/ 10.10 y S/ 63.24 respectivamente. Además, se comprobó el costo por m<sup>2</sup>, es decir, por 50 unidades, siendo los costos de S/ 75.00, S/ 505.00 y S/ 3162.00 respectivamente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar los adoquines con adición de sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre en zonas a la intemperie, con gran iluminación, puesto que, al estar sometido a una mayor exposición durante el día, mejor será la respuesta en cuanto a la luminancia, además se deberá realizar ensayos con distintas dosificaciones de pigmento fotoluminiscente para verificar la variación de las propiedades del adoquín de concreto luminiscente.

Se recomienda utilizar una mesa vibratoria para eliminar la mayor cantidad de vacíos en los adoquines de concreto, y adicional a ello se deberá tener mayor énfasis al momento de realizar el curado durante el tiempo establecido, con la finalidad de obtener resistencias más altas.

Se deberá elegir una buena calidad de materiales, que se encuentre libre de impurezas, para al momento de hacer el ensayo no interfiera y se obtenga unos resultados más óptimos, además se deberá realizar los ensayos de acuerdo a la NTP 399.611 para evitar introducir errores en las medidas.

Se recomienda exponer a los adoquines con adición de pigmento a una fuente de luz por un mayor tiempo, es decir de 45 minutos a más, con la finalidad de comprobar si mientras mayor es el tiempo de exposición, mejor será la respuesta del tiempo de atenuación. Asimismo, se deberá realizar los ensayos de luminosidad en verano debido a la alta radiación solar para corroborar la diferencia respecto a la fuente de luz artificial.

Se recomienda seguir la línea de investigación considerando otros tipos de pigmentos a fin de reducir el costo de producción de los adoquines.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abt, S., Leech, J., Thornton, C., & Lipscomb, C. (2007). Articulated concrete block stability testing. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(1), 27-34. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb05472.x>

Álvarez Soria, B., & Guachamín Hurtado, S. (2020). *Correlación entre resistencia a la tracción indirecta y la resistencia climática (absorción del agua) en adoquines de*

- homirgón en la ciudad de Quito*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. Archivo digital. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19410/1/UPS%20-%20TTS204.pdf>
- Aspilcueta Asencios, M. (2015). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto estimada a partir de la utilización del método de madurez*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería] RENATI. Obtenido de [https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/4406/1/aspilcueta\\_am.pdf](https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/4406/1/aspilcueta_am.pdf)
- Bello Santos, G. A., & Rosero Cevallos, A. M. (2021). *Prototipo de adoquines luminiscentes con pigmentos refractarios y polímeros plásticos reciclados para parques y viviendas*. [Tesis de pregrado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil]. Archivo digital. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4543>
- Borja Suárez, M. (2016). *Metodología de la investigación para ingenieros*. Chiclayo. Obtenido de <https://docer.com.ar/doc/c8sc1v>
- Bottani, E., & Odetti, H. (2020). *Química inorgánica*. Santa Fe: Ediciones UNL. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11185/5523>
- Bube, R. (1950). Luminescence and Trapping in Zinc Sulfide Phosphors with and without Copper Activator. *American Physical Society*, 80, 655. Obtenido de <https://doi.org/10.1103/PhysRev.80.655>
- Buitrago Barrera, H. N., & Cardenas Trujillo, D. S. (2018). *Implementation of photoluminescent material in pavements for the transit of bikes*. *Repositorio institucional Universidad Piloto de Colombia*. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/1429>
- Bukshtab, M. (2012). Radiometric and Photometric Quantities and Notions. *Applied Photometry, Radiometry, and Measurements of Optical Losses*, 163, 3-47. Obtenido de [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2165-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2165-4_1)
- Callister, W., & Rethwisch, D. (2020). *Callister's Materials Science and Engineering*. Editorial Global, S. A. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=IUjODwAAQBAJ>

- Flor, M., Carpio, A., y Santamaría, J. (2018). Estudio de un compuesto cementante fotoluminiscente y su aplicación en la construcción. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 5(1), 62-70. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.811>
- Giron Genovez, J., & Herrera Paredes, M. (2021). *Las ciclovías como propuesta de liberación del tráfico en la ciudad de Trujillo, Provincia de Trujillo, Departamento de la Libertad, Perú - 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Archivo digital. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/82220/Giron\\_GJS-Herrera\\_PMA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/82220/Giron_GJS-Herrera_PMA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- He, B., Gao, Y., Qu, L., Duan, K., Zhou, W., & Pei, G. (2019). *Characteristics analysis of self-luminescent cement-based composite materials with self-cleaning effect*. *Journal of Cleaner Production*, 225, 1169-1183. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.291>
- Inocente Quinteros, Á. C. (2020). *Diseño de asfalto con adición de piedras fotoluminiscentes para el aumento de la visibilidad en vías, Lima, 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Archivo digital. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/64807>
- Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. (2014). *Industria de la Construcción - Bloques, ladrillos o tabicones - Determinación de la Absorción de agua y absorción inicial del agua*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/marzo2014/problemas.pdf>
- Md Mizanur, R., Simon, B., Asif, I., Md Rajibul, K., & Abu Taher, Z. (2020). Sustainability Assessment of Using Recycled Aggregates in Concrete Block Pavements. *Sustainability*, 12(10), 4313. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12104313>
- Medina Gonzalez, J. A., & Moreno Cruz, J. L. (2018). *Influencia de las piedras fotoluminiscentes en la iluminación y las propiedades mecánicas del concreto, Trujillo – 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Archivo digital. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/14823>
- Menéndez Acurio, J. R. (2009). *Ingeniería de pavimentos*. Lima: Fondo Editorial ICG.

- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2018). *Movimiento turístico en La Libertad*. Lima. Obtenido de [https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/turismo/estadisticas/ReporteTurismoRegional/RTR\\_La\\_Libertad\\_2018.pdf](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/turismo/estadisticas/ReporteTurismoRegional/RTR_La_Libertad_2018.pdf)
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2023). *Política Nacional Multisectorial de Seguridad Vial*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4898855/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20Multisectorial%20de%20Seguridad%20Vial%202023%20%E2%80%93202030.pdf?v=1690229851>
- Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Neiva: Universidad Surcolombiana. Obtenido de <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Nanasaheb P., H., Rohit M., P., & Ramphal, S. (2023). Characterization of Economic and Non-toxic Copper Doped Zinc Sulfide Thin Film Grown by Facile Chemical Bath Deposition Method. *ES Materials & Manufacturing*, 20(839). <https://dx.doi.org/10.30919/esmm5f839>
- New Jersey Department of Health and Senior Services. (2007). *Hazardous substance fact sheet*. Obtenido de <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0532.pdf>
- Norma Técnica Colombiana 2017. (2018). *ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS*. Bogotá. Obtenido de <https://tienda.icontec.org/gp-adoquines-de-concreto-para-pavimentos-ntc2017-2018.html>
- Norma Técnica Peruana 399.611. (2017). *Adoquines de concreto para albañilería*. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/ntp-399611-2017-2-pdf-free.html>
- Norma Técnica Peruana 400.021. (2013). *Agregados. Agregados. Requisitos*. Lima. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/469184279/NTP-400-037-2018>

- Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería. (2016). *La industria de la electricidad en el Perú*. Lima: GRÁFICA BIBLOS S.A. Obtenido de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf)
- Organización Mundial de la Salud. (21 de julio del 2021). *Traumatismos causados por el tránsito*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- Petrucci, R., Herring, G., Madura, J., & Bissonnette, C. (2011). *Química general*. PEARSON EDUCACIÓN, S. A. Obtenido de [https://quimica247403824.files.wordpress.com/2018/11/quimica\\_general\\_petrucci.pdf](https://quimica247403824.files.wordpress.com/2018/11/quimica_general_petrucci.pdf)
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2010). *C3. 010 Pavimentos Urbanos*. Lima. Obtenido de [http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios\\_Normalizacion/Normalizacion/normas/norma\\_010\\_%20pavimentos\\_urbanos.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/norma_010_%20pavimentos_urbanos.pdf)
- Riches, B., Dexter, T., Jansen, P., Marc, K., Villanueva, J., & Francis, A. (2015). Evaluation of Strontium Aluminate in Traffic Paint Pavement Markings for Rural and Unilluminated Roads. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 11, 1726-1744. DOI: <https://doi.org/10.11175/easts.11.1726>
- Rodrigues, J. (2023). Luminescent Materials: Synthesis, Characterization and Applications. *Appl. Sci*, 13(15), 8705. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/app13158705>
- Rojas Hernández, R. (2015). *Diseño y síntesis de materiales nanoestructurados basados en aluminato de estroncio con propiedades fotoluminiscentes*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Obtenido de [https://oa.upm.es/38330/1/ESTEFANIA\\_ROJAS\\_HERNANDEZ.pdf](https://oa.upm.es/38330/1/ESTEFANIA_ROJAS_HERNANDEZ.pdf)
- Sanjuán, M., & Argiz, C. (2019). *Photoluminescent cements*. Afinidad IQS. Obtenido de <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/361875>
- Suleymanova, L., Maliukova, M., & Koryakina, A. (2020). Architectural and decorative concrete with photoluminescent pigment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 896(1). Obtenido de

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/896/1/012025/meta>

- Švarcová, S., Hradil, D., Hradilová, J., & Čermáková, Z. (2021). Pigments—copper-based greens and blues. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 190(13). Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01406-0>
- Vargas Cordero, Z. R. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155-165. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082010>
- Vila, P., Pereyra, M., & Gutiérrez, Á. (2017). Compressive strength in concrete paving blocks. Results leading to validate the test in half-unit specimens. *Revista ALCONPAT*, 7(3), 247-261. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i3.186>
- Waqas, A., Muhammad, H., Muhammad, A., Faryal, A., & Muhammad, W. (2019). Effect of water resistant SiO<sub>2</sub> coated SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup> Dy<sup>3+</sup> persistent luminescence phosphor on the properties of Portland cement pastes. *Construction and Building Materials*, 228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116823>
- Wang, W., Sha, A., Zhen, L., Jia, M., Jiang, W., Liu, Z., & Yuana, D. (2021). Self-luminescent cement-based composite materials: properties and mechanisms. *Construction and Building Materials*, 269. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121267>
- Wang, W., Sha, A., Lu, Z., Yuan, D., Jiang, W., & Liu, Z. (2021). Cement filled with phosphorescent materials for pavement: Afterglow decay mechanism and properties. *Construction and Building Materials*, 284. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122798>
- Yingli, G., Bei, H., Minqiang, X., Zaosheng, F., & Kaiming, D. (2018). Study on properties and mechanisms of luminescent cement-based pavement materials with super-hydrophobic function. *Construction and Building Materials*, 165, 548-559. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.231>

## ANEXOS

Anexo 1: Fichas técnicas

**Ficha técnica del <sup>2</sup>sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre**



## 56500 Phosphorescent Pigment Green

Phosphorescent pigments are commonly used afterglow pigments. They continue to emit yellow-green light in dark conditions after being charged by exposure to daylight, white lamplight or UV radiation. They can be used in photo luminescent materials such as paints, surface coatings, ceramic tiles, coated glass, flexible or rigid plastics and enamelled materials.

