



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Aditivos espumantes para mejorar las propiedades físico-mecánicas del  
concreto celular

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniera Civil

**AUTOR(ES)**

Aviles Antezana, Aida Andrea  
ORCID: 0000-0002-0936-3516

Carrera Salas, Ana Karina  
ORCID: 0000-0001-6511-5229

**ASESOR**

Chavarría Reyes, Liliana Janet  
ORCID: 0000-0002-1759-2132

**Lima, Perú**

**2023**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos del autor(es)**

Aviles Antezana, Aida Andrea

DNI: 71406046

Carrera Salas, Ana Karina

DNI: 71489905

### **Datos de asesor**

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

### **Datos del jurado**

#### JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

#### JURADO 2

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

#### JURADO 3

Campos Huertas, Carlos Alberto

DNI: 09313271

ORCID: 0000-0003-3758-3126

#### JURADO 4

La Cruz Aguirre, Jorge Luis

DNI: 08569056

ORCID: 0000-0003-0046-2275

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## **DEDICATORIA**

Dedico mi tesis principalmente a mis padres, Marcos y Sahara, por ser mi constante inspiración, apoyo y determinación en seguir adelante con mi carrera profesional.

A mis hermanitas, Karen y Antonella, que han sido de gran ayuda por sus consejos y compañía mientras estudiaba.

Y a mi abuelita Aída, que cada vez que nos veíamos me decía que me esforzara y siguiera con mis estudios para ser una excelente profesional.

Aviles Antezana, Aida Andrea

Dedico mi tesis a mi madre Enith, quién tiene un corazón generoso y diariamente me enseña el valor del esfuerzo y la dedicación en todo aquello que hace. A mi padre Renato, cuya inteligencia y profesionalismo han sido un modelo a seguir para mí, gracias a ambos por su amor incondicional, motivación y sacrificio durante mi vida entera, todo siempre ha sido y será para ustedes.

A Diego, por su fortaleza y cariño en todo momento. A mi familia, maestros y amigos.

Carrera Salas, Ana Karina

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestra asesora, la Mg. Ing. Liliana Chavarría Reyes, le agradecemos por su vocación, dedicación y guía en la orientación de la culminación de la presente tesis. A todos los profesores que formaron parte de nuestro crecimiento profesional.

Aida Aviles y Ana Carrera

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos .....	2
1.1.1 Problema general .....	4
1.1.2 Problemas específicos .....	4
1.2 Objetivo general y específico .....	4
1.2.1 Objetivo general .....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática.....	5
1.4 Justificación e importancia .....	5
1.4.1 Justificación de la investigación.....	5
1.4.2 Importancia de la investigación.....	5
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1 Marco histórico .....	6
2.2 Antecedentes del estudio investigación .....	7
2.2.1 Artículos relacionados con el tema .....	7
2.2.2 En el ámbito nacional .....	12
2.2.3 En el ámbito internacional.....	14
2.3 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio .....	16
2.3.1 Concreto Celular.....	16
2.3.2 Aditivos Espumantes .....	19
2.3.3 Ensayos en estado fresco .....	19
2.3.4 Ensayos en estado endurecido .....	21
2.4 Definición de términos básicos.....	24
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>26</b>
3.1 Hipótesis .....	26
3.1.1 Hipótesis general .....	26
3.1.2 Hipótesis secundarias .....	26
3.2 Variables .....	26
3.2.1 Definición conceptual y operacional.....	26

3.2.2 Operacionalización de variables.....	27
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>30</b>
4.1 Método de la investigación.....	30
4.2 Tipo y nivel de la investigación.....	30
4.2.1 Tipo de la investigación.....	30
4.2.2 Nivel de la investigación.....	30
4.3 Diseño de la investigación.....	30
4.4 Población y muestra.....	31
4.4.1 Población.....	31
4.4.2 Muestra.....	31
4.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	31
4.5.1 Tipos de técnica e instrumentos.....	31
4.5.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	31
4.5.3 Proceso para la recolección de datos.....	32
4.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	32
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>33</b>
5.1 Resultados de la investigación.....	33
5.2 Análisis e interpretación de los resultados.....	49
5.3 Contrastación de Resultados.....	53
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>60</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>
Anexo A: Matriz de consistencia.....	71
Anexo B: Matriz de revisión bibliográfica.....	72
Anexo C: Artículos seleccionados para los resultados de la investigación.....	81
Anexo D: Matriz de definición, justificación y delimitación temporal de los indicadores.....	83
Anexo E: Informe de Originalidad (Turnitin).....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Porcentaje en peso de materiales en el concreto convencional .....	3
Figura 2 Porcentaje en peso de materiales en un concreto celular con agregado grueso .	4
Figura 3 Panteón de Agripa .....	6
Figura 4 Resistencia a la compresión del concreto celular producido con el material sintético aditivo espumante SLS .....	8
Figura 5 Resistencia a la compresión del concreto celular producido con el material aditivo espumante Espuma C .....	8
Figura 6 Variación de la resistencia a la compresión y conductividad térmica con la densidad.....	9
Figura 7 Resistencia a la compresión .....	10
Figura 8 Efecto del contenido de espuma en las propiedades del concreto celular.....	11
Figura 9 Efecto de las relaciones agua-cemento en las propiedades del concreto celular .....	12
Figura 10 Concreto celular .....	16
Figura 11 Materiales para el concreto celular.....	17
Figura 12 Asentamiento con aditivo espumante $1\text{kg/m}^3$ .....	20
Figura 13 Cálculo de la densidad del concreto .....	21
Figura 14 Dispositivo para ensayo de compresión .....	22
Figura 15 Especímenes en forma cilíndricas de 15 x 30 cm .....	23
Figura 16 Medidor de flujo de calor Probador de conductividad térmica ASTM E1530 ASTM C518.....	24
Figura 17 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs asentamiento (mm).....	34
Figura 18 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs asentamiento (mm).....	35
Figura 19 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs asentamiento (mm).....	36
Figura 20 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) .....	37
Figura 21 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) .....	38
Figura 22 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) .....	39
Figura 23 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) .....	41
Figura 24 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) .....	42
Figura 25 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs resistencia a la compresión (MPa) .	43
Figura 26 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs resistencia a la compresión (MPa) .	44
Figura 27 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs resistencia a la compresión (MPa) .	45

Figura 28 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs conductividad térmica (W/m.K) ....	47
Figura 29 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs conductividad térmica (W/m.K) ....	48
Figura 30 Porcentaje de aditivo espumante (%) vs conductividad térmica (W/m.K) ....	49
Figura 31 Resultados de asentamiento para los diferentes autores.....	54
Figura 32 Resultados de densidad para los diferentes autores.....	56
Figura 33 Resultados de resistencia a la compresión para los diferentes autores.....	57
Figura 34 Resultados de conductividad térmica para los diferentes autores .....	59



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de operacionalización de las variables .....	27
Tabla 2 Operacionalización de la variable independiente .....	28
Tabla 3 Operacionalización de la variable dependiente .....	29
Tabla 4 Ensayo de asentamiento (mm) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%) .....	33
Tabla 5 Ensayo de asentamiento (mm) para el porcentaje de aditivo espumante (%) ...	34
Tabla 6 Ensayo de asentamiento (mm) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%) .....	36
Tabla 7 Ensayo de densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%) .....	37
Tabla 8 Ensayo de densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) para el porcentaje de aditivo espumante (%).....	38
Tabla 9 Ensayo de densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%) .....	39
Tabla 10 Ensayo de densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%).....	40
Tabla 11 Ensayo de densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) para el porcentaje de aditivo espumante (%) ....	41
Tabla 12 Ensayo de resistencia a la compresión (MPa) para el porcentaje de aditivo espumante (%).....	43
Tabla 13 Ensayo de resistencia a la compresión (MPa) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%).....	44
Tabla 14 Ensayo de resistencia a la compresión (MPa) para el porcentaje de aditivo espumante (%).....	45
Tabla 15 Ensayo de conductividad térmica (W/m.K) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%).....	46
Tabla 16 Ensayo de conductividad térmica (W/m.K) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%).....	48
Tabla 17 Ensayo de conductividad térmica (W/m.K) para el porcentaje de aditivo espumante (%).....	49
Tabla 18 Resultado de asentamiento del concreto celular con diferentes porcentajes de aditivos espumantes.....	54
Tabla 19 Resultados de densidad del concreto celular con diferentes porcentajes de aditivos espumantes.....	55

Tabla 20 Resultados de resistencia a la compresión del concreto celular con diferentes porcentajes de aditivos espumantes.....	57
Tabla 21 Resultados de conductividad térmica del concreto celular con diferentes porcentajes de aditivos espumantes.....	59

## RESUMEN

La presente investigación se enfocó en la recolección de diversos antecedentes nacionales e internacionales y artículos científicos, con el principal objetivo de analizar los aditivos espumantes para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular, con la información teórica y experimental se adquirió conocimiento acerca del porcentaje de aditivo espumante en las mezclas, las cuales influyen en el asentamiento, la densidad, la resistencia a la compresión y la conductividad térmica del concreto celular. La investigación fue documental/bibliográfica, en la cual la información recolectada y revisada se empleó el método deductivo, con orientación aplicada y enfoque cuantitativo; además, el tipo de investigación es descriptiva, explicativa y correlacional, del mismo modo que su nivel fue descriptivo y se obtuvo un diseño experimental, longitudinal, retrospectivo y cohorte.

Los resultados de la investigación justifican una mejora en los datos experimentales de las propiedades físico-mecánicas del concreto celular. Se observó un aumento en el asentamiento con 0.13% a 0.35% de aditivo espumante; al usar 0.35% de aditivo espumante se obtuvo 230 mm y 310 mm de asentamiento. La densidad disminuyó de 1988.1 kg/m<sup>3</sup> a 1418.4 kg/m<sup>3</sup> con 0.13% y 0.35% de aditivo espumante. En el caso de la resistencia a la compresión a los 28 días con 0.10%, 0.30% y 0.50% de aditivo espumante se visualizó una reducción de 5.24 MPa, 2.65 MPa y 3.90 MPa. Respecto a la conductividad térmica, se establece que existe una relación directamente proporcional con la densidad, en donde se tiene 0.129 W/m.K con 0.05% de aditivo espumante y 0.052 W/m.K con 0.40% de aditivo espumante, demostrando que a mayor cantidad de aditivo espumante se reduce la conductividad térmica.

En conclusión, al añadir aditivo espumante al concreto celular se logra aumentar el asentamiento, se reduce la densidad, existe una reducción en la resistencia a la compresión y se establece la relación de la densidad con la conductividad térmica.

*Palabras clave:* concreto celular, aditivos espumantes, propiedades físico-mecánicas, asentamiento, densidad, resistencia a la compresión, conductividad térmica.

## ABSTRACT

This research was focus on the collection of various national and international background and scientific articles, with the main objective of analyzing the foaming additives to improve the physical-mechanical properties of cellular concrete, with theoretical and experimental information knowledge was acquired about the percentage of foaming additive in the mixtures, which influence the settlement, density, compressive strength and thermal conductivity of cellular concrete.

The research was documentary/bibliographic, in which the information collected and reviewed was used the deductive method, with applied orientation and quantitative approach; In addition, the type of research is descriptive, explanatory and correlational, in the same way that its level was descriptive and an experimental, longitudinal, retrospective and cohort design was obtained.

The results of the research justify an improvement in the experimental data of the physical-mechanical properties of cellular concrete. An increase in slump was observed with 0.13% to 0.35% foaming additive; When using 0.35% of foaming additive, 230 mm and 310 mm of settlement were obtained. The density decreased from 1988.1 kg/m<sup>3</sup> to 1418.4 kg/m<sup>3</sup> with 0.13% and 0.35% foaming additive. In the case of compressive strength at 28 days with 0.10%, 0.30% and 0.50% of foaming additive, a reduction of 5.24 MPa, 2.65 MPa and 3.90 MPa was observed. Regarding the thermal conductivity, it is established that there is a directly proportional relationship with the density, where there is 0.129 W/m.K with 0.05% foaming additive and 0.052 W/m.K with 0.40% foaming additive, showing that the greater the amount of foaming additive reduces thermal conductivity.

In conclusion, by adding foaming additive to cellular concrete, settlement is increased, density is reduced, there is a reduction in compressive strength and the relationship between density and thermal conductivity is established.

*Keywords:* foam concrete, foaming additives, physical-mechanical properties, slump, density, compressive strength, thermal conductivity.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en el sector construcción el material que presenta una alta demanda en el mercado es el concreto. En la mayoría de los proyectos se sigue utilizando el concreto convencional, es por ello por lo que los constantes avances tecnológicos nos demuestran la existencia de diversos concretos como: de alta resistencia, autocompactantes, reforzados con fibras, arquitectónico y etc. Además, que se añade a la mezcla aditivos para potenciar sus propiedades físico-mecánicas del concreto.

Esta tesis tiene la finalidad de generar conciencia de los diversos tipos de concretos, pero en este caso se explicará en específico del concreto celular con un aditivo espumante, puesto que es poco usado en nuestro país y presenta múltiples ventajas, principalmente porque reduce las cargas muertas y tiende a ser un buen aislante térmico.

Se tiene como conocimiento que las propiedades físico-mecánicas del concreto mejoran al añadir a la mezcla un aditivo, puesto que estos influyen directamente en su resistencia y durabilidad. Con ello se logra obtener un concreto óptimo, que para la ingeniería civil es lo que se busca para seguir construyendo proyectos de calidad y aseguren el bienestar de la sociedad.

Las propiedades físico-mecánicas del concreto celular con aditivos espumantes fueron analizadas para estudiar las dosis empleadas de porcentaje de aditivo espumante que fueron empleados en el diseño de mezcla de las diversas investigaciones.

Esta investigación abarca cinco capítulos. En el primer capítulo, se presenta la realidad problemática, por la cual se desarrolló la formulación del problema y los objetivos, junto a su respectiva justificación y delimitación; en el segundo capítulo, se describe el marco teórico, añadiendo una breve reseña histórica del concreto celular y la recopilación de información de los resultados experimentales de los distintos autores que fueron seleccionados; en el tercer capítulo, se expone la formulación de las hipótesis, además de la operacionalización de las respectivas variables; en el cuarto capítulo, se explica acerca del marco metodológico que fue empleado durante el proceso de la elaboración de la presente tesis; en el quinto capítulo, se indica los resultados con su respectivo análisis en relación a la hipótesis. Por último, se presenta la discusión de los resultados, las conclusiones y sus respectivas recomendaciones.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos**

En el área de la ingeniería, durante el transcurso del tiempo, se ha dedicado a la indagación de nuevas y mejores alternativas para el sector constructivo. Desde el comienzo de la humanidad se han aprovechado los recursos existentes para inventar materiales que cubran las necesidades que la contemporaneidad va requiriendo hoy en día. (González y De la Cruz, 2015, p.13)

La modernización de la tecnología en la industria de la construcción, así como también el aumento de la exigencia de estructuras con diseños desafiantes para edificios de gran altura, estructuras que presentan alta densidad de acero, puentes o túneles, los cuales requieren que las propiedades de resistencia, durabilidad y trabajabilidad en el concreto sean cada vez más elevadas. Con el fin de alcanzar lo propuesto será imprescindible la selección de los materiales a usar para garantizar las buenas prácticas en la construcción, de tal manera, que estas determinen la calidad del concreto y del proyecto en general. (Arrieta y Medina, 2019, p.1)

Hoy en día, el concreto tiende a ser uno de los materiales más empleados en el ámbito constructivo; a pesar de esto, la presencia de la alta densidad como parte de sus propiedades es generada por el aumento de la carga muerta en las edificaciones elaboradas con este material, que equivalen a un elevado costo de la obra. Es cuando, se denota la exigencia de diseñar un material que minimice esta carga muerta sin reducir la calidad de la estructura. Es así como el concreto celular se introduce como una alternativa a esta problemática. (Chura, 2014)

El uso del concreto celular en países que se encuentran en América Latina tiene mayor acentuación en Brasil, Chile y México, países que hacen uso de concreto celular con polvo de aluminio, como también del concreto celular a base de espuma preformada. Sin embargo, en el resto de los países latinoamericanos existe una brecha que limita la comercialización masiva del concreto celular, a causa de la falta de conocimiento por parte del cliente, aun cuando existe la variedad de distintos artículos de investigación sobre este material, el campo de la investigación presenta una limitada cantidad de artículos sobre algunos tipos de concreto celular, los cuales no ofrecen la información requerida para su empleo continuo en la construcción. (Izquierda y Ortega, 2017, p.12)

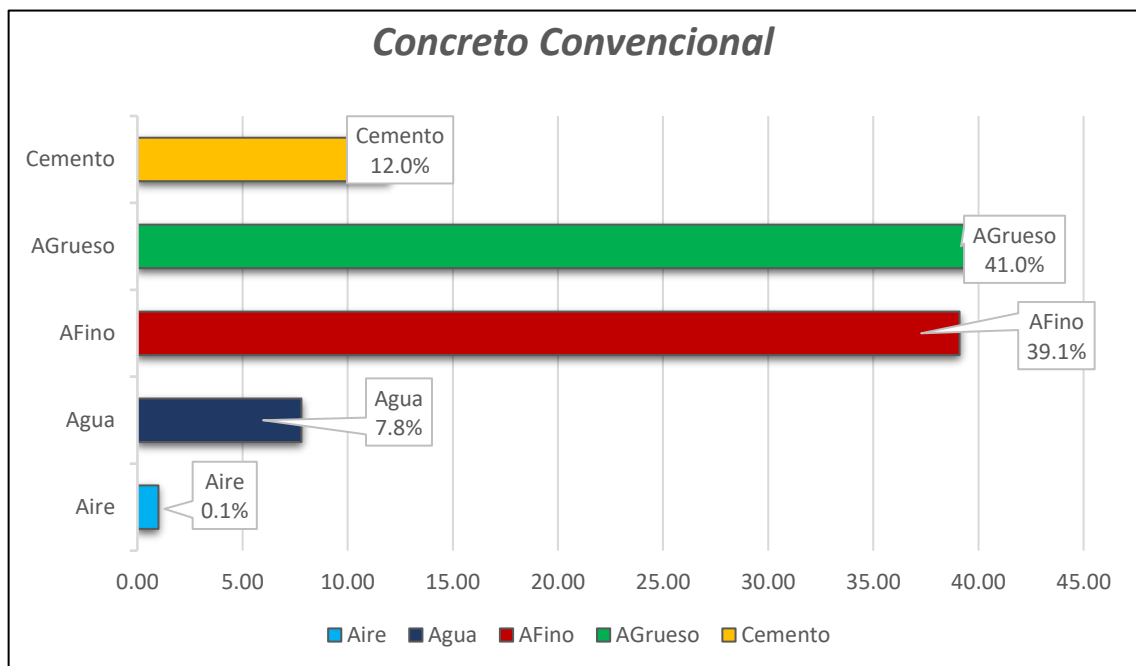
En la actualidad podemos encontrar varios tipos de concretos que han sido diseñados para diferentes casos, pero mayormente en el Perú se sigue empleando el concreto simple

compuesto con aditivos, lo cual no está mal, pero se podría reducir el costo, tiempo, mano de obra, etc., y además nos podría dar como beneficios el aumento de la resistencia, calidad, presentación de la estructura a construir. Bajo esta premisa, el costo y composición pueden variar. De esta forma queremos enfocarnos en estudiar la viabilidad del uso del aditivo espumante en el concreto celular.

De acuerdo con los estándares del ACI, se define al concreto ligero celular como “aquel en el que todo o parte del agregado grueso es sustituido por burbujas de gas o aire”. En las siguientes figuras se visualiza la composición en volumen de cada componente del concreto convencional y el concreto celular (ver Figura 1 y 2).

**Figura 1**

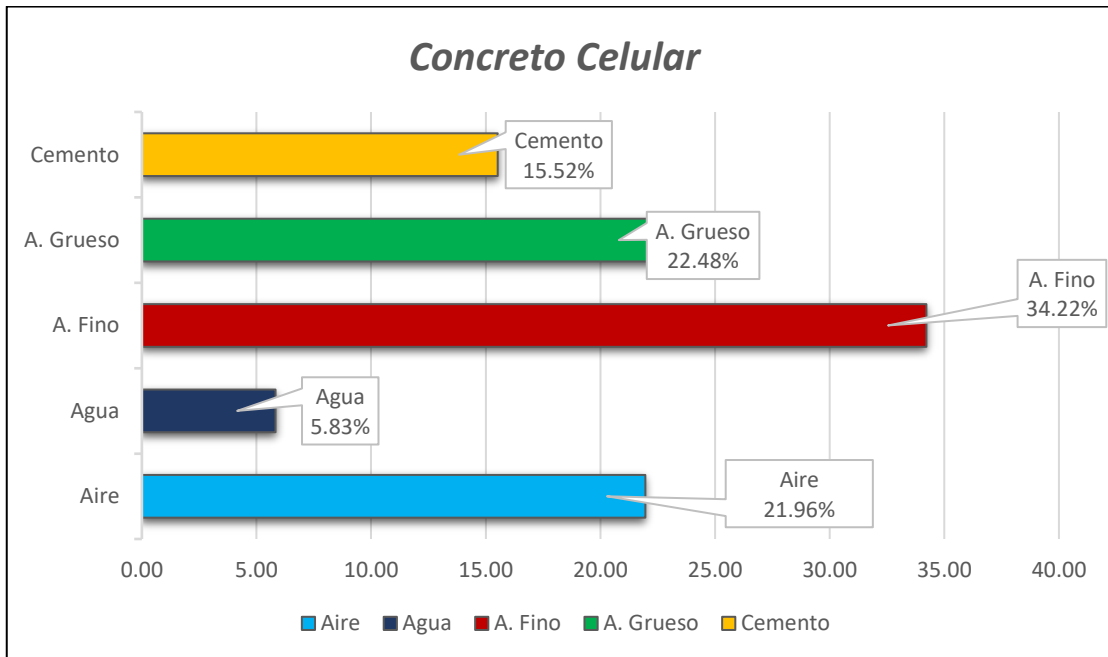
*Porcentaje en peso de materiales en el concreto convencional*



*Nota. Lazo (2019, p. 29)*

**Figura 2**

*Porcentaje en peso de materiales en un concreto celular con agregado grueso*



*Nota.* Lazo (2019, p. 29)

### **1.1.1 Problema general**

¿De qué manera los aditivos espumantes influyen en las propiedades físico-mecánicas del concreto celular?

### **1.1.2 Problemas específicos**

- ¿De qué manera el porcentaje de aditivos espumantes influyen en el asentamiento del concreto celular?
- ¿De qué manera el porcentaje de aditivos espumantes influyen en la densidad del concreto celular?
- ¿En qué medida el porcentaje de aditivos espumantes influyen en la resistencia a la compresión del concreto celular?
- ¿De qué manera la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes establece la conductividad térmica del concreto celular?

## **1.2 Objetivo general y específico**

### **1.2.1 Objetivo general**

Analizar los aditivos espumantes para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular.



### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- a) Analizar el porcentaje de aditivos espumantes para incrementar el asentamiento del concreto celular.
- b) Analizar el porcentaje de aditivos espumantes para reducir la densidad del concreto celular.
- c) Analizar el porcentaje de aditivos espumantes para reducir la resistencia a la compresión del concreto celular.
- d) Determinar la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes para establecer la conductividad térmica del concreto celular.

### **1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática**

La presente investigación se realiza en agosto de 2020 a setiembre del 2022. Tiene como muestra los ensayos de asentamiento, densidad, resistencia a la compresión y conductividad térmica. Además, tiene como temática principal del estudio de la variable independiente, en nuestro caso los aditivos espumantes.

### **1.4 Justificación e importancia**

#### ***1.4.1 Justificación de la investigación***

La presente investigación está justificada en el aporte de conocimientos, en base a los ensayos presentados, como una alternativa mediante el uso de concreto celular con aditivos espumantes respecto a las bondades de sus propiedades físicas y mecánicas de este. Así mismo, el uso de esta alternativa en comparación con el concreto convencional brindará beneficios en cuanto a costos y reducción de tiempo en la construcción de edificaciones.

#### ***1.4.2 Importancia de la investigación***

Esta investigación tiene la relevancia de fomentar la iniciativa de estudiar e indagar acerca de las propiedades físicas y mecánicas del concreto celular con la adición de aditivos espumantes, teniendo en cuenta que nuestra técnica de investigación se basa en la recolección de artículos científicos de diversos autores a nivel internacional como nacional. Además, descubrir nuevas tecnologías en la producción de concretos de baja densidad. De igual manera, indagar los beneficios adicionales, es por ello, que es necesario buscar materiales y tecnologías que cumplan las normativas y expectativas en el mercado de la construcción.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco histórico

Hace dos mil años, los romanos estaban haciendo una mezcla de concreto que consistía en grava pequeña y arena gruesa mezcladas con cal caliente y agua. Ellos pronto descubrieron que al agregar sangre animal a la mezcla y agitarla, pequeñas burbujas de aire fueron creadas que hicieron que la mezcla sea más manejable y duradera. También hay evidencia que los egipcios utilizaron una tecnología similar hace más de 5000 años. (Aldrige, 2005)

Los romanos hicieron uso del concreto liviano aproximadamente en el año 120 d.C., en el panteón de Agripa – Italia, durante la construcción de la cúpula, el peso del concreto (a base de cenizas de Pozzuoli) se reduce respecto al incremento de la altura hasta llegar a la cúpula, teniendo de composición: cemento, piedra pómez y tufo, además se disminuyó el espesor de la cúpula contrastado que va ascendiendo, esta edificación que cuenta con más de 2000 años de antigüedad resiste a los impactos de la naturaleza. (Arbitto, 2016, p. 14)

En la Figura 3 se muestra el Panteón de Agripa situado en la ciudad de Roma, Italia.

### Figura 3

#### *Panteón de Agripa*



*Nota.* Panteón de Agripa [Fotografía] (s.f.)

No se logró ningún avance significativo con esta clase de materiales cementosos aireado. Hasta principios de 1900, cuando la fabricación de cemento con alto contenido de aire los compuestos basados en materiales comenzaron a explorarse

comercialmente en Escandinavia (Suecia y Dinamarca). (Beningfield et al., 2005, p. 1)

El primer concreto celular a base de cemento fue patentado en 1923 por Axel Eriksson. Este concreto se conoce como Ytong (Amran, 2015, pp. 990-1005). En 1934 el Siporex está patentado en Suiza y se elabora a través de un proceso de curado de vapor inventado por Eklund. Los concretos espumosos se utilizan en la Unión Soviética desde 1938, donde se utilizaron procesos de fabricación introducidos por Kudriashoff a pesar de que su uso se limitó a elementos no estructurales. Fue en 1950 cuando se introdujo concreto aireado en el Reino Unido para elementos de carga utilizando la escoria de carbón de las plantas termoeléctricas. En 1970, el concreto celular se aplicó con éxito como agente cementante en pozos petrolíferos y como relleno en la excavación (Panesar, 2013, pp. 575-584). El primer proyecto a gran escala en el que participaron el concreto celular fue en 1980 en Escocia en el túnel ferroviario de Falkirk, con una cantidad de unos 4500 m<sup>3</sup> de concreto con una densidad de 1100 kg/m<sup>3</sup>. (Chica & Alzate, 201, p. 2)

## **2.2 Antecedentes del estudio investigación**

### **2.2.1 Artículos relacionados con el tema**

Falliano et al. (2020) en su investigación tiene como propósito estudiar componentes, los cuales son dos aditivos espumantes de proteína y sintético, con la finalidad de analizar como estas influyen en las respectivas propiedades del concreto celular, para esa forma encontrar un generador de espuma que sea simple y optimizado.

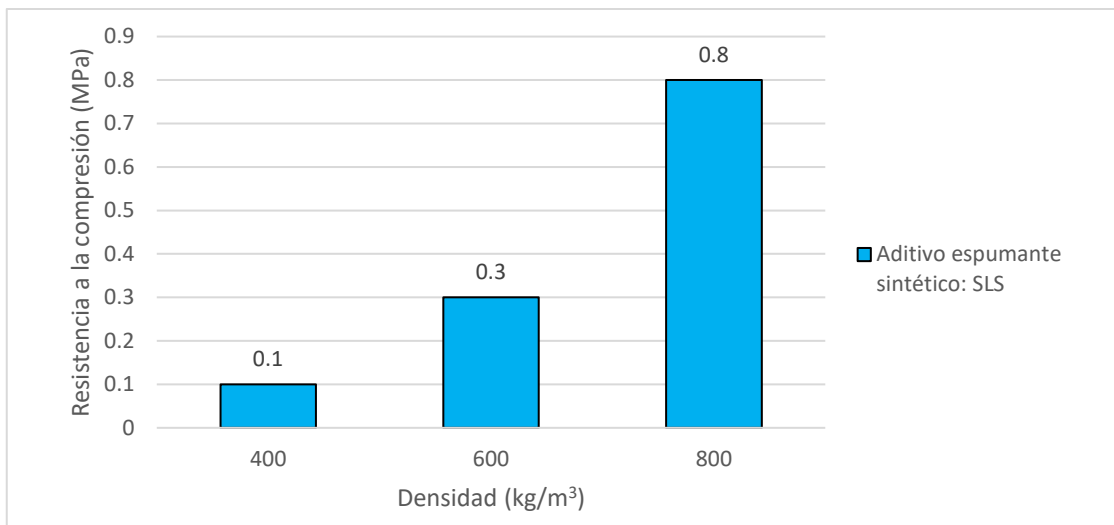
En este trabajo primero explica brevemente la estabilidad de la espuma, con ello se investiga las propiedades de las espumas con proteína (Espuma C) y el sintético (Laureth Sulfato de Sodio o SLS), se evaluó mediante pruebas, el aditivo espumante con proteína C tiene diferentes concentraciones de: 2%, 3%, 4% y 5%, con respecto al volumen del agua y el aditivo espumante sintético SLS tiene una concentración de 4% con respecto al volumen del agua, con ello se encontró su densidad y el porcentaje de drenaje. Después de analizar las propiedades de los aditivos espumantes se continua con el estudio de qué manera influyen en las propiedades del concreto celular, la cual tiene una mezcla de pasta cementicia.

Los resultados que se obtuvieron indican que el aditivo espumante sintético SLS, es caracterizada por tener densidades bajas y mayor capacidad de formación de espuma, lo

cual indica que a menor cantidad de espuma alcanzar una cierta densidad. En cuanto a la resistencia a la compresión indican que la espuma C con una concentración de 3% a 5% conduce a un aumento de aproximadamente del 60% en la resistencia de compresión ultraligeros ( $400 \text{ kg/m}^3$ ), pero para el caso de  $800 \text{ kg/m}^3$  no conduce diferencias apreciables (ver Figuras 4 y 5).

#### Figura 4

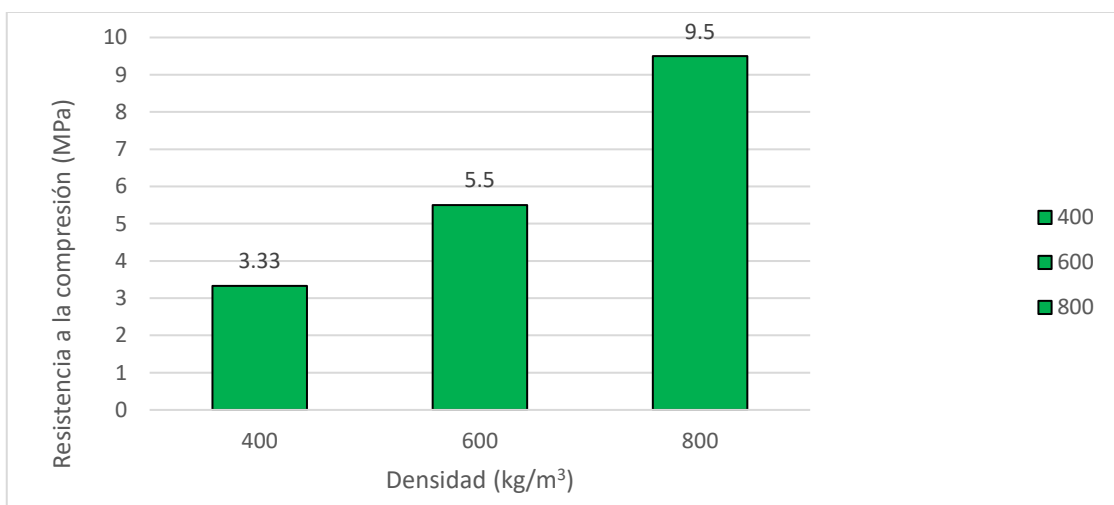
*Resistencia a la compresión del concreto celular producido con el material sintético aditivo espumante SLS*



Nota. Falliano et al. (2020, p. 13)

#### Figura 5

*Resistencia a la compresión del concreto celular producido con el material aditivo espumante Espuma C*



Nota. Falliano et al. (2020, p. 13)

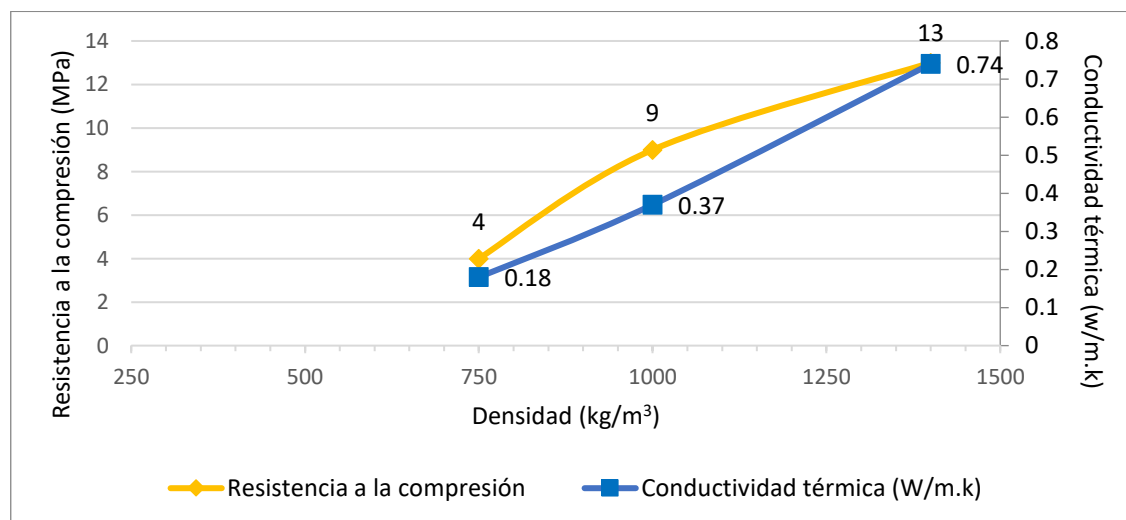
Raj et al. (2019) en su investigación tiene como propósito evaluar el constante avance del concreto celular durante los últimos años, como se ha ido reforzando sus propiedades, así también el desarrollo de nuevas materias primas cementicias, aditivos espumantes y fillers para aplicaciones específicas del concreto celular. Sin embargo, aún no se tiene mucho conocimiento de este concreto, pero todavía está en proceso de investigación.

En este trabajo se presenta los principales aspectos que influyen en el concreto celular: materias primas, métodos de producción y densidad. Trata de mostrar la aplicación de nuevas materias primas y algunas alternativas para que el concreto celular podría permitir modificaciones en las propiedades físicas y mecánicas para la aplicación en la construcción. También se analizó algunas dificultades encontradas en el proceso industrial, respecto al concreto celular, tales como la mezcla, transporte y bombeo, nos recomienda que se deba resolver para mejorar el potencial del concreto celular como material de construcción estructural.

En conclusión, no hay un método estándar disponible para el diseño de mezcla del concreto celular, es por ello por lo que se recomienda una relación mínima de agua/cemento de 0.3 para satisfacer el requisito de consistencia y estabilidad del concreto celular. Además, se visualiza como la resistencia a la compresión aumento en relación con la densidad, y de igual manera, la conductividad térmica incrementa directamente proporcional a la densidad (ver Figura 6).

**Figura 6**

*Variación de la resistencia a la compresión y conductividad térmica con la densidad*



*Nota.* Raj et al. (2019, p. 9)

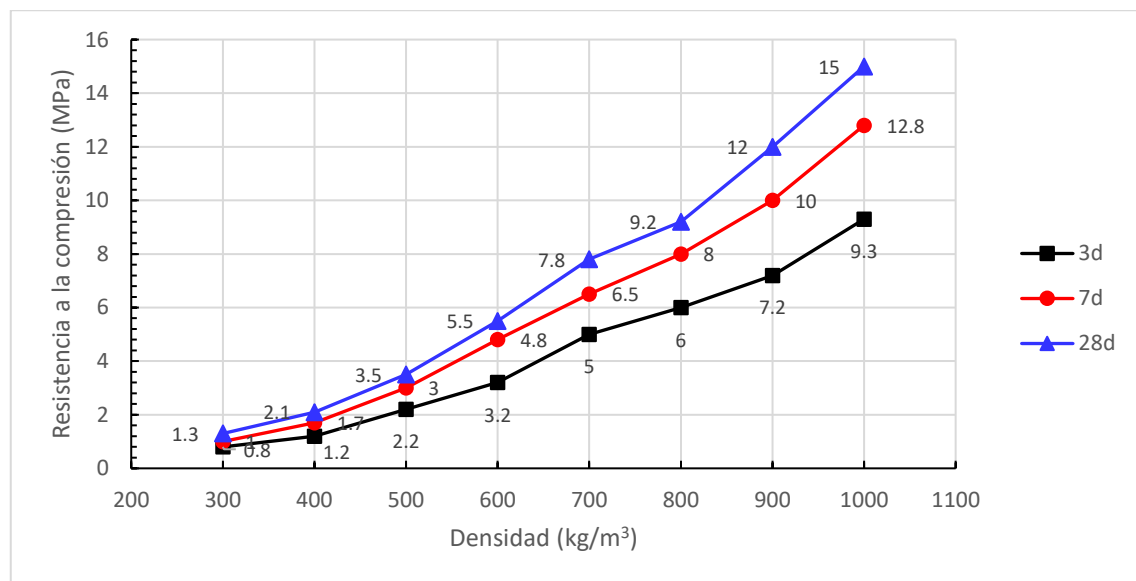
Li et al. (2020) en su investigación tiene como propósito preparar un concreto celular con baja conductividad térmica a partir desde la perspectiva de la selección de la materia prima, en este caso el cemento sulfoaluminato (SAC) como material cementante y la mezcla de nitrato de aluminio y bicarbonato de sodio como aditivo espumante.

En su trabajo se realizaron 24 muestras de ensayos los cuales en su diseño de mezcla tiene cemento sulfoaluminato y el aditivo espumante es la mezcla de nitrato de aluminio y bicarbonato de sodio, además, que se empleó un estabilizador de espuma, estearato de calcio.

En conclusión, cuando la densidad aumentó de 300 kg/cm<sup>3</sup> a 1000 kg/cm<sup>3</sup>, la resistencia a la compresión a 28 días del SAC-FC aumentó de 1.2 a 15.2 MPa. Por ejemplo, a una densidad de 700 kg/cm<sup>3</sup>, la concentración de 3 días y 7 días fue aproximadamente del 64.2% y el 84.5% de la concentración de 28 días, respectivamente (ver Figura 7).

**Figura 7**

*Resistencia a la compresión*



*Nota.* Li et al. (2020, p. 4)

Zhang et al. (2020) en su investigación tiene como propósito estudiar los efectos de los diferentes métodos de control sobre las propiedades mecánicas y térmicas del concreto celular ultraligero, mediante cuatro medidas para poder controlar su comportamiento.

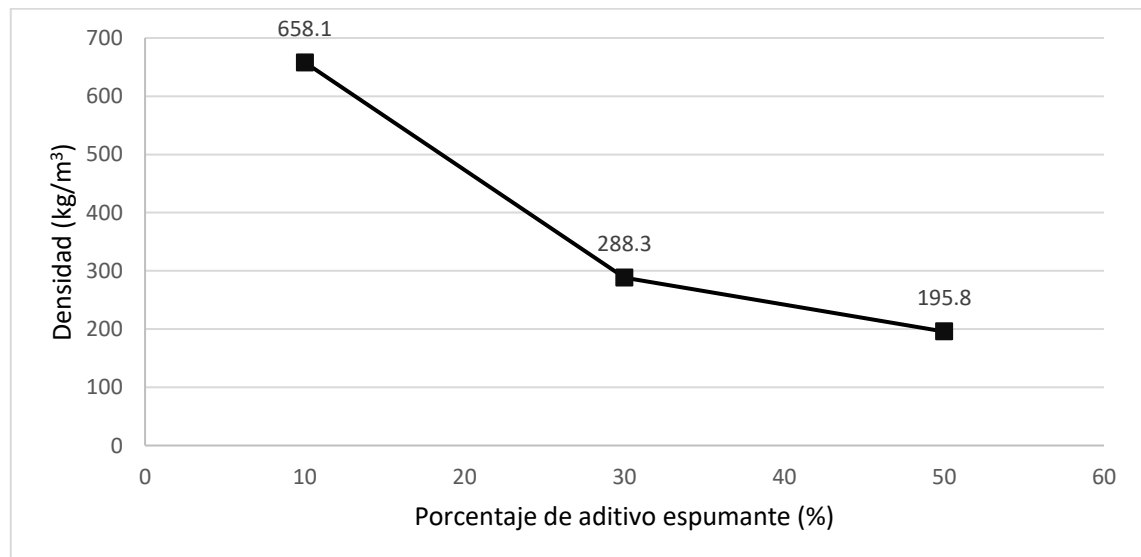
En esta investigación se preparó un diseño de mezcla que emplea cemento de sulfaluminato, aditivo espumante comercial tipo NB, HPMC, microesferas huecas y agua. La preparación de los especímenes tiene una relación a/c de 0.37, 0.42, 0.47, 0.52 y 0.57

y 30% de aditivo espumante. Para producir los especímenes se emplearon moldes de 40 x 40 x 160 mm<sup>3</sup> para los ensayos de densidad y resistencia a la compresión según la norma estándar China JG/T 266-2011.

En conclusión, según los resultados evaluados acerca del efecto del aditivo espumante con las propiedades mecánicas nos indican que al emplear mucha cantidad de espuma no se forma correctamente el mortero, puesto que el contenido de espuma tiene gran influencia en la estructura y rendimiento del concreto celular. Se utilizó una relación a/c de 0.42 respecto a 10%, 30% y 50% de aditivo espumante, donde la relación de la densidad y el contenido de porcentaje aditivo es inversamente proporcional (ver Figura 8). Para el análisis del efecto de las relaciones agua/cemento de 0.37, 0.42, 0.47, 0.52 y 0.57, este influye en el comportamiento reológico del mortero, resistencia a la compresión, etc. Se utilizó un 30% de aditivo espumante, donde la relación a/c aumentó de 0.37 a 0.42 y la resistencia a la compresión aumentó de 10.6%, pero cuando se aumenta agua a la relación a/c se disminuye la resistencia a la compresión (ver Figura 9).

### Figura 8

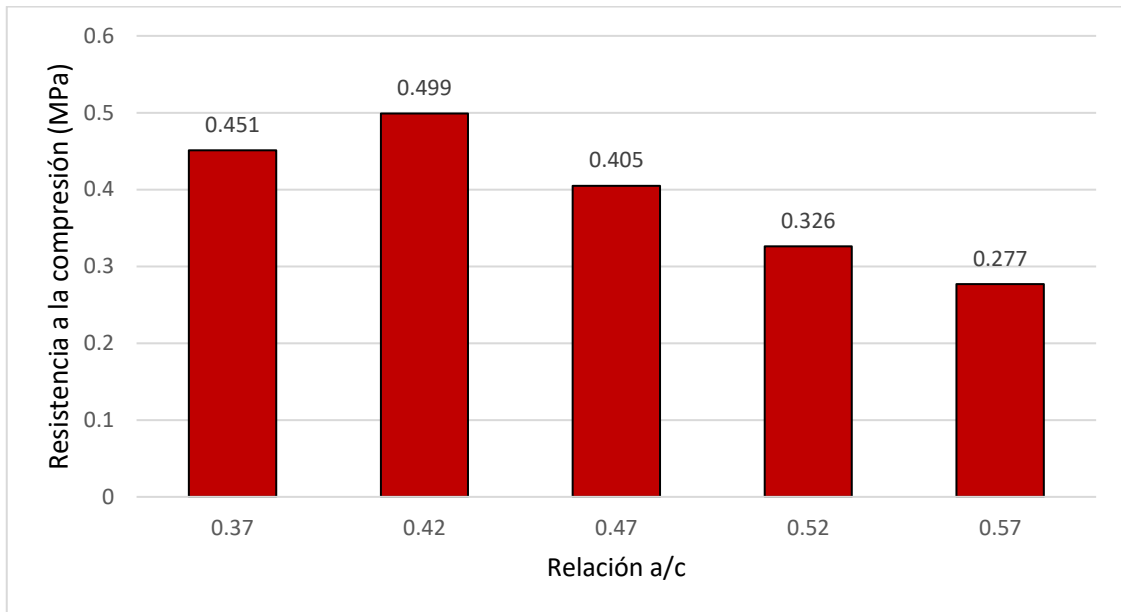
*Efecto del contenido de espuma en las propiedades del concreto celular*



*Nota.* Zhang et al. (2020, p. 5)

## Figura 9

*Efecto de las relaciones agua-cemento en las propiedades del concreto celular*



*Nota.* Zhang et al. (2020, p. 6)

### 2.2.2 En el ámbito nacional

Lazo (2017) sostuvo en su investigación estudiar los diseños de mezcla, analizar las propiedades físicas y mecánicas, como también, detallar las reacciones que influye la incorporación de agregados, pertenecientes a la región de Arequipa. Del mismo modo, se elaboró una comparación de los costos usados para el concreto celular con el concreto convencional.