### Technical Data

Main use: Long afterglowing products according to DIN 67510 part 4

#### Typical chemical properties:

Composition: ZnS:Cu, Cl  
Insoluble in: Water, organic solvents  
Decomposition by: Strong acids

#### Typical physical properties:

Appearance: yellow-green powder  
Density: 4.08 g/cm<sup>3</sup>  
Average particle size: 23 ± 3 μm

#### Typical luminescent properties:

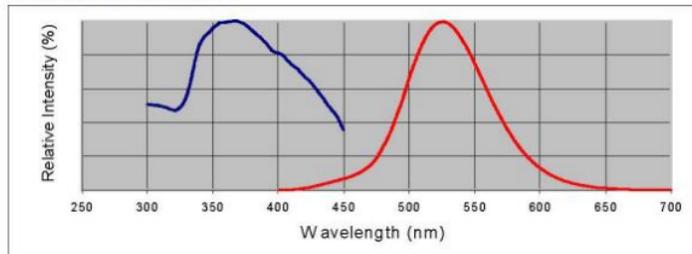
Color of fluorescence: yellowish green  
Color of phosphorescence: yellowish green  
Emission maximum: 527 nm ± 3

#### Phosphorescent properties (minimum values):

1 min.	10 min.	30 min	60 min.	0,32 mcd/m <sup>2</sup>
359	28.0	7.3	2.6	310 min.

Tested according to DIN 67510, part 1

#### Excitation and Emission Spectrum:



Page 1 of 1

Kremer Pigmente GmbH & Co. KG · Hauptstr. 41-47 · DE-88317 Aichtetten · Tel. 0049 7565 914480 · info@kremer-pigmente.com · www.kremer-pigmente.com

We do not assume any warranty for the guidance shown above. In any case, we recommend production and evaluation of samples.

## Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



### 56500 Phosphorescent Pigment Green

Page 1

Revised edition: 06.12.2019

Version: 9

Printed: 09.05.2022

#### 1. Identification of the Substance/Mixture and of the Company/Undertaking

##### 1.1. Product Identifier

*Product Name:* Phosphorescent Pigment Green

*Article No.:* 56500

*UFI:* --

##### 1.2. Relevant identified Uses of the Substance or Mixture and Uses advised against

*Identified uses:*  
Mapping of thermoplastics (industrial use)  
Use of coatings, paints and inks (industrial, professional and consumer use).  
Calendering / extrusion, industrial spraying, Masterbatch additive (industrial use)

*Uses advised against:*

##### 1.3. Details of the Supplier of the Safety Data Sheet (Producer/Importer)

*Company:* Kremer Pigmente GmbH & Co. KG  
*Address:* Hauptstr. 41-47, 88317 Aichstetten, Germany  
*Tel./Fax.:* Tel +49 7565 914480, Fax +49 7565 1606  
*Internet:* www.kremer-pigmente.com  
*E-Mail:* info@kremer-pigmente.com  
*Importer:* --

##### 1.4. Emergency No.

*Emergency No.:* +49 7565 914480 (Mon-Fri 8:00 - 17:00)

##### 1.4.2 Poison Center:

#### 2. Hazards Identification

##### 2.1. Classification of the Substance or Mixture

*Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 (CLP/GHS)*

*This product does not require classification and labelling as hazardous according to CLP/GHS.*

*Possible Environmental Effects:*  
See Section 12.

##### 2.2. Label Elements

*Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 (CLP/GHS)*

*This product does not require classification and labelling as hazardous according to CLP/GHS.*

*Hazard designation:*  
Not applicable.

*Signal word:*

*Hazard designation:*

*Safety designation:*

next page: 2

## Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)

### 56500 Phosphorescent Pigment Green



Page 2

Revised edition: 06.12.2019

Version: 9

Printed: 09.05.2022

*Hazardous components for labelling:*

#### 2.3. Other Hazards

### 3. Composition/Information on Ingredients

#### 3.1. Substance

#### 3.2. Mixture

*Chemical Characterization:*

*Information on Components / Hazardous*

*Ingredients:*

Zinc sulfide (ZnS), Copper chloride-doped;  
REACH Reg. No. 01-2119978290-33-0000

100 %

CAS-Nr: 68611-70-1

EINECS-Nr: 271-904-2

EC-Nr:

*Additional information:*

### 4. First Aid Measures

#### 4.1. Description of the First Aid Measures

*General information:*

*Remove contaminated clothes immediately.*

*After inhalation:*

*Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.*

*Give artificial respiration in case breathing is not regular or if it has stopped.*

*In case of complaints consult a physician.*

*After skin contact:*

*Wash off with plenty of water and soap. Consult a physician if irritation persists.*

*Do not use solvents or thinners.*

*After eye contact:*

*Remove contact lens. Rinse open eyes with plenty of water (10-15 min). Consult physician.*

*After ingestion:*

*Do not induce vomiting.*

*Never give anything by mouth to an unconscious person.*

#### 4.2. Most important Symptoms and Effects, both Acute and Delayed

*Symptoms:*

*No acute or delayed symptoms or effects have been observed.*

*Effects:*

*No further information available.*

#### 4.3. Indication of any Immediate Medical Attention and special Treatment needed

*Treatment:*

*Never give anything by mouth to an unconscious person.*

### 5. Fire-Fighting Measures

next page: 3

## Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



### 56500 Phosphorescent Pigment Green

Page 3

Revised edition: 06.12.2019

Version: 9

Printed: 09.05.2022

#### 5.1. Extinguishing Media

*Suitable extinguishing media:*

*Use extinguishing media for surrounding fire.*

*Unsuitable extinguishing media:*

*Water with full jet.*

#### 5.2. Special Hazards arising from the Substance or Mixture

*Special hazards:*

*Product is not flammable.*

*When heated or in case of fire: formation of hazard fumes.*

*In case of fire: formation of sulfuric acids and hydrogen sulfide.*

#### 5.3. Advice for Firefighters

*Protective equipment:*

*Wear self-contained respiratory protective device.*

*Further information:*

*Contaminated extinguishing water and debris should be disposed of according to local regulations.*

*Cool exposed containers with water spray.*

### 6. Accidental Release Measures

#### 6.1. Personal Precautions, Protective Equipment and Emergency Procedures

*Personal precautions:*

*Avoid inhalation of dust.*

*Ensure adequate ventilation.*

#### 6.2. Environmental Precautions

*Environmental precautions:*

*Prevent contamination of soil, drains and surface waters.*

#### 6.3. Methods and Material for Containment and Cleaning Up

*Methods and material:*

*Take up mechanically and collect in suitable containers for disposal. Avoid dust formation.*

#### 6.4. Reference to other Sections

*Protective clothing, see Section 8.*

*See Section 13 for information on disposal.*

### 7. Handling and Storage

#### 7.1. Precautions for Safe Handling

*Instructions on safe handling:*

*Avoid contact with eyes, skin and clothing.*

*Avoid formation of dust.*

*Hygienic measures:*

*Do not eat or drink during work. Do not smoke.*

*Keep away from foodstuffs and drinks. Do not eat, drink or smoke during work. Wash hands before breaks and at the end of work.*

#### 7.2. Conditions for Safe Storage, including any Incompatibilities

next page: 4

## Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



### 56500 Phosphorescent Pigment Green

Page 4

Revised edition: 06.12.2019

Version: 9

Printed: 09.05.2022

#### Storage conditions:

Store in tightly sealed containers in a cool and well ventilated location.

Do not store together with food stuff and animal feed.

#### Requirements for storage areas and containers:

Store the product in the original container.

#### Information on fire and explosion protection:

Keep away from sources of heat and ignition - do not smoke.

#### Storage class:

#### Further Information:

Storage temperature: 5 - 35°C

#### 7.3. Specific End Use(s)

#### Further information:

No further information available.

## 8. Exposure Controls/Personal Protection

### 8.1. Parameters to be Controlled

#### Parameters to be controlled (DE):

none known

#### Parameters to be controlled:

#### Derived No-Effect Level (DNEL):

5 mg/m<sup>3</sup> (worker, inhalation, long-term exposure - systemic effects)

0.83 mg/kg bw/day (consumer, swallowing, long-term exposure - systemic effects)

83 mg/kg bw/d (Consumer, skin contact, long-term exposure - systemic effects)

2.5 mg/kg (consumer, inhalation, long-term exposure - systemic effects)

#### Predicted No-Effect Concentration (PNEC):

Fresh water: 20.6 µg/l

Fresh water sediment: 117.8 mg/kg

Seawater: 6.1 µg/l

Seawater sediment: 56.5 mg/kg

Soil: 35.6 mg/kg

Sewage treatment system (STP): 52 µg/l

#### Additional Information:

Biological limits: no limit values available for the ingredients of this product.

### 8.2. Exposure Controls

#### Technical protective measures:

Adequate ventilation.

next page: 5

## Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)

### 56500 Phosphorescent Pigment Green



Page 5

Revised edition: 06.12.2019

Version: 9

Printed: 09.05.2022

#### Personal Protection

##### General protective measures:

*The usual precautionary measures are to be adhered to when handling chemicals.*

*Do not inhale dust. Do not eat, drink or smoke while working. Wash hands before breaks and at the end of work.*

##### Respiratory protection:

*Dust mask recommended when very dusty: with particle filter P2.*

##### Hand protection:

*Protective gloves. The glove material has to be impermeable and resistant to the product / substance / preparation.*