Para el diseño de mezcla se elaboraron tres diseños: A (con cemento y arena), B (cemento, arena y arena pómez) y C (con arena y piedra del huso 89), con cada dosificación se elaboraron especímenes de concreto celular de diferentes densidades que varían de 1800 kg/m<sup>3</sup> hasta 1300 kg/m<sup>3</sup>.

En conclusión, se pudo afirmar que es factible conseguir concretos celulares a base de agregados de la cantera “La poderosa” en Arequipa, respecto a sus propiedades físico-mecánicas, la relación agua/cemento de 0.4 con 30-40% presentó una óptima fluidez, ni segregación ni desmoronamiento de la mezcla y finalmente se evaluaron los costos de las tres dosificaciones con diferentes densidades las cuales indicaron que el concreto celular tiende a ser un poco costoso, pero se justifica por las características que brinda.



Izquierdo y Ortega (2017) consideraron describir y analizar las características físicas y mecánicas del concreto celular con aditivos espumantes MasterCell 10 con el fin de poder ser utilizados como parte de muros de tabiquería.

Para el diseño de mezcla se realizaron tres diseños y de esos se escogió el diseño patrón, para el diseño de mezcla se ajustaron las proporciones del aditivo y la arena, todos los diseños de mezcla debían cumplir con las siguientes condiciones, el peso específico debía ser alrededor o menor que  $1000 \text{ kg/m}^3$  y la resistencia a la compresión mayor a 2.0 MPa. En conclusión, el diseño de mezcla fue apto para asegurar la densidad y la resistencia a la compresión que se planteaba como objetivo de la investigación. Además, se pudo comprobar la capacidad del concreto celular de disminuir el peso de las edificaciones al tener densidades entre  $800 \text{ kg/m}^3$  y  $1100 \text{ kg/m}^3$ .

Cordova y Flores (2021) su investigación tuvo como objetivo principal de la investigación fue analizar comparativamente las propiedades mecánicas del concreto celular para optimizar diseños utilizando aditivos espumantes.

La investigación fue experimental, donde se realizaron ensayos de compresión y densidad en las muestras de la misma, las cuales fueron hechas en probetas de concreto celular elaboradas con aditivo espumante y polvo de aluminio.

Los autores concluyeron que el polvo de aluminio optimiza las propiedades mecánicas existentes en el concreto celular, así mismo, acerca de la compresión se llegó a la resistencia final de 9.3 MPa a los 28 días, lo cual señala que se incrementó en un 96% relación al aditivo espumante que llegó a una resistencia a la compresión de 4.6 MPa con relación a su diseño del concreto celular. Además, al realizar el ensayo de densidad se resuelve que las propiedades encontradas en el diseño con agente espumante obtuvieron una diferencia de 10% con relación al diseño del concreto celular con polvo de aluminio.

Arapa (2016) centró la investigación en determinar y comparar las propiedades del concreto celular usando espuma de poliestireno y aditivo espumante para la fabricación de un concreto celular, y este pueda ser incorporado como una nueva metodología constructiva en la ciudad de Juliaca.

Para el diseño de mezcla de la investigación se empleó espuma de poliestireno y un aditivo espumante, aditivo espumante incorporador de aire Sika Aer. Se ensayaron 13 especímenes de tipo bloqueta y de unidades rectangulares macizas, empleando una relación agua/cemento de 0.64, además, se le denominó con una codificación de "T1".

Para poder analizar los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión simple y de bloqueta, conductividad térmica. Para hallar su densidad, conductividad térmica, resistencia térmica y termitancia.

En síntesis, se concluyó que las propiedades de un concreto celular usando espuma de poliestireno presenta una densidad reducida en relación con concretos convencionales, en cambio el concreto celular empleando un aditivo espumante tiene entre sus características que no tiene una baja densidad en comparación con el concreto de espuma poliestireno, en contraste, el más óptimo es el concreto celular con espuma de poliestireno debido a que tiene una estabilidad entre su masa, densidad y resistencia a la compresión.

### ***2.2.3 En el ámbito internacional***

Barcia y Lindao (2020) realizaron un estudio de factibilidad del concreto celular aireado con la finalidad de implementarlo como alternativa, puesto que, no está presente en el mercado.

Para el diseño de mezcla se elaboraron tres dosificaciones, para la primera dosificación se estuvo compuesta de cemento, agua y espuma, la segunda dosificación fue un rediseño de la primera dosificación, se le añadió un superplastificante reductor de agua para mejorar la fluidez de la mezcla y además se incorpora un aditivo acelerante, la tercera dosificación se diseñó para optimizar la mezcla en función de la resistencia requerida de 2.5 MPa, por lo cual se aumentará la densidad fresca.

En conclusión, las propiedades físico-mecánicas del concreto celular aireado de 530 kg/m<sup>3</sup> cumplen con los requisitos de la factibilidad técnica, además, el costo está por encima del concreto tradicional, pero se justifica porque tiene mayor dimensionamiento, por otra parte, es ligero y puede ser manipulado por una sola persona. Además, para su implementación en paredes divisorias o de tabiquería se concluyó que es factible cuando se requiera que la pared posea acabados, de esa forma se logra un ahorro económico del 31%.

Caicedo y Tipán (2019) determinaron las propiedades mecánicas del concreto ligero y celular mediante la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, módulo de Poisson, módulo de corte y módulo de rotura. De igual manera, fue la de encontrar un diseño de mezcla idónea para la fabricación con materiales cercanos a la ciudad de Quito. Esta investigación tuvo la finalidad de obtener resistencias a la compresión a los 28 días de por lo menos 20 MPa y densidades inferiores a 1920 kg/m<sup>3</sup>, utilizando agregados de

San Antonio y Guayllabamba, además, que se añadió un aditivo hiperplastificante y espumante al diseño de mezcla del concreto celular para así determinar cuál es el más favorable según las normas internacionales ASTM y naciones INEN.

En conclusión, se obtuvo a los 28 días una resistencia a la compresión para el concreto ligero de 28.2 MPa con una densidad promedio de 1919 kg/m<sup>3</sup> y para el concreto celular, además se comprobó que, con los diferentes ensayos, precisamente que la resistencia a la compresión es directamente proporcional.

Gómez y Mora (2021) centraron como objetivo principal el obtener un concreto celular basándose en cerámica cocida y un espumante RV-2020 con una densidad menor a 2400 kg/m<sup>3</sup> con una resistencia a la compresión mayor a 6.5 MPa. Así mismo; elaboraron especímenes con densidades de 1200 kg/m<sup>3</sup> y 1440 kg/m<sup>3</sup> hechos en base a arena los cuales fueron usados como muestra patrón y muestras elaborada con cerámica cocida. En síntesis, en base a los resultados que se obtuvieron se realizó un análisis para la óptima verificación en realizar la producción de hormigón celular hecho con cerámica cocida.

Yoc (2018) centró la investigación en determinar un diseño de mezcla según el comité ACI 523.3R-14 para un concreto celular con espuma preformada. Además, de presentar al concreto celular como una opción más al productor de prefabricados. Durante el desarrollo experimental se diseñó un concreto celular de espuma preformada, teniendo 5 tipos de dosificaciones (A, B, C, D y E), añadiendo arena pómez como un agregado, el cual se caracteriza por ser un abundante material procedente de la zona, además, la relación a/c es de 0.46. Se evaluó las principales propiedades físico-mecánicas mediante ensayos de laboratorio en estado fresco y endurecido del concreto según los reglamentos del NTG y ASTM. Se calculó el porcentaje de absorción de agua y realizan ensayos de resistencia a la compresión. En conclusión, según el estudio realizado se afirmó que con la adición de la arena pómez, pedrín basáltico y espuma preformada se obtiene una densidad de 1240 kg/m<sup>3</sup> a 1370 kg/m<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión de 60.16 MPa a los 56 días de edad, caracterizándose por su fluidez. Respecto a la inclusión del concreto celular se detectó dificultades en la colocación de los moldes, pero, se puede emplear para producir paneles especialmente para muros no estructurales.

## 2.3 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

### 2.3.1 Concreto Celular

El concreto celular es un tipo de concreto liviano, también conocido como concreto aireado, puesto que, tiene una estructura de células vacías homogéneas, esto quiere decir, reemplazan los agregados tradicionales por otros de menor densidad. A simple vista se puede reconocer por ser de material ligero y de aspecto poroso con una apariencia de color gris blancuzco (ver Figura 10).

#### Figura 10

##### *Concreto celular*

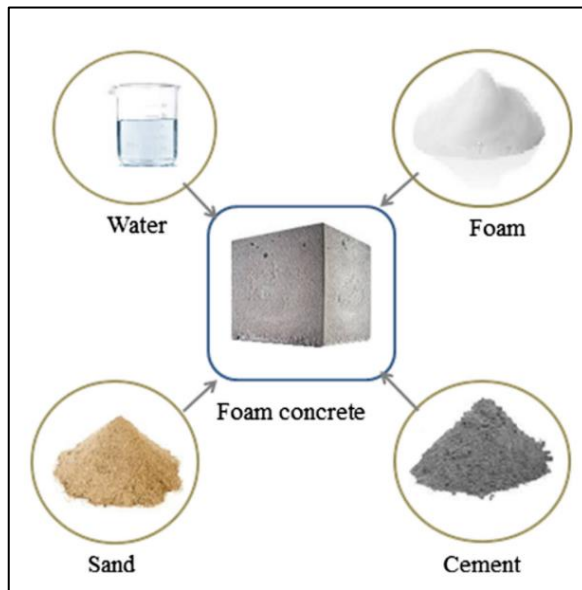


*Nota.* Lazo (2017, p. 20)

Según el Instituto Americano del Concreto (ACI), define que el concreto celular es: “Aquel en el cual todo o parte del agregado grueso es sustituido por burbujas de aire”. Este concreto se caracteriza por ser de baja densidad, el cual varía de  $320 \text{ kg/m}^3$  a  $1920 \text{ kg/m}^3$ . El diseño de mezcla se obtiene incorporando cemento, arena de sílice, agua y un aditivo espumante, el último genera una formación de burbujas de aire que puede variar entre 20% a 50%, produciendo que el concreto reduzca su peso (ver Figura 11).

## Figura 11

### *Materiales para el concreto celular*



*Nota.* Raj et al. (2019, p. 2)

Para la preparación del concreto celular hay diversas formas de elaborarlo, aunque se puede sintetizar.

Según Izquierda y Ortega (2017), nos menciona tres categorías:

1. Métodos que dependen de una reacción química.
2. Métodos que dependen de un batido mecánico.
3. Métodos híbridos, depende tanto de un batido mecánico, de la performance de la concentración de un aditivo espumante inteligente y una reacción química. (p.24)

Para comprender las características físicas y mecánicas que tiene el concreto celular, que lo vuelve particular, en comparación con el convencional, se mencionara las más principales:

- Resistencia a la compresión  
“La resistencia tiene una relación directa con la densidad obtenida en el diseño de mezcla. No obstante, también tiende a depender de la relación agua/cemento (a/c), el contenido de humedad y su tipo de elaboración” (Muciño y Santa Ana, 2017).
- Densidad  
Lo más sustancial que tiene la densidad en el concreto celular, es que depende de la cantidad de aditivo espumante y el tiempo de mezcla, es más, está relacionada a la resistencia mecánica y conductividad térmica. Asimismo, se caracteriza por tener una baja densidad, y se debe por su método de elaboración y el tipo de

material que se emplea en ella. De esa forma se obtienen una diversidad de densidades, las cuales tienen diferentes funciones para cada una de ellas.

Según Rengifo y Yupangui (2013) nos informan que se tiene las siguientes aplicaciones de acuerdo con su densidad:

- Concreto celular con densidad entre 250 – 550 [kg/m<sup>3</sup>]  
Tiene como finalidad la protección contra incendios y aislamiento térmico (es decir que al aumentar el aislamiento térmico se reduce el peso específico y la resistencia mecánica).
- Concreto celular con densidad entre 600 – 800 [kg/m<sup>3</sup>]  
Se emplea en rellenos, en coberturas ambientales para prevención de derrumbes, cubiertas anti-erosión, impermeabilización, en rellenos detrás de arcos, en reacondicionamiento de sistemas de alcantarillado, y mampostería.
- Concreto celular con densidad entre 800 – 900 [kg/m<sup>3</sup>]  
Se emplea en la fabricación de elementos de bloques y otros elementos no portantes, como particiones, perfiles de balcones, entre otros.
- Concreto celular con densidad entre 1100 – 1400 [kg/m<sup>3</sup>]  
Se emplea en paredes prefabricadas o fundidas en el sitio, estas pueden ser portantes o no portantes, además se utiliza con éxito en nivelado de pisos.
- Concreto celular con densidad entre 1600 – 1800 [kg/m<sup>3</sup>]  
Se emplea en losas y en otros elementos portantes, en donde exige mayor resistencia. (p. 14)

Según Lazo (2017) nos indica que las aplicaciones se dan por las diversas propiedades que ofrece el concreto celular, las más importantes son:

- Reducción de la carga muerta  
Al ser un concreto de baja densidad reduce las cargas muertas en las edificaciones de gran altura. Su empleabilidad es importante en áreas de alto riesgo sísmico. Por otro lado, tiene la ventaja de manejabilidad en el transporte del material, acarreo y colocación.
- Aislamiento térmico  
El concreto celular es especial por su alto aislamiento térmico y esto se debe por su porosidad, esta presenta espacios o burbujas de aire, las cuales no están anexas entre sí, que permiten que se efectúe la conductividad térmica de manera constante.
- Resistencia al fuego  
El concreto celular tiene una resistencia al fuego por la reducción de su densidad, esto se debe por la estructura homogénea que posee, al no tener mucha cantidad de

agregado grueso no se producen expansiones y desintegración al concreto. Esto permite que tenga mayor capacidad de no ser combustible. (p. 49)

### **2.3.2 Aditivos Espumantes**

Para obtener un concreto celular con una baja densidad se logra obtener con la adición de una cantidad de espuma, es decir, de algún aditivo espumante al diseño de mezcla. Este aditivo, puede ser de origen orgánico o inorgánico. Tal como se pudo apreciar en las investigaciones relacionadas con el tema los porcentajes de aditivos van de 0.1% a 50%, la cantidad varía según las especificaciones que requiera el concreto. Agregando a lo anterior, los aditivos espumantes alteran las propiedades físicas y mecánicas del concreto celular en su estado fresco y endurecido. El aditivo espumante ha dado la ventaja de producir diferentes tipos de concretos, esto ha proporcionado que se potencie la construcción, puesto que facilita y optimiza, es reconocido por ser un nuevo producto. (Izquierda y Ortega, 2017, p. 24)

Clasificación:

- Según Norma ASTM C494: Reductores de agua, retardantes, acelerantes, reductor de agua retardante, reductor de agua acelerante, súper reductor de agua, súper reductor de agua retardante.
- Según Comité 212 del ACI: Acelerantes, reductores de agua y que controlan el fraguado, inyecciones, incorporadores de aire, extractores de aire, formadores de gas, expansivos, impermeables, reductores de permeabilidad, pegantes o epóxicos, inhibidores de corrosión, fungicidas e insecticidas, floculadores, colorantes.
- Aditivos que modifican el contenido aire: Incorporadores de aire, antiespumantes, formadores de gas, formadores de espuma. (Arbitio, 2015, p. 26)

### **2.3.3 Ensayos en estado fresco**

En estado fresco, la mezcla de concreto celular tiene una reología fluida y autocompactante. Por lo tanto, deben tenerse en cuenta diferentes parámetros como consistencia, reología, estabilidad, trabajabilidad y compatibilidad. Estos parámetros están influenciados principalmente por la proporción de agua/cemento (a/c), materiales suplementarios, agregado fino/grueso, plastificantes, el volumen y tipo de aditivos espumantes agregados. (Mugahed et al., 2015, p. 4)

A continuación, se mencionará ensayos que se encuentran estandarizados para concretos:

NTP 339.035 / ASTM C 143: Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams. Este ensayo se caracteriza por tener como objetivo determinar el asentamiento del concreto en estado fresco. Para realizar este ensayo se necesita un molde tronco cocino donde se consolidará la mezcla de concreto para poder medir el asiento del pastón luego del desmoldado (ver Figura 12).

### **Figura 12**

*Asentamiento con aditivo espumante  $1\text{kg}/\text{m}^3$*



*Nota. Veliz y Vásquez (2018, p. 81)*

NTP 339.046 / ASTM C 138: Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. Este ensayo se caracteriza por tener como objetivo determinar la densidad del concreto recién mezclado, además por medio de fórmulas se calcula el rendimiento, contenido de cemento y el contenido de aire, para comprender las propiedades de la mezcla. Por otro lado, se realiza colocando la muestra en un molde, según las normas, consolidando el concreto y enrazando el sobrante y se determina el peso de la muestra en el molde (ver Figura 13). Con estos datos se obtiene el valor de la densidad, en el caso del rendimiento y el contenido de aire se necesita saber la referencia del agua y las densidades de los materiales.



## Figura 13

### *Cálculo de la densidad del concreto*



*Nota.* Elaboración propia

### **2.3.4 Ensayos en estado endurecido**

En estado endurecido, la mezcla de concreto ha terminado de fraguar, como resultado llega a un estado sólido. Ante ello, se puede determinar la resistencia y durabilidad del concreto celular en distintas edades. Con la finalidad de poder obtener los resultados estimados y estén conforme, y sobrepongan, a los estándares de calidad de las NTP y ACI.

A continuación, se mencionará ensayos que se encuentran estandarizados para concretos.

#### a) Resistencia a la compresión

NTP 339.034 / ASTM C 39: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Este ensayo se caracteriza por tener como objetivo determinar la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas y extracciones de diamantina. Para la obtención de los resultados, estos van a variar según el tamaño y la forma de la probeta, tanda, proceso de mezclado, método de muestreo, moldeo y elaboración, temperatura y condiciones de humedad durante el curado. Sirve para tener un control de calidad del concreto, respecto a las proporciones,

el mezclado y las operaciones de colocación, y, por último, control para la evaluación de la efectividad de los aditivos (ver Figura 14).

### **Figura 14**

#### *Dispositivo para ensayo de compresión*



*Nota.* Elaboración propia

#### b) Ensayo de densidad de equilibrio

NTP 339.187 / ASTM C 567: Método de ensayo normalizado para la determinación de la densidad en el concreto estructural liviano. Este ensayo se caracteriza por tener como objetivo determinar la densidad de un concreto liviano en el estado endurecido. De tal manera, que se cumplan las especificaciones técnicas, a menos que se indique lo contrario, mediante cálculo o medición. De igual forma, se empleará tres especímenes en forma de cilindros para las respectivas mediciones (ver Figura 15).

## Figura 15

*Especímenes en forma cilíndricas de 15 x 30 cm*



*Nota.* Elaboración propia

### c) Ensayo de conductividad térmica

NTP 339.184 / ASTM C 518: Método de prueba estándar para las propiedades de transmisión térmica en estado estacionario por medio del aparato medidor de flujo de calor. Este ensayo se caracteriza por tener como objetivo determinar la temperatura del concreto mediante especímenes de losa plana en el estado endurecido. Con la finalidad de calificar las propiedades del ensayo, para evaluar sus condiciones de uso (ver Figura 16).

## Figura 16

Medidor de flujo de calor Probador de conductividad térmica ASTM E1530 ASTM C518



Nota. Made-in-China (s.f.)

## 2.4 Definición de términos básicos

### Concreto

“Está formado por cemento, agregados y agua, en determinadas proporciones; el cemento más el agua forman lo que se conoce como pasta, la cual actúa como aglomerante de los agregados” (Zuñiga, 2012, p. 165).

### Concreto celular

El concreto celular es un material ligero de aspecto poroso y de color generalmente gris blancuzco, conocido también como concreto aireado o concreto expansivo, se obtiene introduciendo burbujas de gas en la mezcla plástica de cemento para obtener un material con estructura celular. (Lazo, 2017, p. 28)

### Aditivos para el concreto celular

“Es un líquido viscoso que produce una espuma de alta estabilidad que resiste las fuerzas múltiples que ocurren durante la mezcla, transporte, bombeo, vaciado y proceso de fraguado de concreto o mortero celular” (Montes, s.f.).

### Porcentaje de aditivo espumante

“Es la dosis en porcentaje de aditivo añadida al diseño de mezcla con la finalidad de generar modificaciones en las propiedades o en el comportamiento del concreto” (Rodríguez, 2018, p. 47).

### Asentamiento

Se regirá bajo la normativa NTP 339.035: “Es el método que controla la calidad mediante la medición de la consistencia del concreto, el cual indica el grado de fluidez, si está seco o fluido el concreto”.

### Densidad

Según la Norma ASTM: “La densidad, de un material se define, como la masa por unidad de volumen de un material, expresada en  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ )”.

### Resistencia a la compresión

Es la principal propiedad mecánica del concreto. Se define como la facultad para tolerar una carga por unidad de área, y se representa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$ , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi). Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada ( $f'c$ ) para una estructura determinada. (CEMEX, 2019)

### Conductividad térmica

“La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor” (Equipo y Laboratorio, 2020).

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 *Hipótesis general*

Al analizar los aditivos espumantes para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular

#### 3.1.2 *Hipótesis secundarias*

- a) Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes se incrementa el asentamiento del concreto celular
- b) Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes se reduce la densidad del concreto celular.
- c) Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes se reduce la resistencia a la compresión del concreto celular.
- d) Al determinar la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes se establece la conductividad térmica del concreto celular.

### 3.2 Variables

#### 3.2.1 *Definición conceptual y operacional*

##### 3.2.1.1 **Definición conceptual.**

Aditivo espumante:

“Es un líquido viscoso que produce una espuma de alta estabilidad que resiste las fuerzas múltiples que ocurren durante la mezcla, transporte, bombeo, vaciado y proceso de fraguado de concreto o mortero celular” (Montes, s.f.).

Propiedades del concreto:

“Están determinadas por las características físicas, químicas y mecánicas de la mezcla, compuesta por: agregados, cemento, agua, filler y/o aditivos, siendo estos los que definen la calidad del concreto” (Chumán y Rivas, 2020, p. 68).

##### 3.2.1.2 **Definición operacional.**

Aditivo espumante

Se adicionan al concreto durante el mezclado en pequeños porcentajes que van desde el 0.1% hasta el 5% de la masa o del peso del cemento según el producto seleccionado y el efecto que se desee obtener sobre el concreto. Los aditivos

modifican las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado fresco o endurecido. (Arbitro, 2015, p. 26)

Propiedades del concreto:

El concreto se caracteriza por evaluar sus propiedades en dos estados, fresco y endurecido. Según Construyendo Seguro (2021) el estado fresco “es aquel que acaba de ser mezclado. Por lo tanto, es una mezcla trabajable”, en cambio el estado endurecido “como bien dice su nombre está en una condición sólida, sus propiedades principales son la elasticidad y resistencia con ellas podemos verificar la calidad del concreto”.

### 3.2.2 Operacionalización de variables

#### 3.2.2.1 Variable Independiente.

Aditivos espumantes

#### 3.2.2.2 Variables dependientes.

Propiedades físicas y mecánicas del concreto celular

En la Tabla 1 se presenta de forma resumida la operacionalización de las variables, en cambio, las Tablas 2 y 3 se elaboró más detallada la operacionalización de la variable independiente y dependiente.

**Tabla 1**

*Resumen de operacionalización de las variables*

Variable Dependiente		Variable Independiente
Propiedades del concreto		Aditivos espumantes
Fresco	Asentamiento	
	Densidad	Proporción (% en masa)
Endurecido	Resistencia a la compresión	
	Conductividad térmica	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 2***Operacionalización de la variable independiente*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta	Ítem
Aditivos espumantes	“Es un líquido viscoso que produce una espuma de alta estabilidad que resiste las fuerzas múltiples que ocurren durante la mezcla, transporte, bombeo, vaciado y proceso de fraguado de concreto o mortero celular” (Montes, s.f.).	Se adicionan al concreto durante el mezclado en pequeños porcentajes que van desde el 0.1% hasta el 5% de la masa o del peso del cemento según el producto seleccionado y el efecto que se desee obtener sobre el concreto. Los aditivos modifican las propiedades físicas y mecánicas del hormigón en estado fresco o endurecido. (Arbitto, 2015, p. 26)	Técnicas	Porcentaje del aditivo espumante	Tipos de aditivos	%	Cuantitativa cont.	Normas nacionales e internacionales, tesis de grado, libros, investigaciones, entre otros.	Normas ASTM C869	Contenido de tesis

*Nota.* Elaboración propia



**Tabla 3***Operacionalización de la variable dependiente*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta	
Propiedades del concreto celular	“Están determinadas por las características físicas, químicas y mecánicas de la mezcla, compuesta por: agregados, cemento, agua, filler y/o aditivos, siendo estos los que definen la calidad del concreto. (Chumán y Rivas, 2020)	“El proceso del estado fresco se caracteriza por ser una masa blanda, es decir que puede ser trabajado o moldeado durante la colocación y compactación”. (Dominguez, 2015)	Concreto Fresco	Asentamiento	Manejabilidad	mm	Cuantitativa cont.	Normas nacionales e internacionales, tesis de grado, libros, investigaciones, entre otros.	ASTM C 39	
										NTP 339.034
				Densidad	Peso/Volumen	kg/m <sup>3</sup>			NTP 339.036 y ASTM C172	
				Resistencia a la compresión	Comprensión	MPa			NTP 339.035 y ASTM C143.	
		El proceso del estado endurecido del concreto comienza después que ha fraguado, empieza a adquirir resistencia y se endurece.	Concreto Endurecido					NTP 339.046 y ASTM C138		
				Conductividad térmica	Aislamiento	W/(m.K)		NTP 339.184 y ASTM C1064		
								ASTM C 231		

*Nota.* Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Método de la investigación**

El método que se empleó en esta investigación fue deductivo, porque el propósito del estudio es demostrar que se mejoraron las propiedades físico-mecánicas del concreto celular a partir de la variable independiente que son los aditivos espumantes. La orientación es aplicada, porque se analizó las propiedades físico-mecánicas del concreto celular con la finalidad de dar solución al problema planteado. El enfoque fue cuantitativo porque a partir de la recolección de datos de los artículos científicos se obtuvo resultados numéricos para contrastar las hipótesis. La recopilación de datos fue retroactivo, puesto que implicó filtrar información, artículos científicos, referente al tema en estudio.

### **4.2 Tipo y nivel de la investigación**

#### ***4.2.1 Tipo de la investigación***

El tipo de la presente investigación fue descriptiva, correlacional y explicativa, porque nace de una problemática planteada, por ende, se explica y plantea una solución en base a las fuentes bibliográficas, antecedentes, etc., además se correlacionó las variables, puesto que las propiedades físico-mecánicas del concreto celular dependen del porcentaje de los aditivos espumantes.

#### ***4.2.2 Nivel de la investigación***

El nivel de la presente investigación fue descriptivo porque permitió estudiar las variables, de manera que describió lo característico de cada una de ellas, mediante el estudio del asentamiento, la densidad, resistencia a la compresión y conductividad térmica del concreto celular.

### **4.3 Diseño de la investigación**

El diseño de la presente investigación fue experimental, puesto que, de la información recopilada se analizó los porcentajes de aditivos espumantes. De acuerdo con, el número de mediciones fue diseño longitudinal porque se analizaron los cambios a través tiempo en la variable independiente, aditivos espumantes, en relación con la variable dependiente: asentamiento, densidad, resistencia a la compresión y conductividad térmica. De acuerdo con, la cronología de la investigación fue retrospectivo porque se tiene una filtración de datos. El estudio de diseño es de cohorte puesto que, lo que se

estudió tiene causa en el presente (incorporación de aditivos espumantes) y efecto en el futuro (mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular).

#### **4.4 Población y muestra**

La presente investigación fue documental/bibliográfica porque empezó a seguir un proceso de recolección para seleccionar e interpretar la información acerca de los aditivos espumantes, para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular.

##### ***4.4.1 Población***

La población de estudio que se tomó en consideración fueron los artículos científicos, las tesis nacionales e internacionales publicados desde el año 2018 al 2022, fueron recolectados por diversas bases de datos y repositorios de tesis de distintas universidades.

##### ***4.4.2 Muestra***

La muestra de estudio de la presente investigación viene a ser los ensayos de asentamiento, densidad, resistencia a la compresión y conductividad térmica del concreto celular realizados en los artículos científicos de referencia según las normas establecidas de cada país.

#### **4.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

##### ***4.5.1 Tipos de técnica e instrumentos***

Para la técnica de recolección de datos se empleó diferentes plataformas como páginas web, videos académicos, repositorios universitarios, asesoramiento virtual y plataforma de datos académicos (ResearchGate, Scopus Preview y ProQuest), puesto que facilitó en la recopilación de artículos científicos y antecedentes. Además, se llevó a cabo esta técnica de recopilación de datos por este medio por la actual problemática sanitaria (COVID-19).

##### ***4.5.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos***

Los instrumentos de recolección de datos que se emplearon en esta investigación fueron las plataformas de las fuentes documentales, sobresaliendo: las revistas científicas, libros y tesis; es por ello que se seleccionaron las revistas científicas debido a que se caracterizaron por ser periódicas y accesibles, además porque siguen protocolos especializados, los cuales se dedican en revisar y calificar los artículos mediante mecanismos como el peer review o también conocido como la revisión por pares.

#### ***4.5.3 Proceso para la recolección de datos***

El instrumento de recolección de datos que se empleó en esta investigación fueron las páginas web, estas se caracterizaron por contener información de cualquier tema solicitado, son verídicas y diversas. Además, que permite el acceso a información de diversos países, no solo se restringe al entorno local, facilitando la recolección de datos. Por consiguiente, por medio de estas se filtró la información requerida para la elaboración de nuestra contrastación, interpretación y conclusiones.

#### **4.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información**

Para el procesamiento y análisis de la información, se recolectó los artículos científicos, los cuales fueron leídos minuciosamente y seleccionados para utilizar la información concisa y necesaria de los ensayos de asentamiento, densidad, resistencia a la compresión y conductividad térmica del concreto celular. Simultáneamente, se elaboró una hoja de cálculo en Excel donde se recopiló en una tabla los datos de las variables dependientes, con ello se graficó las figuras y tablas para los resultados de la investigación.

## **CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **5.1 Resultados de la investigación**

Con una colección de artículos científicos relacionados con el tema de investigación de la presente tesis, se analizó cada artículo y se seleccionaron 5 artículos más resaltante en contraste los demás artículos. En primer lugar, se presentan los artículos relacionados con el asentamiento. En segundo lugar, se presentan los artículos relacionados con la densidad. En tercer lugar, se presentan los artículos relacionados con la resistencia a la compresión. Y, por último, se presentan los artículos relacionados con la conductividad térmica, todos los grupos analizaron las propiedades físico-mecánicas del concreto celular de los diseños de mezclas con aditivos espumantes.

#### **Objetivo 1: Analizar como el porcentaje de aditivos espumantes para incrementar el asentamiento del concreto celular**

Artículo 1: Estudio sobre concreto celular de poliuretano para uso en aplicaciones estructurales. Kattoof, I. (2018)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó un aditivo espumante de poliuretano.
- Los porcentajes de aditivo espumante empleados en este artículo fueron de 0.10% y 0.13%.
- Contenido de mezcla: Se utilizó aditivo espumante, cemento portland ordinario tipo I, agregado fino arena, cenizas volantes y agua.
- Método de ensayo: La norma ASTM C 1611 fue realizada para la prueba de asentamiento.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 4 y Figura 17:

**Tabla 4**

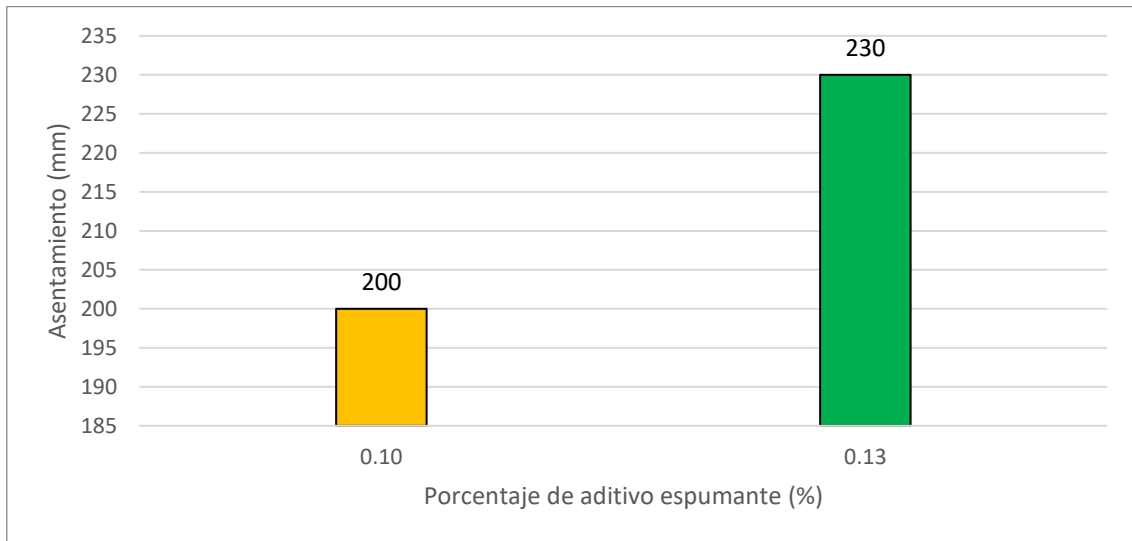
*Ensayo de asentamiento (mm) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Asentamiento (mm)
0.10	200
0.13	230

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 17**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs asentamiento (mm)*



*Nota.* Elaboración propia

Artículo 2: Efectos del tipo de aditivo espumante sobre la trabajabilidad, la contracción por secado, la resistencia a las heladas y la distribución de poros del concreto celular. Sun, Guo, Zhang & Sun (2018)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó tres tipos de aditivo espumante de tensioactivos a base de: origen animal (AS), sintético (SS) y vegetal (PS).
- El porcentaje de aditivo espumante empleado fue de 0.30 %.
- Contenido de mezcla: Se utilizó tres tipos de aditivo espumante, cemento portland tipo chino 52.5 P.II, agregado fino y agua.
- Método de ensayo: Para la elaboración de los especímenes se vertió el concreto celular en un cilindro con un diámetro y longitud de 80 mm y fue colocado sobre una placa de vidrio.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 5 y Figura 18:

**Tabla 5**

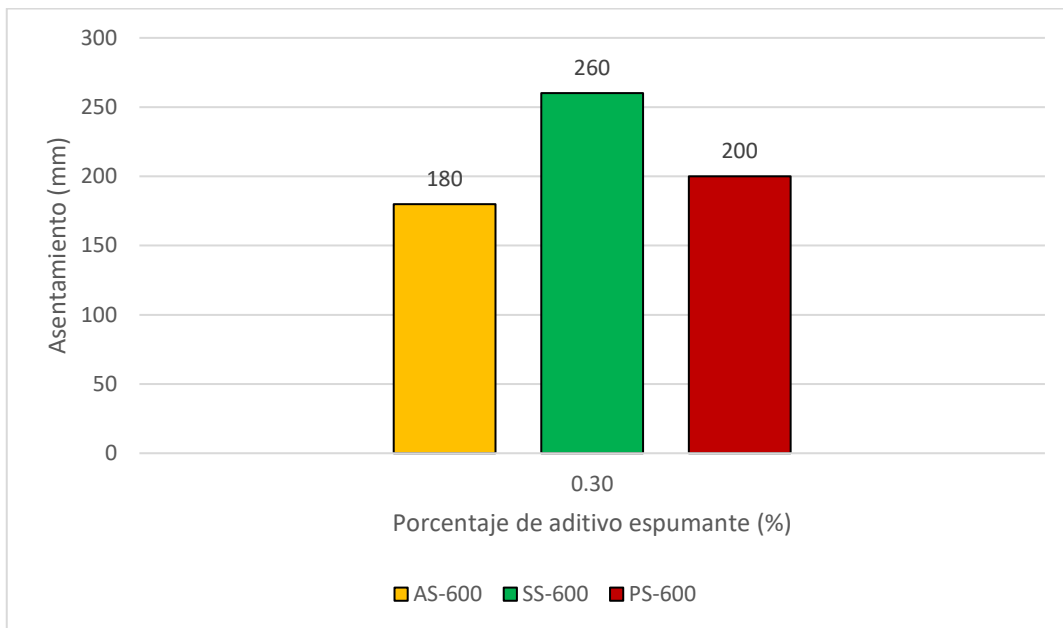
*Ensayo de asentamiento (mm) para el porcentaje de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Asentamiento (mm)		
	AS-600	SS-600	PS-600
0.30	180	260	200

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 18**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs asentamiento (mm)*



*Nota.* Elaboración propia

Artículo 3: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Yavuz, Kaplan, Gencel, Benli & Sutcu (2021)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó un aditivo espumante a base de proteína.
- Los porcentajes de aditivo espumante empleados en este artículo fueron de 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30% y 0.35%.
- Contenido de mezcla: Se utilizó aditivo espumante, cemento blanco portland y escoria granulada de alto horno molida como parte de los materiales cementicios, residuos de polvo de mármol como parte del agregado fino, fibras de basalto y agua.
- Método de ensayo: La norma ASTM C 1437-15 fue empleada para la prueba de asentamiento.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 6 y Figura 19:

**Tabla 6**

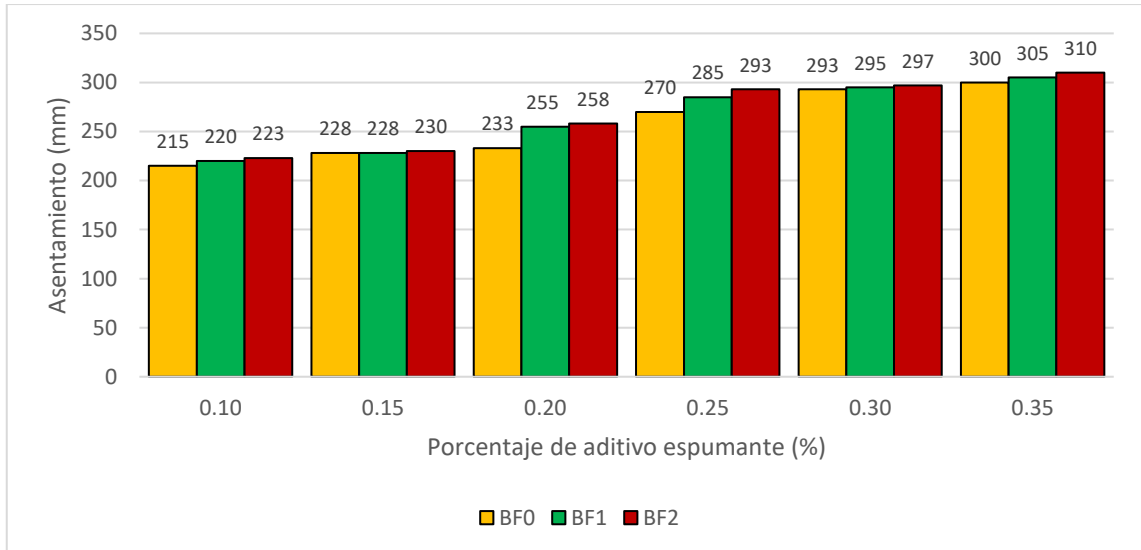
*Ensayo de asentamiento (mm) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Asentamiento (mm)		
	BF0	BF1	BF2
0.10	215	220	223
0.15	228	228	230
0.20	233	255	258
0.25	270	285	293
0.30	293	295	297
0.35	300	305	310

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 19**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs asentamiento (mm)*



*Nota.* Elaboración propia

**Objetivo 2: Analizar el porcentaje de aditivos espumantes para reducir la densidad del concreto celular**

Artículo 1: Estudio sobre concreto celular de poliuretano para uso en aplicaciones estructurales. Kattoof, I. (2018)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó un aditivo espumante de poliuretano.
- Los porcentajes de aditivo espumante empleados en este artículo fueron de 0.10% y 0.13%.



- Contenido de mezcla: Se utilizó aditivo espumante, cemento portland ordinario tipo I, agregado fino arena, cenizas volantes y agua.
- Método de ensayo: La norma ASTM C 642 fue realizada para la prueba de densidad.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 7 y Figura 20:

**Tabla 7**

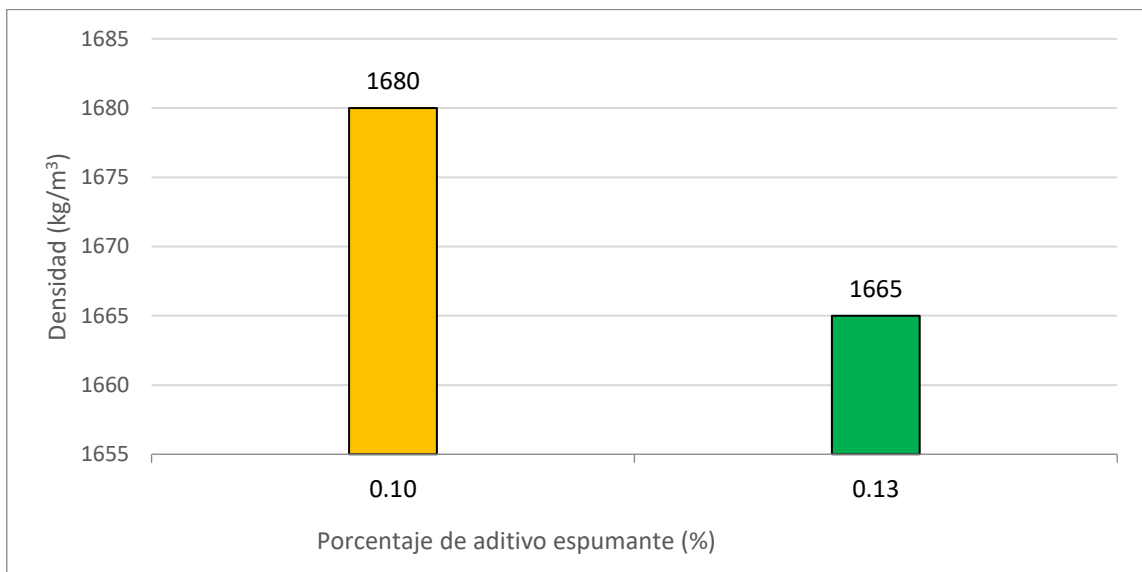
*Ensayo de densidad (kg/m<sup>3</sup>) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
0.10	1680
0.13	1665

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 20**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs densidad (kg/m<sup>3</sup>)*



*Nota.* Elaboración propia

Artículo 2: Efectos del tipo de aditivo espumante sobre la trabajabilidad, la contracción por secado, la resistencia a las heladas y la distribución de poros del concreto celular. Sun et al. (2018)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó tres tipos de aditivo espumante de tensioactivos a base de: origen animal (AS), sintético (SS) y vegetal (PS).
- El porcentaje de aditivo espumante empleado en este artículo fue de 0.30%.

- Contenido de mezcla: Se utilizó tres tipos de aditivo espumante, cemento portland tipo chino 52.5 P.II, agregado fino y agua.
- Método de ensayo: Para obtener los resultados de los especímenes se obtuvo pesando las muestras secas.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 8 y Figura 21:

**Tabla 8**

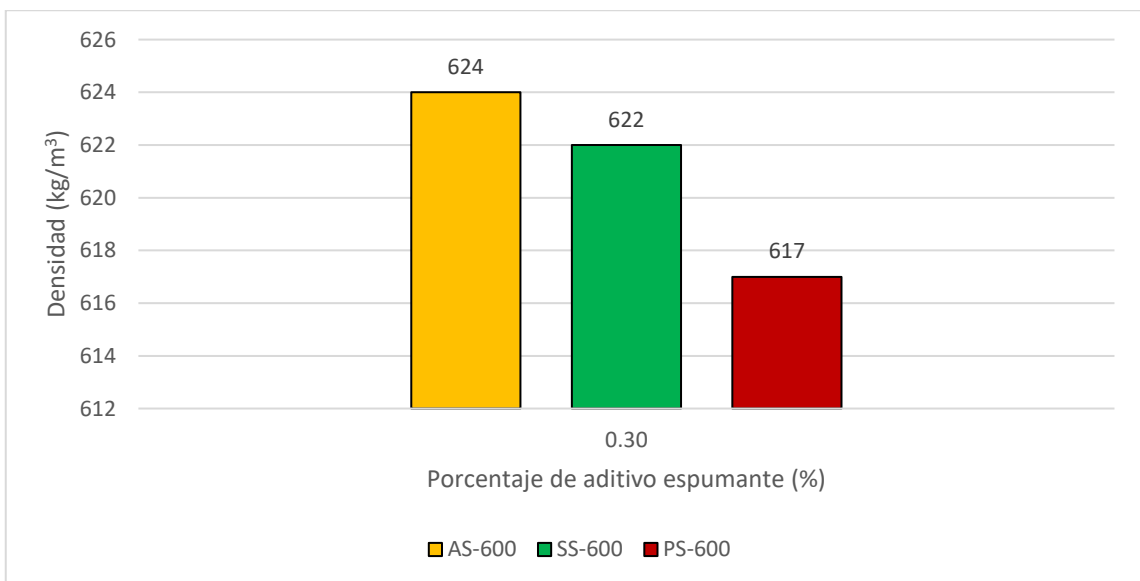
*Ensayo de densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) para el porcentaje de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )		
	AS-600	SS-600	PS-600
0.30	624	622	617

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 21**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs densidad ( $\text{kg/m}^3$ )*



*Nota.* Elaboración propia

Artículo 3: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Yavuz et al. (2021)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó un aditivo espumante a base de proteína.
- Los porcentajes de aditivo espumante empleados en este artículo fueron de 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30% y 0.35%.