##### Protective glove material:

*Polyvinyl chloride (> 480 min, 0.35 mm)*

##### Eye protection:

*Safety glasses with protective shields (EN 166).*

##### Body protection:

*Protective clothing.*

*Safety shoes (EN-ISO 13287, EN 20347)*

#### Environmental precautions:

## 9. Physical and Chemical Properties

### 9.1. Information on Basic Physical and Chemical Properties

Form:	<i>powder</i>
Color:	<i>yellowish-green</i>
Odor:	<i>odorless</i>
Odor threshold:	<i>no information available</i>
pH-Value:	<i>not applicable</i>
Melting temperature:	<i>&gt; 401.5°C</i>
Boiling temperature:	<i>not applicable</i>
Flash point:	<i>not flammable</i>
Evaporation rate:	<i>not applicable</i>
Flammability (solid, gas):	<i>not flammable</i>
Upper explosion limit:	<i>not determined</i>
Lower explosion limit:	<i>not determined</i>

next page: 6

## Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 56500 Phosphorescent Pigment Green

Page 6

Revised edition: 06.12.2019

Version: 9

Printed: 09.05.2022

Vapor pressure:

*not applicable*

Vapor density:

*No information available.*

Density:

1.78 g/cm<sup>3</sup> (20°C)

Solubility in water:

1002.e-3 g/l (zinc compound)

Coefficient of variation (n-Octanol/Water):

*not determined*

Auto-ignition temperature:

> 400°C

Decomposition temperature:

*No data available.*

Viscosity, dynamic:

*not applicable*

Explosive properties:

*Product does not present an explosion hazard.*

Oxidizing properties:

*no information available*

Bulk density:

*not determined*

### 9.2. Further Information

Solubility in solvents:

Viscosity, kinematic:

Burning class:

Solvent content:

Solid content:

Particle size:

Other information:

*No further information.*

## 10. Stability and Reactivity

### 10.1. Reactivity

*Stable if used according to specifications.*

### 10.2. Chemical Stability

*Stable if used according to specifications.*

### 10.3. Possibility of Hazardous Reactions

*Reacts with acids: development of hydrogen sulfide.*

### 10.4. Conditions to Avoid

Conditions to avoid:

*Avoid temperatures above 800°C.*

Thermal decomposition:

next page: 7

## Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)

### 56500 Phosphorescent Pigment Green



Page 7

Printed: 09.05.2022

Revised edition: 06.12.2019

Version: 9

*Avoid heat.*

#### 10.5. Incompatible Materials

*Keep away from acids.*

#### 10.6. Hazardous Decomposition Products

*Sulphur oxides (SO<sub>x</sub>).  
Hydrogen sulfide gas.*

#### 10.7. Further Information

### 11. Toxicological Information

#### 11.1. Information on Toxicological Effects

##### *Acute Toxicity*

*Repeated or prolonged contact with the product may cause removal of natural fat from the skin, resulting in non-allergic contact dermatitis and absorption through the skin.*

*If splashed in the eyes, the liquid may cause irritation and reversible damage.*

*Zinc Sulfid (ZnS), Copper chloride-doped (68611-70-1):*

*LD50, oral: > 2000 mg/kg (rat)*

*LD50, dermal: > 2000 mg/kg (rat)*

*LC50, inhalation: 5.41 mg/m<sup>3</sup> (rat)*

##### *Primary effects*

##### *Irritant effect on skin:*

*Non irritating*

##### *Irritant effect on eyes:*

*Non-irritating to eyes*

##### *Inhalation:*

*No information available.*

##### *Ingestion:*

*No information available*

##### *Sensitization:*

*No sensitizing effects known.*

##### *Mutagenicity:*

*Not mutagenic.*

##### *Reproductive toxicity:*

*No relevant data found.*

##### *Carcinogenicity:*

*No relevant data found.*

##### *Teratogenicity:*

*No information available.*

##### *Specific target organ toxicity (STOT):*

*No relevant data found.*

##### *Additional toxicological information:*

next page: 8

## Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 56500 Phosphorescent Pigment Green

Page 8

Revised edition: 06.12.2019

Version: 9

Printed: 09.05.2022

*No information available.*

### 12. Ecological Information

#### 12.1. Aquatic Toxicity

*No information available.*

*Fish toxicity:*

*Daphnia toxicity:*

*Bacteria toxicity:*

*Algae toxicity:*

#### 12.2. Persistency and Degradability

*No information available.*

#### 12.3. Bioaccumulation

*No information available.*

#### 12.4. Mobility

*No information available.*

#### 12.5. Results of PBT- und vPvP Assessment

*Not applicable.*

#### 12.6. Other Adverse Effects

*Water hazard class:*

*Do not let product contaminate ground water, waterways or sewage system.*

*Behaviour in sewage systems:*

*Further ecological effects:*

*No ecological data available.*

*AOX Value:*

### 13. Disposal Considerations

#### 13.1. Waste Treatment Methods

*Product:*

*Dispose of according to official national and local regulations.*

*European Waste Code (EWC):*

*060314 - Solid salts and solutions other than those mentioned in 06 03 11 and 06 03 13.*

*Uncleaned packaging:*

*Non-contaminated packaging may be recycled.*

*Contaminated packaging must be disposed like the substance.*

*Waste Code No.:*

### 14. Transport Information

#### 14.1. UN Number

*ADR, IMDG, IATA*

#### 14.2. UN Proper Shipping Name

*ADR/RID:*

next page: 9

## Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



### 56500 Phosphorescent Pigment Green

Page 9

Revised edition: 06.12.2019

Version: 9

Printed: 09.05.2022

*No hazardous goods according to ADR / DOT (US) (land transportation).*

IMDG/IATA:

*Not hazardous goods*

#### 14.3. Transport Hazard Classes

ADR Class:

*not applicable*

Hazard no.:

Classification code:

Tunnel restriction code:

IMDG Class (sea):

Hazard no.:

EmS No.:

IATA Class:

*not applicable*

Hazard no.:

#### 14.4. Packaging Group

ADR/RID:

*not applicable*

IMDG:

IATA:

#### 14.5. Environmental Hazards

*no*

#### 14.6. Special Precautions for User

*Not classified as a dangerous good under transport regulations.*

#### 14.7. Transportation in Bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and IBC-Code

*not applicable*

#### 14.8. Further Information

### 15. Regulatory Information

#### 15.1. Safety, Health and Environmental Regulations/Legislation specific for the Substance or Mixture

Water hazard class:

*2, hazardous for water (German Regulation)*

Local regulations on chemical accidents:

*Seveso III Directive: not applicable under Directive 2012/18/EC.*

Employment restrictions:

Restriction and prohibition of application:

*Not applicable.*

Technical instructions on air quality:

next page: 10

## Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



### 56500 Phosphorescent Pigment Green

Page 10

Revised edition: 06.12.2019

Version: 9

Printed: 09.05.2022

---

#### 15.2. Chemical Safety Assessment

*A Chemical Safety Assessment has not been carried out for this product.*

#### 15.3. Further Information

*Regulation (EC) 1005/2009 - Substances that Deplete the Ozone Layer: not regulated / not applicable*  
*Regulation (EC) 649/2012 concerning the export and import of dangerous chemicals: Not applicable*

---

#### 16. Other Information

*This product should be stored, handled and used in accordance with good hygiene practices and in conformity with any legal regulations. This information contained herein is based on the present state of knowledge and is intended to describe our product from the point of view of safety requirements. It should be therefore not be construed as guaranteeing specific properties.*

Ficha técnica del aluminato de estroncio

# LET YOUR CREATIVITY GLOW



## NEUTRAL & FLUORESCENT

Our fluorescent glow paint is colorful in the light, fluoresces (reflects UV light), and glows in the dark. Our neutral glow paint is fairly transparent on surfaces in the light and glows the advertised color in the dark.



## COATS & DRIES CLEAR

Our neutral glow paints dry clear for at least the first few coats making them great for embellishing traditional paintings.



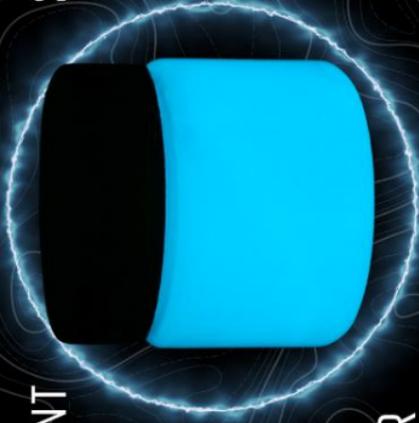
## SMOOTH CONSISTENCY

Our proprietary glow paint formula flows as close to regular acrylic paint as possible so it goes on smooth and dries nearly invisible.



## GLOW 10X BRIGHTER

Our glow paints are made with strontium aluminate, which is the brightest, longest lasting glow in the dark technology available anywhere with up to 12 hours of glow time! Extremely easy to charge with sunlight or UV light!



**1** Anexo 2: Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala de Medición
<p><b>Variable independiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Tipo de pigmento</b></li> </ul>	<p>El aluminato de estroncio (SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), es compuesto químico y tiene la propiedad de luminancia; también tiene la ventaja de ser insoluble (Machai y Maldonado, 2023). Asimismo, el sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre (ZnS:CuCl), tiende a recibir el color fosforescente debido a la presencia del cloruro de cobre.</p>	<p>El pigmento luminescente, se adicionó de dos tipos, respecto al aluminato de estroncio el 25 % y en cuanto al sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre se adicionó el 25%, la adición de ambas fue en relación al peso del cemento en la capa superficial.</p>	<p>Tipo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aluminato de estroncio.</li> <li>- Sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.</li> </ul>	<p>Fichas técnicas</p>	<p>Nominal</p>
<p><b>Variable dependiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Propiedades de un adoquín de concreto luminescente.</b></li> </ul>	<p>Las propiedades físicas de los materiales son características que presentan mientras no cambie su composición, es decir que estas propiedades están relacionadas a la interacción física del material y su entorno. (Petrucci et al., 2006)</p>	<p>Las propiedades físicas y mecánicas se evidenciaron luego de 28 días de curado, posteriormente se registraron las dimensiones de las probetas, el peso y la cantidad de luxes con un luxómetro, luego se realizó el ensayo de rotura en la prensa y finalmente el ensayo de absorción con el uso de la estufa.</p>	<p>Propiedades físicas</p>	<p>Luminosidad [mCd/m<sup>2</sup>] Absorción [%]</p>	<p>Formato</p>	<p>De intervalo  De intervalo</p>