- Contenido de mezcla: Se utilizó aditivo espumante, cemento blanco portland y escoria granulada de alto horno molida como parte de los materiales cementicios, residuos de polvo de mármol como parte del agregado fino, fibras de basalto y agua.
- Método de ensayo: La norma ASTM C 642 fue empleada para la prueba de densidad.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 9 y Figura 22:

**Tabla 9**

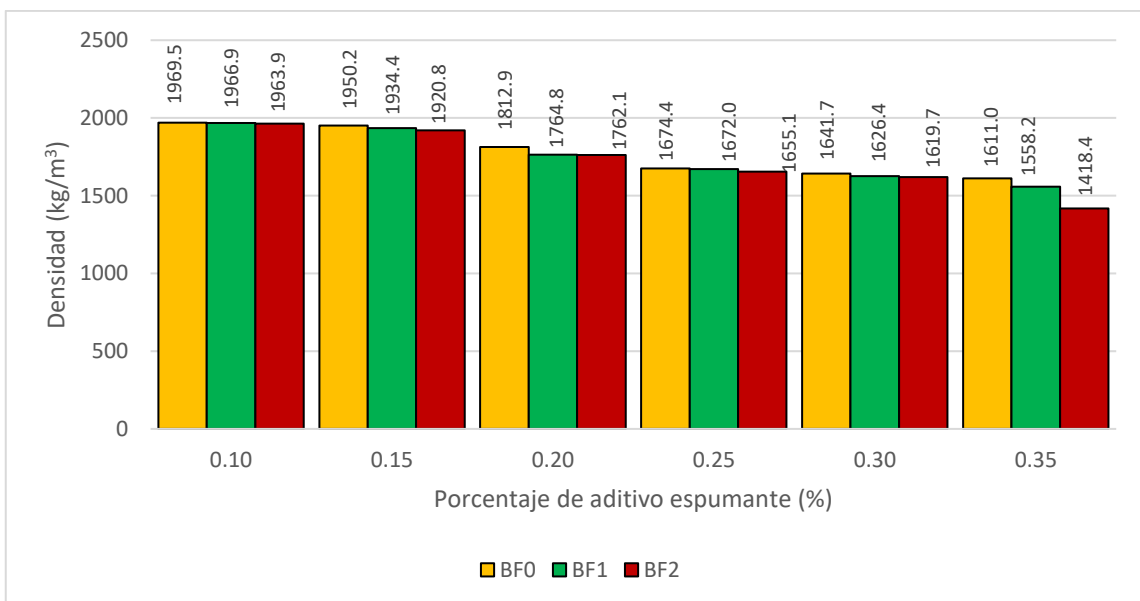
*Ensayo de densidad (kg/m<sup>3</sup>) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )		
	BF0	BF1	BF2
0.10	1969.5	1966.9	1963.9
0.15	1950.2	1934.4	1920.8
0.20	1812.9	1764.8	1762.1
0.25	1674.4	1672.0	1655.1
0.30	1641.7	1626.4	1619.7
0.35	1611.0	1558.2	1418.4

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 22**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs densidad (kg/m<sup>3</sup>)*



*Nota.* Elaboración propia

Artículo 4: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Li et al. (2020)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó un aditivo espumante de carbonato y aluminato.
- Los porcentajes de aditivo espumante empleados en este artículo fueron de 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30%, 0.35% y 0.40%.
- Contenido de mezcla: Se utilizó aditivo espumante, cemento de sulfoaluminato, agregado fino, estabilizante de espuma, agua.
- Método de ensayo: La norma empleada es CB/T 5486-2008, originaria de China, fue realizada para la prueba de densidad.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 10 y Figura 23:

**Tabla 10**

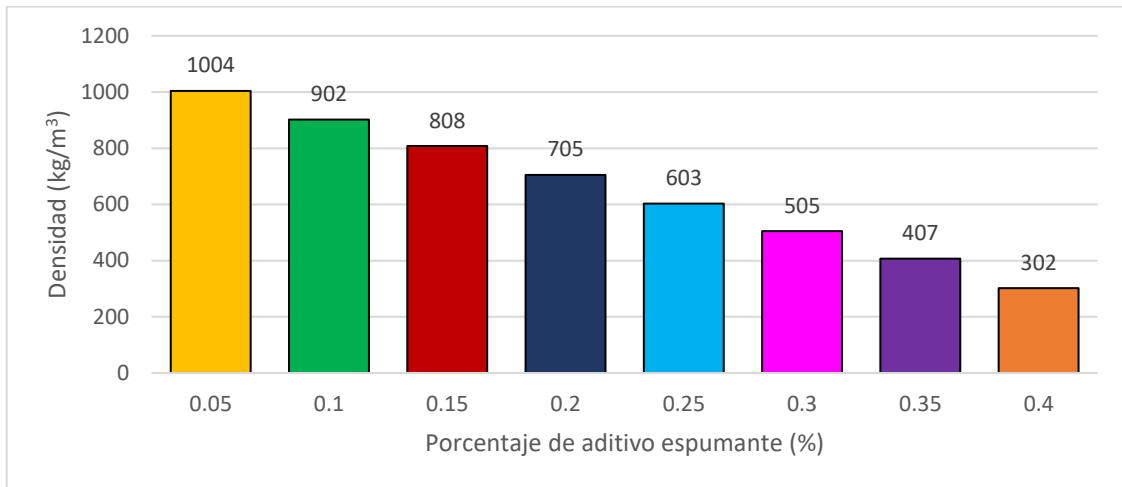
*Ensayo de densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )
0.05	1004
0.10	902
0.15	808
0.20	705
0.25	603
0.30	505
0.35	407
0.40	302

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 23**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs densidad (kg/m<sup>3</sup>)*



*Nota.* Elaboración propia

Artículo 5: Disposición colaborativa de residuos sólidos multifuente: Influencia de un aditivo en las propiedades, estructura porosa y durabilidad del concreto celular. Song et al. (2021)

- El porcentaje de aditivo espumante empleado en este artículo fue de 0.50%.
- Contenido de mezcla: Se utilizó aditivo espumante, cemento portland chino, ceniza volante (14%, 18% y 20%), escoria de horno (2%, 6% y 10%) y polvo mineral (6%, 10% y 14%).
- Método de ensayo: Se realizó una prueba ortogonal de tres factores para la prueba de densidad.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 11 y Figura 24:

**Tabla 11**

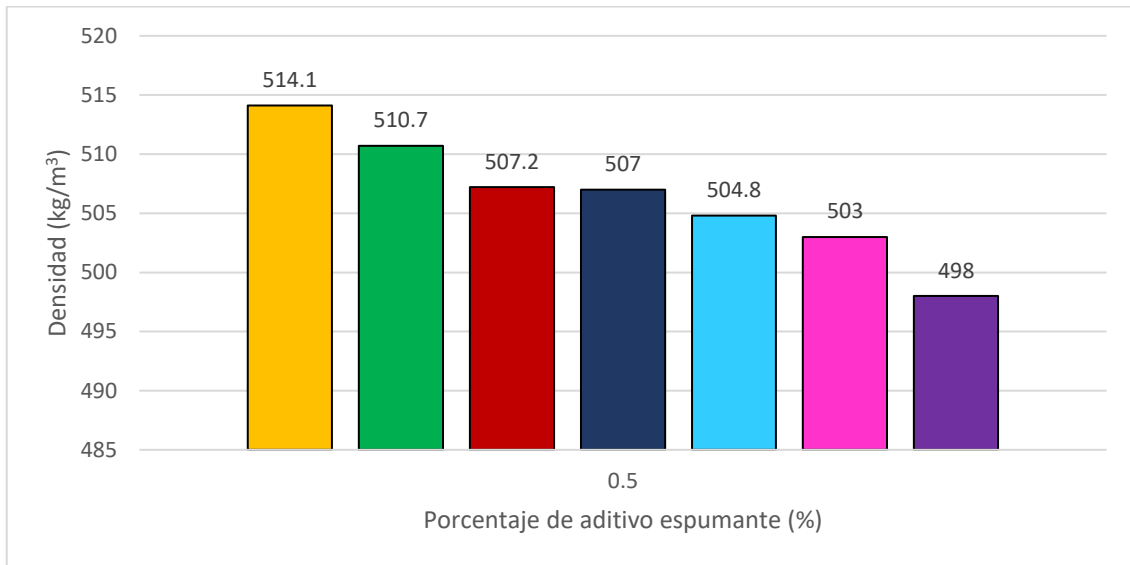
*Ensayo de densidad (kg/m<sup>3</sup>) para el porcentaje de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
0.5	514.10
	510.70
	507.20
	507.00
	504.80
	503.00
	498.00

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 24**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs densidad ( $\text{kg/m}^3$ )*



*Nota.* Elaboración propia

**Objetivo 3: Analizar el porcentaje de aditivos espumantes para reducir la resistencia a la compresión del concreto celular**

Artículo 2: Efectos del tipo de aditivo espumante sobre la trabajabilidad, la contracción por secado, la resistencia a las heladas y la distribución de poros del concreto celular. Sun et al. (2018)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó tres tipos de aditivo espumante de tensioactivos a base de: origen animal (AS), sintético (SS) y vegetal (PS).
- El porcentaje de aditivo espumante empleado en este artículo fue de 0.30 %.
- Contenido de mezcla: Se utilizó tres tipos de aditivo espumante, cemento portland tipo chino 52.5 P.II, agregado fino y agua.
- Método de ensayo: La norma JGJ/T 341-2014, originaria de China, fue empleada para la prueba de resistencia a la compresión a los 28 días.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 12 y Figura 25:

**Tabla 12**

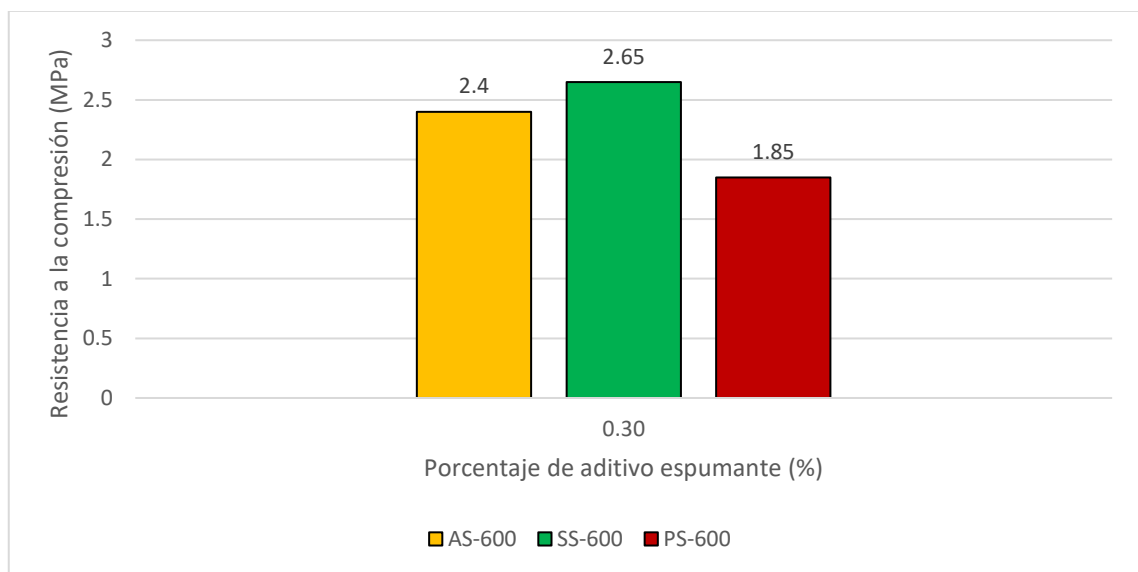
*Ensayo de resistencia a la compresión (MPa) para el porcentaje de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Resistencia a la compresión (MPa)		
	AS-600	SS-600	PS-600
0.30	2.4	2.65	1.85

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 25**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs resistencia a la compresión (MPa)*



*Nota.* Elaboración propia

Artículo 3: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Yavuz et al. (2021)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó un aditivo espumante a base de proteína.
- Los porcentajes de aditivo espumante empleados en este artículo fueron de 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30% y 0.35%.
- Contenido de mezcla: En los ensayos realizados para el presente artículo se utilizó aditivo espumante, cemento blanco portland y escoria granulada de alto horno molida como parte de los materiales cementicios, residuos de polvo de mármol como parte del agregado fino, fibras de basalto y agua.

- Método de ensayo: La norma ASTM C 349-18 fue empleada para la prueba de resistencia a la compresión a los 28 días.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 13 y Figura 26:

**Tabla 13**

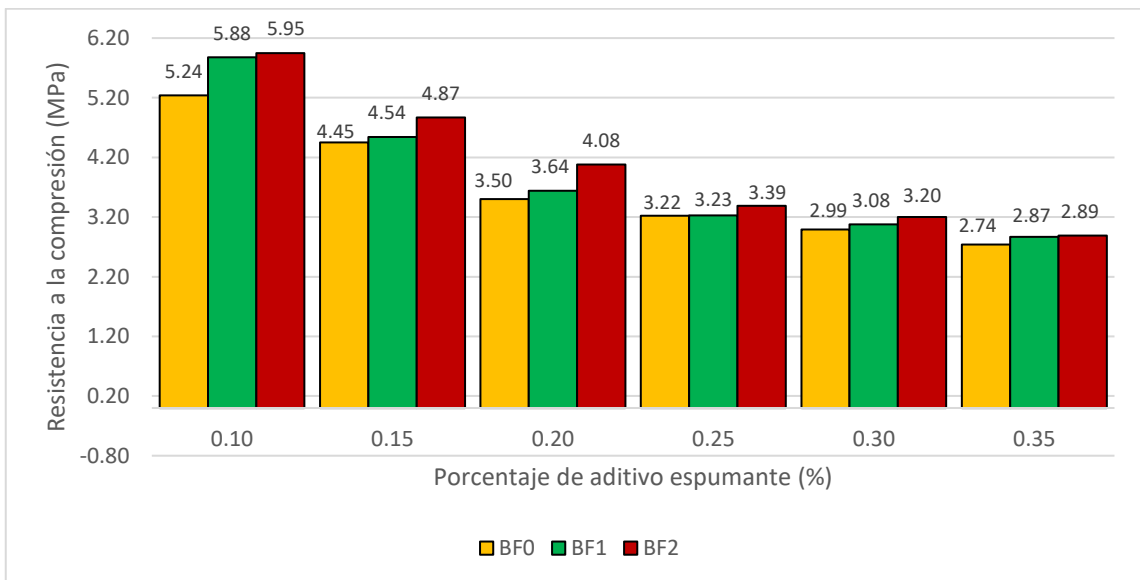
*Ensayo de resistencia a la compresión (MPa) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Resistencia a la compresión (MPa)		
	BF0	BF1	BF2
0.10	5.24	5.88	5.95
0.15	4.45	4.54	4.87
0.20	3.50	3.64	4.08
0.25	3.22	3.23	3.39
0.30	2.99	3.08	3.20
0.35	2.74	2.87	2.89

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 26**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs resistencia a la compresión (MPa)*



*Nota.* Elaboración propia

Artículo 5: Disposición colaborativa de residuos sólidos multifuente: Influencia de un aditivo en las propiedades, estructura porosa y durabilidad del concreto celular. Song et al. (2021)

- El porcentaje de aditivo espumante empleado en este artículo fue de 0.50%.



- Contenido de mezcla: Se utilizó aditivo espumante, cemento portland chino, ceniza volante (14%, 18% y 20%), escoria de horno (2%, 6% y 10%) y polvo mineral (6%, 10% y 14%).
- Método de ensayo: La norma empleada es JC/T 2125-2017, originaria de China, fue realizada para la prueba de resistencia a la compresión a los 28 días.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 14 y Figura 27:

**Tabla 14**

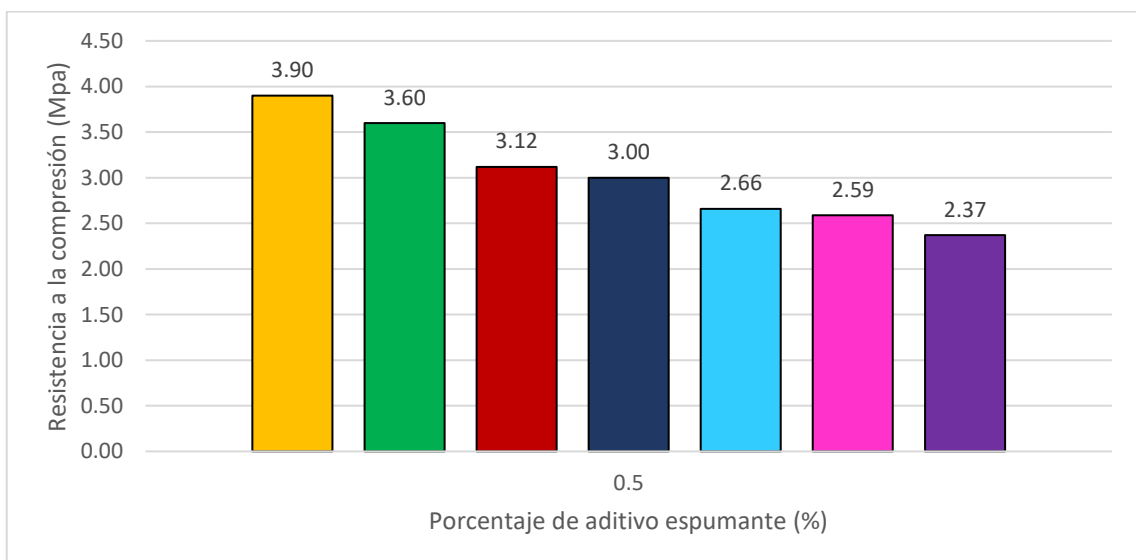
*Ensayo de resistencia a la compresión (MPa) para el porcentaje de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Resistencia a la compresión (MPa)
0.5	3.90
	3.60
	3.12
	3.00
	2.66
	2.59
	2.37

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 27**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs resistencia a la compresión (MPa)*



*Nota.* Elaboración propia

**Objetivo 4: Determinar la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes para establecer la conductividad térmica del concreto celular**

Artículo 3: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Yavuz et al. (2021)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó un aditivo espumante a base de proteína.
- Los porcentajes de aditivo espumante empleados en este artículo fueron de 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30% y 0.35%.
- Contenido de mezcla: Se utilizó aditivo espumante, cemento blanco portland y escoria granulada de alto horno molida como parte de los materiales cementicios, residuos de polvo de mármol como parte del agregado fino, fibras de basalto y agua.
- Método de ensayo: Se utilizó probetas de 20x50x100 mm para la prueba de conductividad térmica.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 15 y Figura 28:

**Tabla 15**

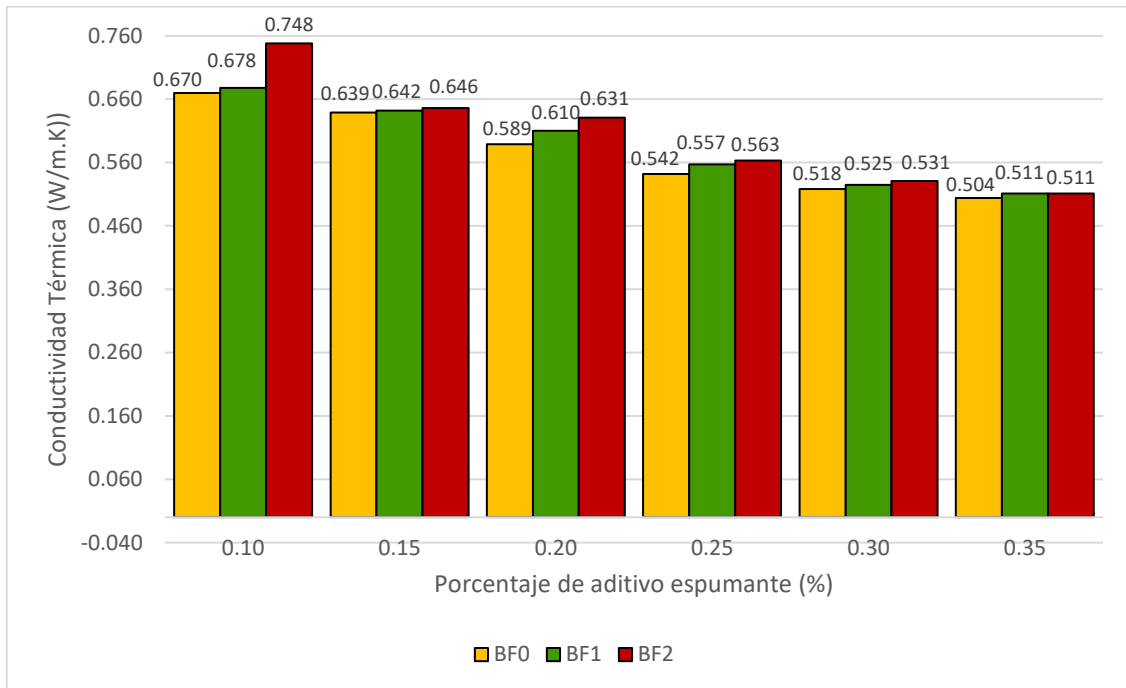
*Ensayo de conductividad térmica (W/m.K) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Conductividad Térmica (W/m.K)		
	BF0	BF1	BF2
0.10	0.670	0.678	0.748
0.15	0.639	0.642	0.646
0.20	0.589	0.610	0.631
0.25	0.542	0.557	0.563
0.30	0.518	0.525	0.531
0.35	0.504	0.511	0.511

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 28**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs conductividad térmica (W/m.K)*



*Nota.* Elaboración propia

Artículo 4: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Li et al. (2020)

- Tipo de aditivo espumante: En este artículo científico se empleó un aditivo espumante de carbonato y aluminato.
- Los porcentajes de aditivo espumante empleados en este artículo fueron de 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30%, 0.35% y 0.40%
- Contenido de mezcla: Se utilizó aditivo espumante, cemento de sulfoaluminato, agregado fino, estabilizante de espuma, agua.
- Método de ensayo: La norma empleada es ASTM C 518 fue realizada para la prueba de conductividad térmica.
- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 16 y Figura 29:

**Tabla 16**

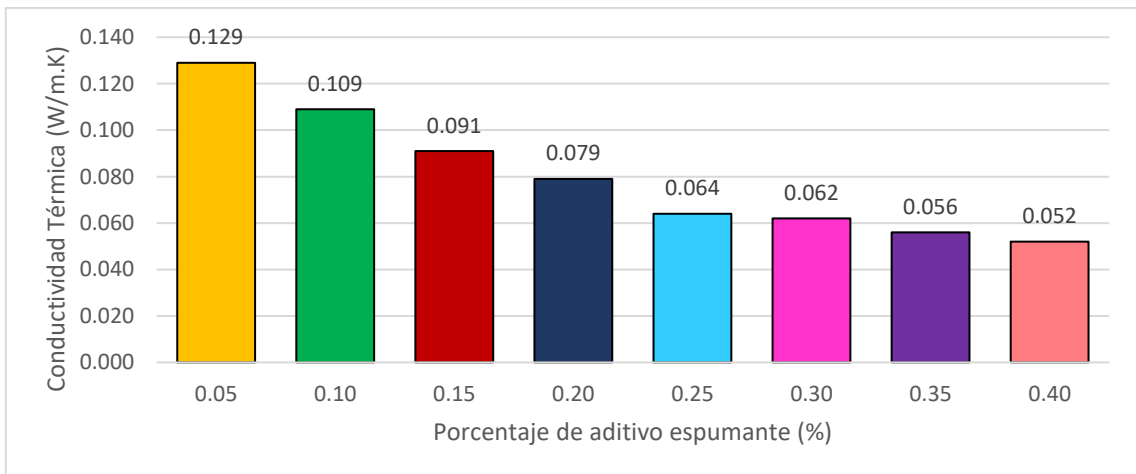
*Ensayo de conductividad térmica (W/m.K) para los distintos porcentajes de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Conductividad Térmica (W/m.K)
0.05	0.129
0.10	0.109
0.15	0.091
0.20	0.079
0.25	0.064
0.30	0.062
0.35	0.056
0.40	0.052

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 29**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs conductividad térmica (W/m.K)*



*Nota.* Elaboración propia

Artículo 5: Disposición colaborativa de residuos sólidos multifuente: Influencia de un aditivo en las propiedades, estructura porosa y durabilidad del concreto celular. Song et al. (2021)

- El porcentaje de aditivo espumante empleado en este artículo fue de 0.50%.
- Contenido de mezcla: Se utilizó aditivo espumante, cemento portland chino, ceniza volante (14%, 18% y 20%), escoria de horno (2%, 6% y 10%) y polvo mineral (6%, 10% y 14%).
- Método de ensayo: La norma empleada es GB/T 10294-2008, originaria de China, fue realizada para la prueba de conductividad térmica.

- Los resultados del ensayo experimental se presentan en la Tabla 17 y Figura 30:

**Tabla 17**

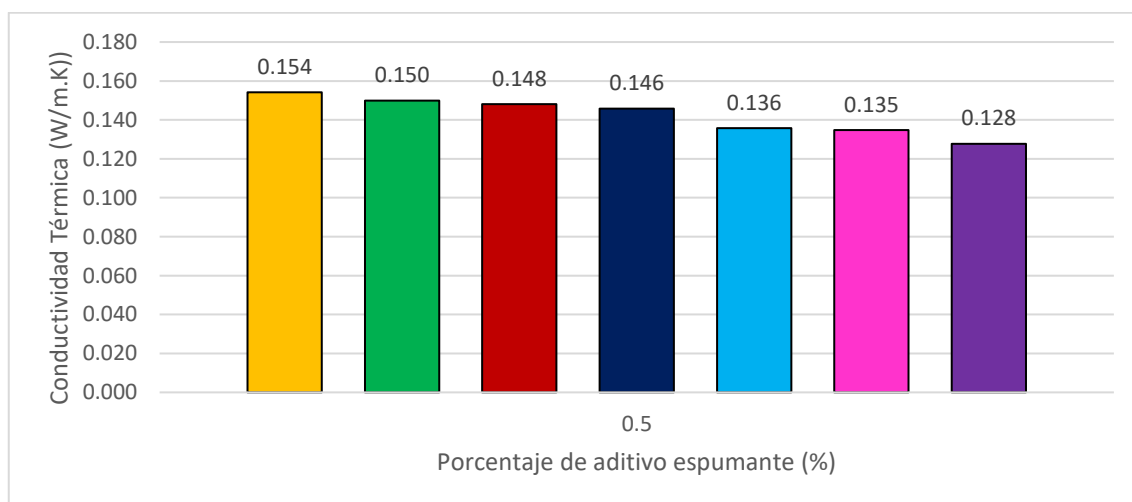
*Ensayo de conductividad térmica (W/m.K) para el porcentaje de aditivo espumante (%)*

Porcentaje de aditivo espumante (%)	Conductividad Térmica (W/m.K)
0.5	0.154
	0.150
	0.148
	0.146
	0.136
	0.135
	0.128

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 30**

*Porcentaje de aditivo espumante (%) vs conductividad térmica (W/m.K)*



*Nota.* Elaboración propia

## 5.2 Análisis e interpretación de los resultados

**Analizando los resultados de los porcentajes de aditivos espumantes incrementa el asentamiento del concreto celular:**

Artículo 1: Estudio sobre concreto celular de poliuretano para uso en aplicaciones estructurales. Kattoof, I. (2018)

En la Figura 17 se analizó los resultados de asentamiento del concreto celular, que con la adición de 0.10% de aditivo espumante se obtuvo 200 mm clasificándose como

consistencia líquida. Además, que si se compara con 0.13% de aditivo espumante, se puede observar cómo incrementa el asentamiento teniendo 230mm.

Artículo 2: Efectos del tipo de aditivo espumante sobre la trabajabilidad, la contracción por secado, la resistencia a las heladas y la distribución de poros del concreto celular. Sun et al. (2018)

En la Figura 18 se analizó los resultados de asentamiento del concreto celular, se obtuvo 260 mm con 0.3% de aditivo espumante a base de tensioactivo sintético, en comparación del tensioactivo animal y vegetal que tienen el mismo porcentaje de aditivo espumante, clasificándose como consistencia líquida.

Artículo 3: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Yavuz et al. (2021)

En la Figura 19 se analizó los resultados de asentamiento del concreto celular, se obtuvo 310 mm con 0.35% de aditivo espumante, clasificándose como consistencia líquida. Además, se compara con 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25% y 0.30% de aditivo espumante, y se observa el incremento del asentamiento.

### **Analizando los resultados de los porcentajes de aditivos espumantes reduce la densidad del concreto celular**

Artículo 1: Estudio sobre concreto celular de poliuretano para uso en aplicaciones estructurales. Kattoof, I. (2018)

En la Figura 20 se analizó los resultados de densidad del concreto celular, que con la adición de 0.13% de aditivo espumante se obtuvo  $1665 \text{ kg/m}^3$ , y se encuentra en el rango de  $1600 \text{ kg/m}^3 - 1800 \text{ kg/m}^3$  para la aplicación de losas y otros elementos portantes. Si se compara con 0.10% de aditivo espumante se puede observar cómo disminuye la densidad en 0.89%.

Artículo 2: Efectos del tipo de aditivo espumante sobre la trabajabilidad, la contracción por secado, la resistencia a las heladas y la distribución de poros del concreto celular. Sun et al. (2018)

En la Figura 21 se analizó los resultados de densidad del concreto celular, se obtuvo  $617 \text{ kg/m}^3$  con 0.30% de aditivo espumante a base de tensioactivo vegetal, y se encuentra en el rango de  $600 \text{ kg/m}^3 - 800 \text{ kg/m}^3$  para la aplicación de rellenos. En comparación del tensioactivo animal y sintético que tienen el mismo porcentaje de aditivo espumante, se puede observar diferencia de 1.12% y 0.81% respectivamente.

Artículo 3: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Yavuz et al. (2021)

En la Figura 22 se analizó los resultados de asentamiento del concreto celular, se obtuvo 1418.4 kg/m<sup>3</sup> con 0.35% de aditivo espumante. Además, se compara con 0.10%, 0.15%, 0.20% y 0.30% de aditivo espumante, y se observa que a mayor aditivo disminuye la densidad del concreto.

Artículo 4: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Li et al. (2020)

En la Figura 23 se analizó los resultados de densidad del concreto celular, se obtuvo 302 kg/m<sup>3</sup> con 0.40% de aditivo espumante, y se encuentra en el rango de 250 kg/m<sup>3</sup> – 550 kg/m<sup>3</sup> para la aplicación de protección contra incendios y aislamiento térmico. En comparación con 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30% y 0.35% de aditivo espumante, se puede observar como la densidad va disminuyendo cuando se aumenta progresivamente el aditivo.

Artículo 5: Disposición colaborativa de residuos sólidos multifuente: Influencia de un aditivo en las propiedades, estructura porosa y durabilidad del concreto celular. Song et al. (2021)

En la Figura 24 se analizó los resultados de densidad del concreto celular, se obtuvo 498 kg/m<sup>3</sup> con 0.50% de aditivo espumante, y se encuentra en el rango de 250 kg/m<sup>3</sup> – 550 kg/m<sup>3</sup>. Se puede observar una diferencia de 3.11%, 2.49%, 1.80%, 1.78%, 1.35% y 0.99% entre las respectivas muestras.

### **Analizando los resultados de los porcentajes de aditivos espumantes reduce la resistencia a la compresión del concreto celular**

Artículo 2: Efectos del tipo de aditivo espumante sobre la trabajabilidad, la contracción por secado, la resistencia a las heladas y la distribución de poros del concreto celular. Sun et al. (2018)

En la Figura 25 se analizó los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días del concreto celular, se obtuvo 2.65 MPa con 0.30% de aditivo espumante a base de tensioactivo animal, en comparación del tensioactivo vegetal y sintético que tienen el mismo porcentaje de aditivo espumante, la diferencia de resultados se debe a que la resistencia está relacionada linealmente con la densidad.

Artículo 3: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Yavuz et al. (2021)

En la Figura 26 se analizó los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días del concreto celular, se obtuvo 3.20 MPa con 0.30% de aditivo espumante, también se puede apreciar como la resistencia va disminuyendo conforme el porcentaje de aditivo espumante va aumentando.

Artículo 5: Disposición colaborativa de residuos sólidos multifuente: Influencia de un aditivo en las propiedades, estructura porosa y durabilidad del concreto celular. Song et al. (2021)

En la Figura 27 se analizó los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días del concreto celular, se obtuvo 3.90 MPa con 0.50% de aditivo espumante, se puede apreciar como la resistencia va disminuyendo, se debe porque la resistencia está relacionada linealmente con la densidad.

### **Determinando los resultados de la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes establecen la conductividad térmica del concreto celular**

Artículo 3: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Yavuz et al. (2021)

En la Figura 28 se analizó los resultados de conductividad térmica del concreto celular, se obtuvo 0.748 W/m.K con 0.10% de aditivo espumante. Se puede apreciar que el mayor porcentaje de aditivo espumante, 0.35%, obtuvo un mejor valor comparado al dato seleccionado, esto se puede interpretar porque la densidad está relacionada de forma lineal con la conductividad térmica.

Artículo 4: Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento. Li et al. (2020)

En la Figura 29 se analizó los resultados de conductividad térmica del concreto celular, se obtuvo 0.129 W/m.K con 0.05% de aditivo espumante. En comparación con 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30%, 0.35% y 0.40% de aditivo espumante, se puede observar que al adicionar un menor porcentaje de aditivo la conductividad térmica va a aumentar, esto se puede interpretar porque la densidad está relacionada de forma lineal con la conductividad térmica.

Artículo 5: Disposición colaborativa de residuos sólidos multifuente: Influencia de un aditivo en las propiedades, estructura porosa y durabilidad del concreto celular. Song et al. (2021)

En la Figura 30 se analizó los resultados de conductividad térmica del concreto celular, se obtuvo 0.154 W/m.K con 0.50% de aditivo espumante. Se puede apreciar cuando se



aumenta el porcentaje de aditivo espumante la conductividad térmica disminuye, esto se puede interpretar porque la densidad está relacionada de forma lineal con la conductividad térmica.

### **5.3 Contrastación de Resultados**

#### **Hipótesis 1: Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes se incrementa el asentamiento del concreto celular**

Hipótesis auxiliar

H0: Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes no incrementa el asentamiento del concreto celular

H1: Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes si incrementa el asentamiento del concreto celular

Observación:

Según el autor Kattoof, (2018), en su artículo científico realizó dos ensayos con diferentes porcentajes de aditivo espumante de poliuretano, el que presento una mejor fluidez se obtuvo con un porcentaje de 0.13%, con un asentamiento de 230 mm como resultado.

Según Sun et al. (2018), en su artículo científico realizó tres ensayos con diferentes tipos de aditivo espumante a base de tensioactivo vegetal, animal y sintético, pero con una adición de 0.30% para cada uno. Se analizó que entre los 3 ensayos el aditivo espumante de tensioactivo sintético obtuvo un asentamiento de 260 mm.

Según Yavuz et al. (2021), en su artículo científico realizó veinte ensayos con diferentes porcentajes de aditivo espumante a base de proteínas, el mejor ensayo se obtuvo con un porcentaje de 0.35%, consiguiendo 310 mm de asentamiento.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1), ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de aditivos espumantes si incrementa el asentamiento del concreto celular.

A continuación, se comparan los resultados de los autores en la Tabla 18 y Figura 31:

**Tabla 18**

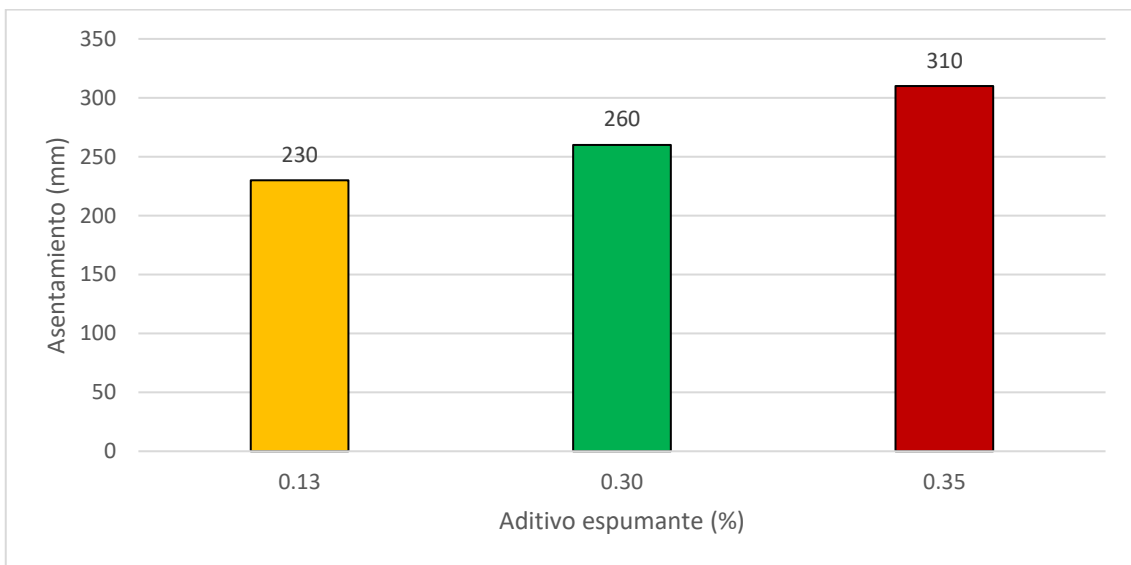
*Resultado de asentamiento del concreto celular con diferentes porcentajes de aditivos espumantes*

Autor	Aditivo espumante (%)	Asentamiento (mm)
Kattoof (2018)	0.13	230
Sun et al. (2018)	0.30	260
Yavuz et al. (2021)	0.35	310

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 31**

*Resultados de asentamiento para los diferentes autores*



*Nota.* Elaboración propia

**Hipótesis 2: Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes se reduce la densidad del concreto celular**

Hipótesis auxiliar

H0: Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes no reduce la densidad del concreto celular.

H1: Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes si reduce la densidad del concreto celular.

Observación:

Según el autor Kattoof, (2018), en su artículo científico realizó dos ensayos con diferentes porcentajes de aditivo espumante de poliuretano, el que presento una menor densidad se obtuvo con una cantidad de 0.13%, dando como resultado una densidad de 1665 kg/m<sup>3</sup>,

encontrándose dentro del rango de densidad de concreto celular como se visualiza en la Figura 20.

Según Sun et al. (2018), en su artículo científico realizó ocho ensayos con diferentes tipos de aditivo espumante a base de tensioactivo vegetal, animal y sintético, pero con una adición de 0.30% para cada uno. Se analizó que entre los 3 ensayos el aditivo espumante de tensioactivo vegetal obtuvo una densidad de 617 kg/m<sup>3</sup> estando dentro del rango de densidad del concreto celular como se visualiza en la Figura 21.

Según Yavuz et al. (2021), en su artículo científico realizó veinte ensayos con diferentes porcentajes de aditivo espumante a base de proteínas, el mejor ensayo se obtuvo con una cantidad de 0.35%, obteniendo una densidad de 1418.4 kg/m<sup>3</sup> estando dentro del rango de densidad del concreto celular como se visualiza en la Figura 22.

Según Li et al. (2020), en su artículo científico realizó veinte ensayos con un aditivo espumante con nitrato de aluminio y bicarbonato de sodio, con la cantidad de 0.40% se obtuvo una densidad de 300 kg/m<sup>3</sup> estando dentro del rango de densidad del concreto celular como se visualiza en la Figura 23.

Según Song et al. (2021), en su artículo científico realizó nueve ensayos con un porcentaje de aditivo espumante, el mejor ensayo se obtuvo con la cantidad de 0.50%, consiguiendo una densidad de 498 kg/m<sup>3</sup> estando dentro del rango de densidad del concreto celular como se visualiza en la Figura 24.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1), ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de aditivos espumantes si reduce la densidad del concreto celular.

A continuación, se comparan los resultados de los autores en la Tabla 19 y Figura 32:

**Tabla 19**

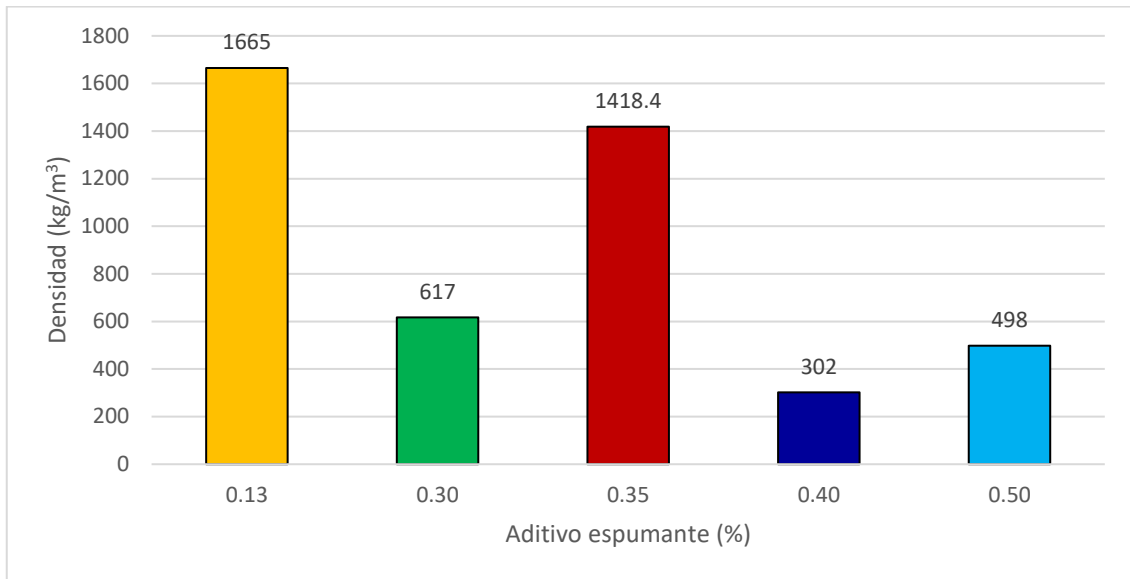
*Resultados de densidad del concreto celular con diferentes porcentajes de aditivos espumantes*

Autor	Aditivo espumante (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Kattoof (2018)	0.13	1665
Sun et al. (2018)	0.30	617
Yavuz et al. (2021)	0.35	1418.4
Li et al. (2020)	0.40	302
Song et al. (2021)	0.50	498

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 32**

*Resultados de densidad para los diferentes autores*



*Nota.* Elaboración propia

**Hipótesis 3: Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes se reduce la resistencia a la compresión del concreto celular**

Hipótesis auxiliar

H0: Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes no reduce la resistencia a la compresión del concreto celular.

H1: Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes si reduce la resistencia a la compresión del concreto celular.

Observación:

Según Sun et al. (2018), en su artículo científico realizó ocho ensayos con diferentes tipos de aditivo espumante a base de tensioactivo vegetal, animal y sintético, pero con una adición de 0.30% para cada uno. Se analizó que entre los 3 ensayos el aditivo espumante de tensioactivo animal produce mayor resistencia a la compresión con 2.65 MPa tal como se visualiza en la Figura 25.

Según Yavuz et al. (2021), en su artículo científico realizó veinte ensayos con diferentes porcentajes de aditivo espumante a base de proteínas, el ensayo que se selecciono tiene 5.95 MPa, se obtuvo con una cantidad de 0.10%, tal como se visualiza en la Figura 26.

Según Song et al. (2021), en su artículo científico realizó nueve ensayos con un porcentaje de aditivo espumante, el mejor ensayo obtenido tuvo la cantidad de 0.50% de aditivo

espumante, consiguiendo una resistencia de 3.90 MPa tal como se puede visualizar en la Figura 27.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1), ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de aditivos espumantes si reduce la resistencia a la compresión del concreto celular.

A continuación, se comparan los resultados de los autores en la Tabla 20 y Figura 33:

**Tabla 20**

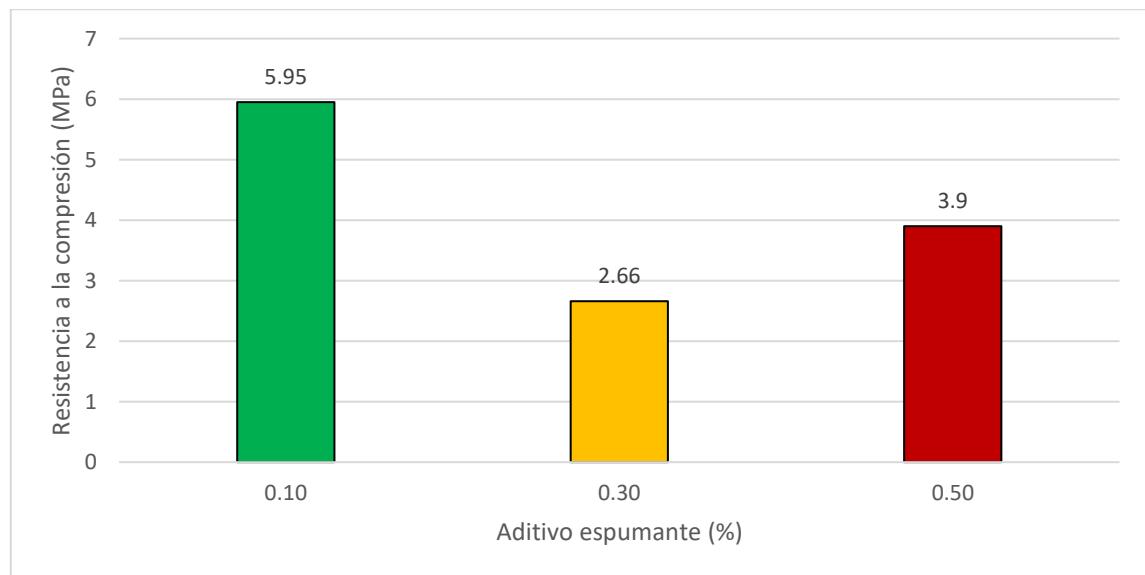
*Resultados de resistencia a la compresión del concreto celular con diferentes porcentajes de aditivos espumantes*

Autor	Aditivo espumante (%)	Resistencia a la compresión (MPa)
Yavuz et al. (2021)	0.10	5.95
Sun et al. (2018)	0.30	2.66
Song et al. (2021)	0.50	3.90

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 33**

*Resultados de resistencia a la compresión para los diferentes autores*



*Nota.* Elaboración propia

#### **Hipótesis 4: Al determinar la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes se establece la conductividad térmica del concreto celular**

Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes no establece la conductividad térmica del concreto celular.