## 1 Anexo 3: Matriz de consistencia

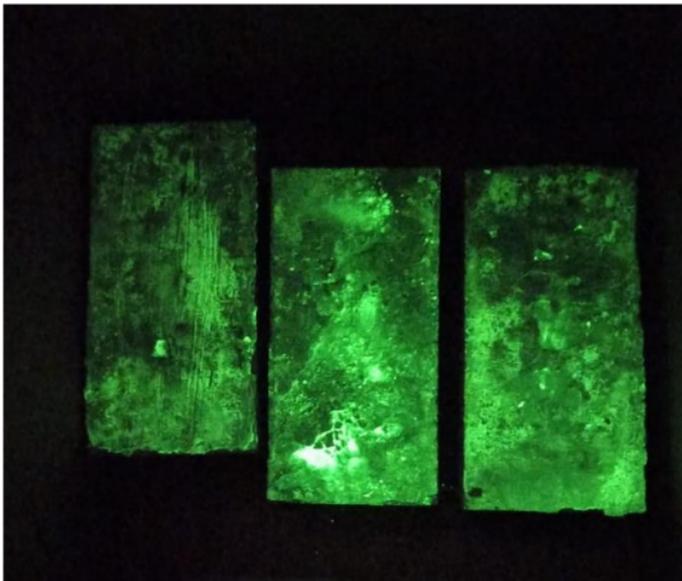
Título	Formulación del Problema	Hipótesis	Objetivos	VARIABLES	Dimensiones	Metodología
Determinación del tipo de pigmento que mejora las propiedades de un adocuin de concreto luminescente.	<p><b>Problema General:</b></p> <p>1 ¿Qué tipo de pigmento mejora las propiedades de un adocuin de concreto luminescente?</p> <p><b>Problemas específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Existe variación en la resistencia a la compresión de un adocuin de concreto luminescente al usar aluminato de estroncio o sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre?</li> <li>1 ¿Existe variación en la absorción de un adocuin de concreto luminescente al usar aluminato de estroncio o sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre?</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>7 El pigmento a base de aluminato de estroncio mejora las propiedades de un adocuin de concreto luminescente.</p> <p>1 <b>Hipótesis específicas:</b></p> <p><b>Hipótesis específica 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>H0: No existe variación en la resistencia a la compresión de un adocuin de concreto luminescente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.</li> <li>H1: Existe variación en la resistencia a la compresión de un adocuin de concreto luminescente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.</li> </ul> <p>1 <b>Hipótesis específica 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>H0: No existe variación en la absorción de un adocuin de concreto luminescente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.</li> <li>H1: Existe variación en la absorción de un adocuin de concreto luminescente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre?</li> </ul> <p>1 <b>Hipótesis específica 3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>H0: No existe variación en la fotoluminiscencia de un adocuin de concreto luminescente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.</li> <li>H1: Existe variación en la fotoluminiscencia de un adocuin de concreto luminescente con aluminato de estroncio o con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.</li> </ul> <p>1 <b>Hipótesis específica 4</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>H0: No existe diferencia en el costo de un adocuin tipo I de 60 mm con un adocuin de concreto luminescente.</li> <li>H1: Existe diferencia en el costo de un adocuin tipo I de 60 mm con un adocuin de concreto luminescente.</li> </ul>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Determinar el tipo pigmento que mejora las propiedades de un adocuin de concreto luminescente.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar la variación en la resistencia a la compresión de un adocuin de concreto luminescente con aluminato de estroncio y con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.</li> <li>1 Analizar la variación de la absorción de un adocuin de concreto luminescente con aluminato de estroncio y con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.</li> <li>1 Analizar la variación en la fotoluminiscencia de un adocuin de concreto luminescente con aluminato de estroncio y con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre.</li> <li>1 Comparar el costo de un adocuin de concreto tipo I de 60 mm con un adocuin de concreto luminescente.</li> </ul>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <p>Tipo de pigmento</p>	<p><b>Propiedades físicas</b></p> <p>(Luminosidad [mCd/m<sup>2</sup>])</p> <p>1 (Absorción [%])</p> <p><b>Propiedades mecánicas</b></p> <p>(Resistencia a la compresión [kg/cm<sup>2</sup>])</p>	<p><b>Tipo:</b> Aplicativa, cuantitativa y experimental.</p> <p><b>Método:</b> Hipotético - deductivo</p> <p><b>Diseño:</b> Experimental puro con estudio de post - prueba.</p> <p><b>Población y muestra:</b> 45 probetas dividido en 3 grupos de 15 probetas con distinto tipo de pigmento fotoluminescente e incluyendo el grupo de control.</p> <p>1 <b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</b> Técnica de observación. Fichas técnicas y formatos. Ms Excel SPSS</p> <p><b>Métodos de análisis de investigación:</b> ANOVA</p>

Anexo 4: Registro fotográfico

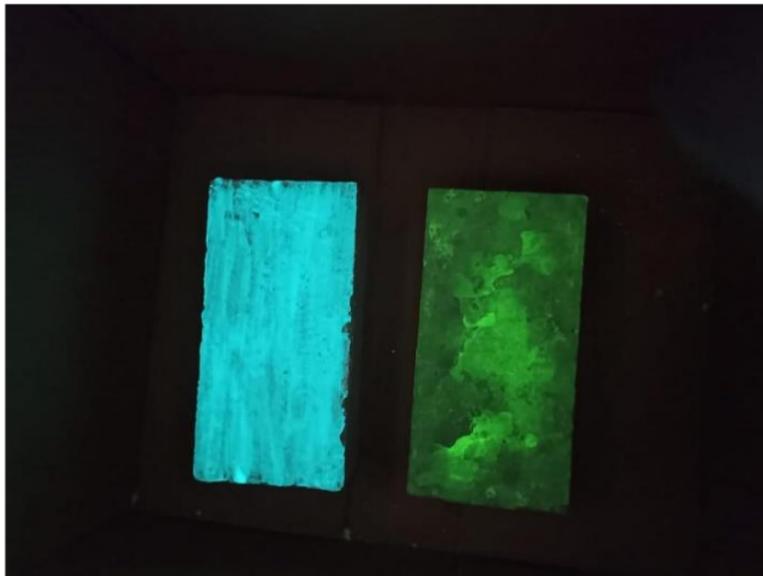
Probetas expuestas luego de 28 días de curado