H1: Al determinar la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes si establece la conductividad térmica del concreto celular.

Observación:

Según Yavuz et al. (2021), en su artículo científico realizó veinte ensayos con diferentes porcentajes de aditivo espumante a base de proteínas, el ensayo que se selecciono tiene 0.504 W/m.K, se obtuvo con una cantidad de 0.35%, tal como se visualiza en la Figura 28, reduciendo su conductividad en un 32.6% .

Según Li et al. (2020), en su artículo científico realizó veinte ensayos con un aditivo espumante con nitrato de aluminio y bicarbonato de sodio, con la cantidad de 0.40% se obtuvo una conductividad térmica de 0.052 W/m.K, tal como se demuestra en la Figura 29, se presencié una reducción del 59.7%, se debe por la relación lineal de la densidad y conductividad térmica, a medida que aumenta el porcentaje de aditivo espumante se reduce la conductividad.

Según Song et al. (2021), en su artículo científico realizó nueve ensayos con un porcentaje de aditivo espumante, el mejor ensayo se obtuvo con la cantidad de 0.5%, consiguiendo una conductividad térmica de 0.1277 W/m.K, reduciendo en un 18.5% la conductividad tal como se puede visualizar en la Figura 30, puesto que al obtener una mínima densidad de igual manera será para la conductividad térmica.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1), ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de aditivos espumantes si establece la conductividad térmica con la densidad del concreto celular.

A continuación, se comparan los resultados de los autores en la Tabla 21 y Figura 34:

**Tabla 21**

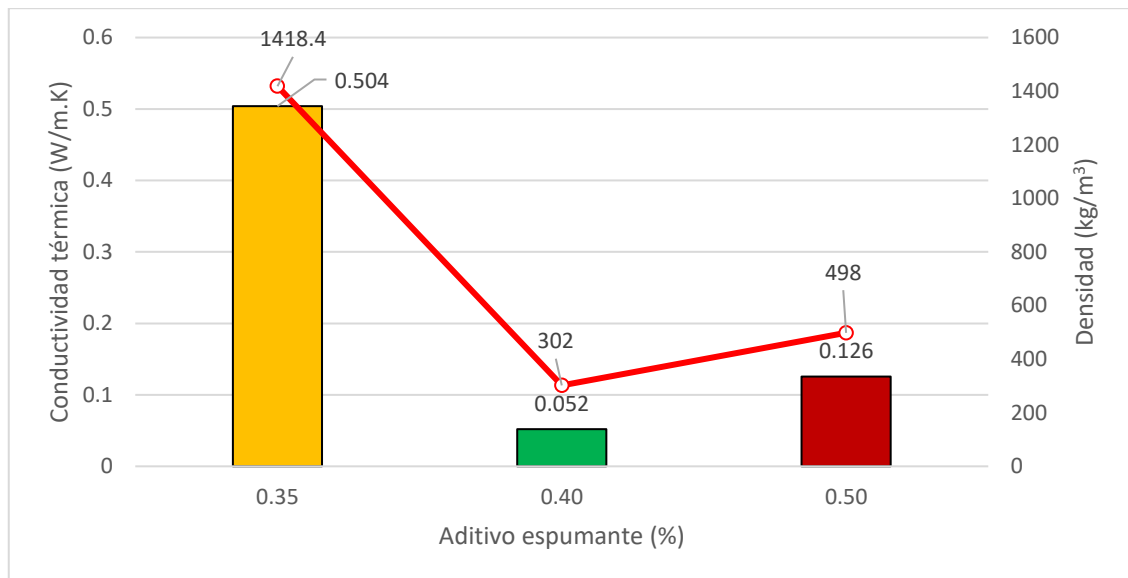
*Resultados de conductividad térmica del concreto celular con diferentes porcentajes de aditivos espumantes*

Autor	Aditivo espumante (%)	Conductividad térmica (W/m.K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Yavuz et al. (2021)	0.35	0.504	1418.4
Li et al. (2020)	0.40	0.052	302
Song et al. (2021)	0.50	0.126	498

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 34**

*Resultados de conductividad térmica para los diferentes autores*



*Nota.* Elaboración propia

## DISCUSIÓN

En la presente investigación se obtuvieron resultados de las propiedades físico-mecánicas del concreto celular con aditivos espumantes:

1. De acuerdo con los resultados de asentamiento de los artículos por parte de los autores Kattoof, Sun et al y Yavuz et al, se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis 1, la cual expone que el porcentaje de aditivos espumantes incrementa el asentamiento del concreto celular, en la Figura 31 se visualiza el incremento de los asentamientos, se recolecto diversos resultados de acuerdo a los porcentajes que van desde 0.13% a 0.35%, teniendo en cuenta que el máximo valor de asentamiento fue de 310 mm con 0.35% de aditivo espumante y el mínimo fue de 230 mm con 0.13 de aditivo espumante.
2. De acuerdo con los resultados de densidad de los artículos por parte de los autores Kattoof, Sun et al, Li et al, Song et al y Yavuz et al, se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis 2, la cual analiza que el porcentaje de aditivos espumantes reduce la densidad del concreto celular, en la Figura 24 se visualiza la reducción de la densidad, en el artículo de Yavuz et al. la mayor densidad es de  $1969.5 \text{ kg/m}^3$  con 0.10% de aditivo espumante y la menor densidad es de  $1418.4 \text{ kg/m}^3$  con 0.35% de aditivo espumante, demostrando que a mayor cantidad de aditivo espumante se reduce la densidad, el mismo análisis se evidencio con los autores Kattoof, Sun et al, Li et al y Song et al.
3. De acuerdo con los resultados de resistencia a la compresión de los artículos por parte de los autores Sun et al, Song et al y Yavuz et al, se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis 3, la cual evidencia la reducción de la resistencia a la compresión a los 28 días del concreto celular con el uso de porcentajes de aditivos espumantes, en la Figura 33 se visualiza la disminución de la resistencia a la compresión con 0.10%, 0.30% y 0.50% de aditivo espumante, los cuales tienen un resultado de 5.95 MPa, 2.66 MPa y 3.90 MPa respectivamente.
4. De acuerdo con los resultados de conductividad térmica de los artículos por parte de los autores a Li et al, Song et al y Yavuz et al, se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis 4, la cual determina la relación de la densidad con los porcentajes de aditivo



espumante para establecer la conductividad térmica del concreto celular, en la Figura 29 se visualiza la disminución de la conductividad térmica respecto los porcentajes de aditivo espumante, en el artículo de Li et al. la mayor conductividad térmica es de 0.129 W/m.K con 0.05% de aditivo espumante y la menor conductividad térmica es de 0.052 W/m.K con 0.40% de aditivo espumante, demostrando que a mayor cantidad de aditivo espumante se reduce la conductividad térmica, el mismo análisis se evidencio con los autores Song et al y Yavuz et al.

## CONCLUSIONES

1. Al añadir aditivo espumante en cantidad de porcentaje a una mezcla de concreto celular, va a presentar una mejora en sus propiedades físico-mecánicas, como en el asentamiento, densidad, resistencia a la compresión y conductividad térmica. En cuanto al asentamiento, se analizó que, con una mayor cantidad de aditivo espumante, en este caso con 0.35% se obtiene 310 mm de asentamiento. Con 0.50% de aditivo espumante se demuestra la disminución de la resistencia a la compresión a los 28 días con 3.90 MPa, además, se llega a disminuir la conductividad térmica 0.126 W/m.K, por la baja densidad que presenta el concreto celular teniendo como resultado 498 kg/m<sup>3</sup>.
2. Al añadir un porcentaje de aditivo espumante a la mezcla del concreto celular, se observa en la Figura 40 se obtiene añadiendo 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25% 0.30% y 0.35% los cuales contienen escoria de alto horno y fibras de basalto, dando como resultados asentamientos de 223 mm, 230 mm, 258 mm, 293 mm, 297 mm y 310 mm. De igual manera en la Figura 17 se tiene 0.10% y 0.13% de aditivo espumante con asentamiento de 200 mm y 230 mm. Por ello, concluimos que a mayor porcentaje de aditivo espumante se incrementa el asentamiento.
3. En la Figura 20 se demuestra que, la densidad disminuye de 1680 kg/m<sup>3</sup> a 1665 kg/m<sup>3</sup> con 0.10% y 0.13% de aditivo espumante respectivamente, en la Figura 43 se visualiza que la densidad disminuye con la adición progresiva de aditivo espumante de 1004 kg/m<sup>3</sup> con 0.05%, 902 kg/m<sup>3</sup> a 0.10%, 808 kg/m<sup>3</sup> a 0.15%, 705 kg/m<sup>3</sup> a 0.20%, 603 kg/m<sup>3</sup> a 0.25%, 505 kg/m<sup>3</sup> a 0.30%, 407 kg/m<sup>3</sup> con 0.35% y 302 kg/m<sup>3</sup> con 0.40%. Ante ello, concluimos que la densidad se va a ir reduciendo al añadir aditivo espumante al concreto celular.
4. Los resultados obtenidos por parte de los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días disminuyeron a medida que se añadió una mayor cantidad de aditivo espumante, de acuerdo con la Figura 33 los porcentajes de aditivo espumante empleados fueron 0.10%, 0.30% y 0.50%, los cuales sus resistencias a la compresión fueron de 5.95 MPa, 2.66 MPa y 3.90 MPa.

5. Como se visualiza en la Figura 34, la incorporación de aditivo espumante no solo influirá en la conductividad térmica, también establecerá una relación directamente proporcional a la densidad. El concreto celular característico por ser de baja densidad la estructura es porosa, por ello, la relación de vacíos será mayor generando una reducción en la conductividad térmica. En síntesis, se establece a menor densidad, menor será la conductividad térmica del concreto celular, determinando la relación de la densidad con los porcentajes de aditivo espumante.

## RECOMENDACIONES

1. Usar aditivos espumantes para analizar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular adicionando porcentajes mayores a 1% de manera experimental con el propósito de obtener resultados que respalden lo investigado, puesto que en la presente investigación se usa entre 0.05% a 0.56% de aditivo espumante.
2. Para obtener una consistencia líquida no solo se tendrá que emplear una mayor cantidad de porcentaje de aditivo espumante, sino, se tiene que estudiar la relación agua/cemento porque también influye en el asentamiento del concreto celular, a mayor relación agua/cemento el asentamiento también incrementa.
3. Para incorporar el concreto celular como unidad de albañilería mediante bloques, la densidad debe estar en un rango de  $800 \text{ kg/m}^3$  a  $900 \text{ kg/m}^3$ , por ello, con 0.10% de aditivo espumante se obtiene una densidad de  $808 \text{ kg/m}^3$ , el cual está dentro del rango establecido.
4. Respecto a la resistencia a la compresión se recomienda realizar investigaciones experimentales en elementos no portantes como muros dúctiles. De manera que se extienda la aplicación del concreto celular con aditivo espumante en elementos que requieran altas resistencias.
5. Respecto a la conductividad térmica se recomienda estudiar la porosidad del concreto celular, puesto que, la relación de vacíos influye en su capacidad de permitir la transmisión de energía o calor.
6. Para próximas investigaciones que estén dispuestas a realizar un estudio referente al tema de la presente tesis, enfocar el estudio a la absorción de agua con la adición de distintos tipos de agregados finos situado en un clima frío. De esa forma se fomenta la solución a futuras problemáticas que se presenten en el sector de la construcción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arbito, G. (2016). *Concreto celular para uso estructural* [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25669>
- Barcia, K. y Lindao, A. (2020). *Estudio de factibilidad para la aplicación de bloques de concreto celular a edificaciones en la ciudad de Guayaquil* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil].  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49452>
- Bindiganavile, V. y Hoseini, M. (2019). Foamed concrete. *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*, (2), 637-647.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00016-2>
- Caicedo, W. y Tipán, F. (2019). *Propiedades mecánicas del concreto estructural ligero y celular, utilizando materiales de diferentes canteras en la ciudad de Quito* [Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador].  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18703>
- CEMEX (05 de abril 2019). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?*.  
<https://explorable.com/es/disenio-de-la-investigacion-cualitativa>
- Chica, L. y Alzate A. (2019). Cellular concrete review: new trends for application in construction. *Construction and Building Materials*, 200, 637-647.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.136>
- Dominguez, E. (13 de octubre 2015). *Estados del concreto*.  
<https://es.slideshare.net/EdsonDominguezYupanqui/estados-del-concreto>
- Dong, S. y Zhang, W. (2013). Study on Foaming Agent Foam Ability and Stability for Foam Concrete. *Applied Mechanics and Materials*, 357-360, 1304-1307.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.357-360.1304>
- Equipos y Laboratorio (s.f.). *Conductividad Termica*.  
<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/conductividad-termica>
- Falliano, D., De Domenico, D., Ricciardi, G., y Gugliandolo, E. (2018). Experimental investigation on the compressive strength of foamed concrete: Effect of curing conditions, cement type, foaming agent and dry density. *Construction and Building Materials*, 165, 735-749.

- <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.241>
- Falliano, D., Restuccia, L., y Gugliandolo, E. (2020). A simple optimized foam generator and a study on peculiar aspects concerning foams and foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 268.
- <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121101>
- Fu, Y., Wang, X., Wang, L., y Li, Y. (2020). Foam Concrete: State of the Art and State of the Practice Review. *Construction and Building Materials*, 2020, 25.
- <https://doi.org/10.1155/2020/6153602>
- Ghorbani, S., Ghorbani, S., Tao, Z., de Brito, J., y Tavakkolizadeh, M. (2019). Effect of magnetized water on foam stability and compressive strength of foam concrete. *Construction and Building Materials*, 197, 280-290.
- <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.160>
- Hashim, M., y Trantay, M. (2021). Comparative study on the performance of protein and synthetic-based foaming agents used in foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 14.
- <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00524>
- He, J., Gao, Q., Song, X., Bu, X., y He, J. (2019). Effect of foaming agent on physical and mechanical properties of alkali-activated slag foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 226, 280–287.
- <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.302>
- Hou, L., Li, J., Lu, Z., y Niu, Y. (2021). Influence of foaming agent on cement and foam concrete. *Construction and Building Materials*, 280, 122399.
- <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122399>
- Hou, L., Li, J., Lu, Z., Niu, Y., Jiang, J., y Li, T. (2019). Effect of nanoparticles on foaming agent and the foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 227, 116698.
- <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116698>
- Izquierdo, M. y Ortega, O. (2017). *Desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- <http://hdl.handle.net/10757/622468>

- Jose, S. K., Soman, M., y Evangeline, Y. S. (2020). Influence of mixture composition on the properties of foamed concrete. *Materials Today: Proceedings*, 42(2), 399-404.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.592>
- Kattoof, I. (2018). Study on polyurethane foamed concrete for use in structural applications. *Case Studies in Construction Materials*, 8, 79-86.  
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.11.005>
- Khwairakpam, S. y Gandhi, I. (2020). Assessment of the potencial of a naturally available foaming agent for use in the production of foam concrete. *Materials Today: Proceeding*, 32(4), 896-903.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.528>
- Koksal, F., Sahin, Y., y Gencil, O. (2020). Influence of expanded vermiculite powder and silica fume on properties of foam concretes. *Construction and Building Materials*, 257, 119547.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119547>
- Krämer, C., Schauerte, M., Kowald, T., y Trettin, R. (2015). Three-phase-foams for concrete application. *Materials Characterization*, 102, 173-179.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.022>
- Krämer, C., Schauerte, M., Müller, T., Gebhard, S., y Trettin, R. (2017). Application of reinforced three-phase-foams in UHPC foam concrete. *Construction and Building Materials*, 131, 746-757.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.027>
- Kuzielová, E., Pach, L. y Palou, M. (2016). Effect of activated foaming agent on the foam concrete properties. *Construction and Building Materials*, 200, 637-647.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.122>
- Lazo Arraya, J. (2017). *Diseño de concreto celular para diferentes densidades, análisis de sus propiedades y sus aplicaciones*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2381>
- Li, T., Huang, F., Li, L., Zhu, J., Jiang, X., y Huang, Y. (2020). Preparation and properties of sulphoaluminate cement-based foamed concrete with high performance. *Construction and Building Materials*, 263, 120945.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120945>

- Li, T., Wang, Z., Zhou, T. He, Y. y Huang, F. (2019). Preparation and properties of magnesium phosphate cement foam concrete with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as foaming agent. *Construction and Building Materials*, 205, 566-573.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.022>
- Liu, C., Zhang, Y., Yang, H., Ren, X. y Yang, J. (2020). Dodecanamide Concrete Foaming Agent: Preparation and Application. *Applied Mechanics and Material*, 71-78, 799-802.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.71-78.799>
- Montes, A. (s.f.). *Aditivo Espumante*.  
<http://concellmex.com.mx/Empresa/9-servicios#:~:text=ADITIVO.,de%20concreto%20%C3%B3%20mortero%20celular.>
- Mugahed, Y., Farzadnia, N. y Abang, A. (2015). Properties and applications of foamed concrete; a review. *Construction and Building Materials*, 101(1), 990-1005.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>
- Raj, A., Sathyan, D. y Mini, K. (2019). Physical and functional characteristics of foam concrete: a review. *Construction and Building Materials*, 221, 787-799.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052>
- Rengifo, M. y Yupangui, R. (2013). *Estudio del concreto celular*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Nacional].  
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/530>
- Siva, M, Ramamurthy, K., y Dhamodharan, R. (2017). Development of a Green Foaming Agent Its Performance Evaluation. *Cement and Concrete Composites*, 80, 245-257.  
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.03.012>
- Song, Q., Bao, J., Xue, S., Zhang, P., y Mu, S. (2021). Collaborative disposal of multisource solid waste: Influence of an admixture on the properties, pore structure and durability of foam concrete. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 1778-1790.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.075>
- Sun, C., Guo, J., Zhang, Y. y Sun G. (2018). Effects of foaming agent type on the workability, drying shrinkage, frost resistance and pore distribution of foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 186, 833-839.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.019>



- Veliz, A. y Vásquez, J. (2018). *Obtención de concreto ligero estructural mediante el uso de aditivos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5719>
- Xiong, Y., Zhu, Y., Chen, C., y Zhang, Y. (2020). Effect of nano-alumina modified foaming agents on properties of foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 267, 121045.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121045>
- Yavuz Bayraktar, O., Kaplan, G., Gencil, O., Benli, A., y Sutcu, M. (2021). Physico-mechanical, durability and thermal properties of basalt fiber reinforced foamed concrete containing waste marble powder and slag, *Construction and Building Materials*, 288, 123128.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123128>
- Yuanliang, X., Baoliang, L., Chun, C., y Yamei, Z. (2021). Properties of foamed concrete with Ca(OH)<sub>2</sub> as foam stabilizer. *Cement and Concrete Composites*, 118, 103985.  
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.103985>
- Zhang, X., Yang, Q., Shi, Y., Zheng, G., Li, Q., Chen, H., y Cheng, X. (2020). Effects of different control methods on the mechanical and thermal properties of ultra-light foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 262, 120082.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120082>

## ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia.....	71
Anexo B: Matriz de revisión bibliográfica .....	72
Anexo C: Artículos seleccionados para los resultados de la investigación .....	81
Anexo D: Matriz de definición, justificación y delimitación temporal de los indicadores .....	83
Anexo E: Informe de Originalidad (Turnitin).....	84

## Anexo A: Matriz de consistencia

### Título: Aditivo espumante para mejorar las propiedades del concreto celular

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Instrumentos	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicador Independiente	Normas nacionales e internacionales:	La investigación es documental, bibliográfica según las tesis y artículos científicos revisados:
¿De qué manera los aditivos espumantes influyen en las propiedades físico-mecánicas del concreto celular?	Analizar los aditivos espumantes para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular	Al analizar los aditivos espumantes para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular	Aditivos espumantes	Porcentaje de los aditivos espumantes		
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas	Variable Dependiente	Indicador dependiente	ASTM C1064	
a) ¿De qué manera el porcentaje de aditivos espumantes influyen en el asentamiento del concreto celular?	a) Analizar el porcentaje de aditivos espumantes para incrementar el asentamiento del concreto celular	a) Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes se incrementa el asentamiento del concreto celular	Propiedades físico-mecánicas del concreto celular	Asentamiento	ASTM C 231	Tipo de la investigación: descriptiva-correlacional y explicativo.
b) ¿De qué manera el porcentaje de aditivos espumantes influyen en la densidad del concreto celular?	b) Analizar el porcentaje de aditivos espumantes para reducir la densidad del concreto celular	b) Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes se reduce la densidad del concreto celular			Densidad	
c) ¿En qué medida el porcentaje de aditivos espumantes influyen en la resistencia a la compresión del concreto celular?	c) Analizar el porcentaje de aditivos espumantes para reducir la resistencia a la compresión del concreto celular	c) Al analizar el porcentaje de aditivos espumantes se reduce la resistencia a compresión del concreto celular	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión	ASTM C 138	Diseño de la investigación: experimental, longitudinal, retrospectivo y el estudio de diseño es cohorte.
d) ¿De qué manera la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes establece la conductividad térmica del concreto celular?	d) Determinar la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes para establecer la conductividad térmica del concreto celular	d) Al determinar la relación de la densidad con los porcentajes de aditivos espumantes se establece la conductividad térmica del concreto celular			Conductividad térmica	
					ASTM C 39	
					NTP 339.046	
					ASTM C 143	
					NTP 339.046	
					ASTM C 567	
					NTP 339.184	