Ensayo de la fotoluminiscencia con el adoquín con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre



**Ensayo de la fotoluminiscencia con el adoquín con aluminato de estroncio y el  
adoquín con sulfuro de zinc dopado con cloruro de cobre**



**Ensayo de resistencia a la compresión**



## Ensayo de la absorción



# INFORME DE TESIS - SANCHEZ & RODRIGUEZ

## INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.uct.edu.pe">repositorio.uct.edu.pe</a> Fuente de Internet	8%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Catolica de Trujillo Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
7	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://www.doccity.com">www.doccity.com</a> Fuente de Internet	<1%

10	<a href="http://www.raco.cat">www.raco.cat</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://repositorio.unj.edu.pe">repositorio.unj.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
13	R. M. De Gutiérrez, S. Delvasto, R. Talero. "Una nueva puzolana para materiales cementicios de elevadas prestaciones", <b>Materiales de Construcción, 2010</b> Publicación	<1 %
14	<a href="http://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repository.ean.edu.co">repository.ean.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://es.wikipedia.org">es.wikipedia.org</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://conosce.osce.gob.pe">conosce.osce.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://repositorio.une.edu.pe">repositorio.une.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://repositorio.untrm.edu.pe">repositorio.untrm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

---

21	<a href="https://tesis.unsm.edu.pe">tesis.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="https://rraae.cedia.edu.ec">rraae.cedia.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="https://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="https://ciencia.lasalle.edu.co">ciencia.lasalle.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
27	Submitted to Universidad Nacional Autonoma de Chota Trabajo del estudiante	<1 %
28	Submitted to Universidad del Pacifico Trabajo del estudiante	<1 %
29	<a href="https://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="https://www.gacemail.com.ar">www.gacemail.com.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="https://cienciadigital.org">cienciadigital.org</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="https://repository.unipiloto.edu.co">repository.unipiloto.edu.co</a>	

---

Fuente de Internet

<1 %

33

[repository.unab.edu.co](http://repository.unab.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

34

[sim-metrologia.org](http://sim-metrologia.org)

Fuente de Internet

<1 %

35

[tesis.ucsm.edu.pe](http://tesis.ucsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

36

[www.col.ops-oms.org](http://www.col.ops-oms.org)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo

# INFORME DE TESIS - SANCHEZ & RODRIGUEZ

INFORME DE GRADEMARK

NOTA FINAL

COMENTARIOS GENERALES

**/0**

PÁGINA 1

PÁGINA 2

PÁGINA 3

PÁGINA 4

PÁGINA 5

PÁGINA 6

PÁGINA 7

PÁGINA 8

PÁGINA 9

PÁGINA 10

PÁGINA 11

PÁGINA 12

PÁGINA 13

PÁGINA 14

PÁGINA 15

PÁGINA 16

PÁGINA 17

PÁGINA 18

PÁGINA 19

PÁGINA 20

PÁGINA 21

PÁGINA 22

---

PÁGINA 23

---

PÁGINA 24

---

PÁGINA 25

---

PÁGINA 26

---

PÁGINA 27

---

PÁGINA 28

---

PÁGINA 29

---

PÁGINA 30

---

PÁGINA 31

---

PÁGINA 32

---

PÁGINA 33

---

PÁGINA 34

---

PÁGINA 35

---

PÁGINA 36

---

PÁGINA 37

---

PÁGINA 38

---

PÁGINA 39

---

PÁGINA 40

---

PÁGINA 41

---

PÁGINA 42

---

PÁGINA 43

---

PÁGINA 44

---

PÁGINA 45

---

PÁGINA 46

---

PÁGINA 47

---

PÁGINA 48

---

PÁGINA 49

---

PÁGINA 50

---

PÁGINA 51

---

PÁGINA 52

---

PÁGINA 53

---

PÁGINA 54

---

PÁGINA 55

---

PÁGINA 56

---

PÁGINA 57

---

PÁGINA 58

---

PÁGINA 59

---

PÁGINA 60

---

PÁGINA 61

---

PÁGINA 62

---

PÁGINA 63

---

PÁGINA 64

---

PÁGINA 65

---

PÁGINA 66

---

PÁGINA 67

---

PÁGINA 68

---

PÁGINA 69

---

PÁGINA 70

---

PÁGINA 71

---

PÁGINA 72

---

PÁGINA 73

---

PÁGINA 74

---

PÁGINA 75

---

PÁGINA 76

---

PÁGINA 77

---

PÁGINA 78

---

PÁGINA 79

---

PÁGINA 80

---

PÁGINA 81

---

PÁGINA 82

---

PÁGINA 83

---

PÁGINA 84

---

PÁGINA 85

---

PÁGINA 86

---

PÁGINA 87

---

PÁGINA 88

---

PÁGINA 89

---

PÁGINA 90

---

PÁGINA 91

---