Nota. Elaboración propia

## Anexo B: Matriz de revisión bibliográfica

Ítem	Autor(es)	Título	Traducción	Idea Principal	Indicadores	Método	Revista	Año	País	Doi
1	Falliano, D., Restuccia, L. y Gugliandolo, E.	A simple optimized foam generator and a study on peculiar aspects concerning foams and foamed concrete	<b>Un generador de espuma simple y optimizado y un estudio de aspectos peculiares de las espumas y el concreto celular</b>	Estudiar componentes que influyen en las espumas y propiedades del concreto celular	Porcentaje del aditivo espumante Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2020	Italia	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121101">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121101</a>
2	Raj, A., Sathyan, D. y Mini, K.	Physical and functional characteristics of foam concrete: a review	<b>Características físicas y funcionales del concreto celular</b>	Estudiar los principales aspectos que influyen en el concreto celular: materias primas, métodos de producción y densidad. Mostrar la aplicación de nuevas materias primas y otras alternativas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas	Resistencia a la compresión	Descriptiva	Elservier	2019	India	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052</a>
3	Chica, L. y Alzate, A.	Cellular concrete review: New trends for application in construction	<b>Revisión del concreto celular: nuevas tendencias para su aplicación en la construcción</b>	Explicar que en el sector construcción está tratando de encontrar nuevas alternativas de concreto por su alto peso muerto y conductividad térmica	Porcentaje del aditivo espumante Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2019	Colombia	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.136">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.136</a>
4	Kattoof, I.	Study on polyurethane foamed concrete for use in structural applications	<b>Estudio sobre concreto celular de poliuretano para uso en aplicaciones estructurales</b>	Encontrar la aplicación de producir concreto celular usando poliuretano como un aditivo espumoso con y sin cenizas volantes	Asentamiento Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2018	Iraq	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scm.2017.11.005">https://doi.org/10.1016/j.scm.2017.11.005</a>

5	Kuzielová, E., Pach, L. y Palou, M.	Effect of activated foaming agent on the foam concrete properties	<b>Efecto del aditivo espumante activado sobre las propiedades del concreto celular</b>	Preparar un conjunto de concretos con diversos volúmenes de espuma líquida y con una relación agua/cemento de 0.55, examinando la concentración mediante el efecto microonda y ultrasónico.	Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2016	Eslovaquia	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.122">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.122</a>
6	Khwaitrakam, S. y Gandhi, I.	Assessment of the potencial of a naturally available foaming agent for use in the production of foam concrete	<b>Evaluación del potencial de un aditivo espumante disponible de forma natural para su uso en la producción de concreto celular</b>	Evaluar el rendimiento de la fruta de hingat como una alternativa de aditivo espumante sintético para su uso en el concreto celular.	Porcentaje de aditivo espumante Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2020	India	<a href="https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.528">https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.528</a>
7	Bindiganavile, V. y Hoseini, M.	Foamed concrete	<b>Concreto celular</b>	Presentar los materiales, su diseño mixto, producción, propiedades, reforzamiento con fibras, aplicación y reseñas del concreto celular	Densidad Resistencia a la compresión	Descriptiva	Elservier	2019	Canadá	<a href="https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00016-2">https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00016-2</a>
8	Sun, C., Guo, J., Zhang, Y. y Sun G.	Effects of foaming agent type on the workability, drying shrinkage, frost resistance and pore distribution of foamed concrete	<b>Efectos del tipo de aditivo espumante sobre la trabajabilidad, la contracción por secado, la resistencia a las heladas y la distribución de</b>	Investigar los efectos del aditivo espumante que producen los tensioactivos sintéticos, tensioactivos vegetales y tensioactivos a base de pegamento/sangre para producir un concreto de una densidad de 600 kg/m <sup>3</sup> .	Asentamiento Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2018	China	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.136">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.136</a>

**poros del  
concreto celular**

9	Li, T., Wang, Z., Zhou, T. He, Y. y Huang, F.	Preparation and properties of magnesium phosphate cement foam concrete with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> as foaming agent	<b>Preparación y propiedades del concreto celular de cemento de fosfato de magnesio con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como aditivo espumante</b>	Estudiar las propiedades del concreto celular de cemento de fosfato de magnesio (MPC) como material cementoso, y para la aplicación de aditivo espumoso se usó peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	Porcentaje de aditivo espumante Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2019	China	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.022">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.022</a>
10	Siva, M., Ramamurthy, k. y Dhamodharan, R.	Development of a green foaming agent its performance evaluation	<b>Desarrollo de un aditivo espumante verde y su evaluación de desempeño</b>	Estudiar nuevas formas de reemplazar los aditivos espumantes sintéticos, en este caso se estudia la nuez de jabón (SN) por ser renovable y disponible de forma natural como aditivo espumante.	Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2017	India	<a href="https://doi.org/10.1016/j.emconcomp.2017.03.012">https://doi.org/10.1016/j.emconcomp.2017.03.012</a>
11	Fu, Y., Wang, X., Wang, L. y Li, Y.	Foam Concrete: A state of the art and state of the practice review	<b>Concreto celular: un estado de la técnica y el estado de la práctica</b>	Realizar una revisión del estado de la técnica y práctica del concreto celular por su actual importancia en la construcción	Porcentaje del aditivo Densidad Resistencia a la compresión	Descriptiva	Elservier	2020	China	<a href="https://doi.org/10.1155/2020/6153602">https://doi.org/10.1155/2020/6153602</a>

12	Liu, C., Zhang, Y., Yang, H., Ren, X. y Yang, J.	Dodecanamide concrete foaming agent: preparation and application	<b>Aditivo espumante de concreto con dodecanamida: preparación y aplicación</b>	Preparar un aditivo espumante de lauramida y compararlo con un aditivo espumante comercial, para demostrar sus mejores propiedades.	Porcentaje de aditivo Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2020	China	<a href="https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.71-78.799">https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.71-78.799</a>
13	Dong, S. y Zhang, W.	Study on foaming agent foam ability and stability for foam concrete	<b>Estudio sobre la capacidad y estabilidad de la espuma del aditivo espumante para concreto celular</b>	Estudiar la estabilidad y capacidad de la espuma LAS por la aparición del problema del sistema térmico de paredes externas con EPS.	Resistencia a la compresión	Experimental	ProQuest	2013	China	<a href="https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.357-360.1304">https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.357-360.1304</a>
14	Mugahed, Y., Farzadnia, N. y Abang, A.	Properties and applications of foamed concrete; a review	<b>Propiedades y aplicaciones del concreto celular; una revisión</b>	Proporcionar una visión completa de las posibles aplicaciones del concreto celular en la industria de la construcción actual.	Densidad Resistencia a la compresión	Descriptiva	Elservier	2015	Malasia	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112</a>
15	Krämer, C., Schauerte, M., Kowald, T. y Trettin, R.	Three-phase-foams for concrete application	<b>Espumas trifásicas para aplicación de concreto celular</b>	Mostrar y explicar el estudio de la influencia de las espumas trifásicas sobre la microestructura, el desarrollo de las fases y propiedades mecánicas del concreto celular.	Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2015	Alemania	<a href="https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.03.004">https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.03.004</a>
16	Hashim, M. y Trantay, M.	Comparative study on the performance of protein and synthetic-based foaming agents used in foamed concrete	<b>Estudio comparativo sobre el comportamiento de los aditivos espumantes a base de proteínas y sintéticos utilizados en el concreto celular</b>	Evaluar el impacto de los aditivos espumantes de proteína y sintético, respecto a las propiedades de la fabricación del concreto celular. Además, que se estudió la estabilidad de la espuma, la microestructura y la resistencia a la compresión.	Porcentaje de aditivo Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2021	India	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scsm.2021.e00524">https://doi.org/10.1016/j.scsm.2021.e00524</a>

17	Krämer, C., Schauerte, M., Müller, T., Gebhard, S., & Trettin, R.	Application of reinforced three-phase-foams in UHPC foam concrete	<b>Aplicación de espumas trifásicas reforzadas en concreto celular UHPC</b>	Implementar espumas trifásicas con y sin nanotubos en el concreto celular para estudiar las propiedades mecánicas y mostrar sus influencias.	Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2017	Alemania	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.027">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.027</a>
18	Xiong, Y., Zhu, Y., Chen, C., & Zhang, Y.	Effect of nano-alumina modified foaming agents on properties of foamed concrete	<b>Efecto de los aditivos espumantes modificados con nanoalúmina sobre las propiedades del concreto celular</b>	Demostrar un nuevo método para preparar una espuma ultra estable que se basa en el tratamiento con SOCI2 y la modificación de nano-alúmina (NA), para comparar las propiedades de las espumas fabricadas por diferentes aditivos espumantes nano modificados.	Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2020	China	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121045">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121045</a>
19	Hou, L., Li, J., Lu, Z., Niu, Y., Jiang, J., & Li, T.	Effect of nanoparticles on foaming agent and the foamed concrete	<b>Efecto de las nanopartículas sobre el aditivo espumante y el concreto celular</b>	Demostrar que las nanopartículas mejoran las propiedades de los aditivos espumantes y que las espumas prefabricadas mejoren el rendimiento del concreto celular.	Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2019	China	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116698">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116698</a>
20	He, J., Gao, Q., Song, X., Bu, X., & He, J.	Effect of foaming agent on physical and mechanical properties of alkali-activated slag foamed concrete	<b>Estudio comparativo sobre el comportamiento de los aditivos espumantes a base de proteínas y sintéticos</b>	Expresar una relación eficaz de espuma y una mejor estabilidad en la lechada de la pasta, en la cual se realizaron con tres aditivos: sulfonato de olefinas (AOS), dodecilsulfato de sodio	Porcentaje de aditivo espumante Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2020	China	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.302">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.302</a>



**utilizados en el  
concreto celular**

(K12) y éter sulfato de alcohol de sodio (AES).

21	Li, T., Huang, F., Li, L., Zhu, J., Jiang, X., & Huang, Y.	Preparation and properties of sulphoaluminate cement-based foamed concrete with high performance	<b>Preparación y propiedades del concreto celular a base de cemento sulfoaluminato de alto rendimiento</b>	Preparar un concreto celular con baja conductividad térmica a partir desde la perspectiva de la selección de la materia prima, en este caso el cemento sulfoaluminato (SAC) como material cementante y la mezcla de nitrato de aluminio y bicarbonato de sodio como aditivo espumante. Investigar y comparar las propiedades físico-mecánicas y térmicas en la producción del concreto celular, este contiene vermiculita, pero para contrarrestar su efecto negativo se emplea humo sílice. Además, se investigó el efecto de la alta temperatura sobre las propiedades del concreto celular	Densidad Resistencia a la compresión Conductividad térmica	Experimental	Elservier	2020	China	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120945">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120945</a>
22	Koksal, F., Sahin, Y., & Gencil, O.	Influence of expanded vermiculite powder and silica fume on properties of foam concretes	<b>Influencia del polvo de vermiculita expandida y el humo de sílice en las propiedades de los concretos celulares</b>		Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2020	Turquia	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119547">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119547</a>

23	Ghorbani, S., Ghorbani, S., Tao, Z., de Brito, J., & Tavakkolizadeh, M.	Effect of magnetized water on foam stability and compressive strength of foam concrete.	<b>Efecto del agua magnetizada sobre la estabilidad de la espuma y la resistencia a la compresión del concreto celular</b>	Evaluar la influencia del agua magnetizada sobre la estabilidad de la espuma y la resistencia a la compresión, la resistencia a la rotura, la absorción de agua y la microestructura del concreto celular, puesto que puede aumentar la trabajabilidad del concreto fresco y su resistencia endurecida.	Resistencia a la compresión	Experimental	Elsevier	2019	Portugal	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.160">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.160</a>
24	Hou, L., Li, J., Lu, Z., & Niu, Y.	Influence of foaming agent on cement and foam concrete.	<b>Influencia del aditivo espumante sobre el cemento y el concreto celular</b>	Analizar la influencia del aditivo espumante en el cemento y el concreto celular. Para el estudio se utilizó cuatro tipos de aditivos espumantes para la preparación del concreto celular.	Densidad	Experimental	Elsevier	2021	China	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122399">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122399</a>
25	Zhang, X., Yang, Q., Shi, Y., Zheng, G., Li, Q., Chen, H., & Cheng, X.	Effects of different control methods on the mechanical and thermal properties of ultra-light foamed concrete.	<b>Efectos de diferentes métodos de control sobre las propiedades mecánicas y térmicas del concreto celular ultraligero</b>	Estudiar los efectos de los diferentes métodos de control sobre las propiedades mecánicas y térmicas del concreto celular ultraligero, mediante cuatro medidas para poder controlar su comportamiento.	Porcentaje de aditivo espumante Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elsevier	2020	China	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120082">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120082</a>

26	Falliano, D., De Domenico, D., Ricciardi, G., & Gugliandolo, E.	Experimental investigation on the compressive strength of foamed concrete: Effect of curing conditions, cement type, foaming agent and dry density.	<b>Investigación experimental sobre la resistencia a la compresión del concreto celular: Efecto de las condiciones de curado, tipo de cemento, aditivo espumante y densidad seca</b>	Realizar una campaña experimental donde presentarán muestras de concreto celular de baja densidad, estas son caracterizadas por sus diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas	Porcentaje de aditivo espumante Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2018	Italia	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.241">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.241</a>
27	Yuanliang, X., Baoliang, L., Chun, C., & Yamei, Z.	Properties of foamed concrete with Ca(OH) <sub>2</sub> as foam stabilizer.	<b>Propiedades del concreto celular con Ca(OH)<sub>2</sub> como estabilizador de espuma</b>	Mejorar la estabilidad de la espuma fresca con Ca(OH) <sub>2</sub> como un estabilizador de espuma, con la finalidad de aumentar las propiedades y el comportamiento del concreto celular a edades tempranas.	Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2021	China	<a href="https://doi.org/10.1016/j.emconcomp.2021.103985">https://doi.org/10.1016/j.emconcomp.2021.103985</a>
28	Song, Q., Bao, J., Xue, S., Zhang, P., & Mu, S.	Collaborative disposal of multisource solid waste: Influence of an admixture on the properties, pore structure and durability of foam concrete.	<b>Disposición colaborativa de residuos sólidos multifuente: Influencia de un aditivo en las propiedades, estructura porosa y durabilidad del concreto celular</b>	Investigar la influencia de aditivos sobre propiedades, la estructura de los poros y la durabilidad del concreto celular mediante tres pruebas factoriales y ortogonales de tres niveles. En este artículo se considera como objeto de investigación una típica ciudad costera basada en recursos de cenizas volantes (FA), la escoria de horno (FS) y polvo mineral (MP) se toman como muestras.	Densidad Resistencia a la compresión Conductividad térmica	Experimental	Elservier	2021	China	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.075">https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.075</a>

29	Yavuz Bayraktar, O., Kaplan, G., Gencil, O., Benli, A., & Sutcu, M.	Physico-mechanical, durability and thermal properties of basalt fiber reinforced foamed concrete containing waste marble powder and slag.	<b>Propiedades físico-mecánicas, de durabilidad y térmicas del concreto celular reforzado con fibra de basalto que contiene residuos de polvo y escoria de mármol</b>	Investigar las propiedades físico-mecánicas, de durabilidad y térmicas del concreto celular reforzado con fibras de basalto (BF) que contiene residuos de polvo de mármol (WMP) y escoria de alto horno granulada molida (GGBFS).	Porcentaje de aditivo espumante Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2021	Turquía	<a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123128">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123128</a>
30	Jose, S. K., Soman, M., & Evangeline, Y. S.	Influence of mixture composition on the properties of foamed concrete.	<b>Influencia de la composición de la mezcla en las propiedades del concreto celular</b>	Analizar la influencia de la adición de cenizas en las propiedades del concreto celular para el desarrollo de una nueva metodología en la producción económica de concreto celular mediante la reducción el contenido de cemento y también mediante la sustitución de una parte de cemento por estas cenizas.	Porcentaje de aditivo espumante Densidad Resistencia a la compresión	Experimental	Elservier	2020	India	<a href="https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.592">https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.592</a>

Nota. Elaboración propia

### Anexo C: Artículos seleccionados para los resultados de la investigación

N°	Autor	Título	Muestra	Tipo de aditivos espumantes	Porcentaje de aditivo espumante (%)	Asentamiento (mm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión (MPa)	Conductividad Térmica (W/m.K)
1	Kattoof, I.	Estudio sobre concreto celular de poliuretano para uso en aplicaciones estructurales	-	Poliuretano (PU)	0.13	230	1665	-	-
			-		0.10	200	1680	-	-
2	Sun, C., Guo, J., Zhang, Y. y Sun G.	Efectos del tipo de aditivo espumante sobre la trabajabilidad, la contracción por secado, la resistencia a las heladas y la distribución de poros del concreto celular	AS-600	Tensioactivos de origen animal (AS)	0.3	180	624	2.4	-
			SS-600	Tensioactivos sintéticos (SS)	0.3	260	622	2.65	-
			PS-600	Tensioactivos a base de plantas (PS)	0.3	200	617	1.85	-
			BF0-10		0.10	215	1963.90	5.24	0.748
			BF1-10		0.10	220	1966.90	5.88	0.678
			BF2-10		0.10	223	1969.50	5.95	0.670
			BF0-15		0.15	228	1950.20	4.45	0.646
3	Yavuz Bayraktar, O., Kaplan, G., Gencel, O., Benli, A., & Sutcu, M.	Propiedades físico-mecánicas, de durabilidad y térmicas del concreto celular reforzado con fibra de basalto que contiene residuos de polvo y escoria de mármol	BF1-15	Aditivo espumante a base de proteínas	0.15	228	1934.40	4.54	0.642
			BF2-15		0.15	230	1920.80	4.87	0.639
			BF0-20		0.20	233	1812.90	3.50	0.631
			BF1-20		0.20	255	1764.80	3.64	0.610
			BF2-20		0.20	258	1762.10	4.08	0.589
			BF0-25		0.25	270	1674.40	3.22	0.563
			BF1-25		0.25	285	1672.00	3.23	0.557
			BF2-25		0.25	293	1655.10	3.39	0.542
			BF0-30		0.30	293	1641.70	2.99	0.531
			BF1-30		0.30	295	1626.40	3.08	0.525

			BF2-30		0.30	297	1619.70	3.20	0.518
			BF0-35		0.35	300	1611.00	2.74	0.511
			BF1-35		0.35	305	1558.20	2.87	0.511
			BF2-35		0.35	310	1418.40	2.89	0.504
			-		0.05	-	1004	15.2	0.129
			-		0.10	-	902	12.0	0.109
			-	Aditivo espumante	0.15	-	808	9.5	0.091
			-	con nitrato de	0.20	-	705	7.2	0.079
			-	aluminio y	0.25	-	603	5.2	0.064
			-	bicarbonato de sodio	0.30	-	505	3.3	0.062
			-		0.35	-	407	2.0	0.056
			-		0.40	-	302	1.1	0.052
			1		0.5	-	514.10	3.90	0.154
			2	Disposición colaborativa de residuos sólidos	0.5	-	510.70	3.60	0.150
			3	multifuente: Influencia de	0.5	-	507.20	3.12	0.148
			4	un aditivo en las	0.5	-	507.00	3.00	0.146
			5	propiedades, estructura	0.5	-	504.80	2.66	0.136
			6	porosa y durabilidad del	0.5	-	503.00	2.59	0.135
			7	concreto celular	0.5	-	498.00	2.37	0.128

Nota. Elaboración propia

## Anexo D: Matriz de definición, justificación y delimitación temporal de los indicadores

Subtemas (Indicadores)	Definición/Justificación del subtema/delimitación temporal (si aplica)	Objetivo
Asentamiento	Es el ensayo encargado de realizar la medición de la consistencia del concreto. / Este indicador es indispensable puesto que influye en incrementar la fluidez del concreto.	Analizar el porcentaje de aditivo espumante para incrementar en el asentamiento del concreto celular
Densidad	Es la relación entre el peso del material y el volumen, será determinante para la calidad de la construcción. / Este indicador es indispensable puesto que tiene relación directa con los componentes de su composición	Analizar el porcentaje de aditivo espumante para reducir en la densidad del concreto celular
Resistencia a compresión	Es la característica mecánica principal del concreto. Tiene la capacidad de soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo o también como MPa. / Este indicador es indispensable puesto que el aditivo espumante influirá en el incremento de la resistencia.	Analizar como el porcentaje de aditivo espumante para incrementar en la resistencia a compresión del concreto celular
Conductividad térmica	Tiene la capacidad de transmitir energía térmica, y se expresa en t vatios / (metro × Kelvin) como W/m.K. / Este indicador es indispensable puesto que el aditivo espumante influirá en la relación de la densidad con la conductividad térmica.	Determinar la relación de la densidad con los porcentajes del aditivo espumante para establecer la conductividad térmica del concreto celular

*Nota.* Elaboración propia

## Anexo E: Informe de Originalidad (Turnitin)

Aditivos espumantes para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>22%</b>	<b>20%</b>	<b>11%</b>	<b>10%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Ricardo Palma</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>creativecommons.org</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.uancv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>www.mdpi.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.usanpedro.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.unsa.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>export.arxiv.org</b> Fuente de Internet	



		1 %
10	<a href="https://repositorio.une.edu.pe">repositorio.une.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
11	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="https://repositorio.upse.edu.ec">repositorio.upse.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://www.fracturae.com">www.fracturae.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="https://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
16	<a href="http://ouci.dntb.gov.ua">ouci.dntb.gov.ua</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="https://repositorio.upao.edu.pe">repositorio.upao.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://riunet.upv.es">riunet.upv.es</a> Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %

21	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
24	<a href="http://cicy.repositorioinstitucional.mx">cicy.repositorioinstitucional.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://studentsrepo.um.edu.my">studentsrepo.um.edu.my</a> Fuente de Internet	<1 %
26	Reyes Guzmán Roberto. "Estudio experimental del comportamiento fuera del plano de la fachada de un templo típico colonial construido escala 1:8", TESIUNAM, 2017 Publicación	<1 %
27	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
28	Krishna Kumar P, Chinnaraju K. "Utilization Potentials of Nano Bio-Carbonate Filler to Mitigate Alkali Aggregate Reactivity of Glass Powder -Foamed Concrete", Canadian Journal of Civil Engineering, 2022 Publicación	<1 %
29	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %

30	Khwairakpam Selija, Indu Siva Ranjani Gandhi. "Comprehensive investigation into the effect of the newly developed natural foaming agents and water to solids ratio on foam concrete behaviour", Journal of Building Engineering, 2022 Publicación	<1 %
31	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
32	engstroy.spbstu.ru Fuente de Internet	<1 %
33	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	scholarworks.alaska.edu Fuente de Internet	<1 %
35	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
36	Devid Falliano, Luciana Restuccia, Ernesto Gugliandolo. "A simple optimized foam generator and a study on peculiar aspects concerning foams and foamed concrete", Construction and Building Materials, 2020 Publicación	<1 %
37	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

38	<a href="http://udem.edu.co">udem.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://academictree.org">academictree.org</a> Fuente de Internet	<1 %
40	Yun Que, Xian Chen, Tengjie Zhu, Hongyang Zhang, Weifeng Huang, Anthony Kwan Leung, Zhenliang Jiang, Bin Xue, Dong Lu. "Characterizing the engineering properties of Marine Sand-Amended foamed lightweight Soil: Macroscopic and microscopic perspectives", Construction and Building Materials, 2023 Publicación	<1 %
41	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
43	Nghia P. Tran, Tuan N. Nguyen, Tuan D. Ngo, Phung K. Le, Tuan A. Le. "Strategic progress in foam stabilisation towards high-performance foam concrete for building sustainability: A state-of-the-art review", Journal of Cleaner Production, 2022 Publicación	<1 %
44	Submitted to VIT University Trabajo del estudiante	<1 %

45	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
46	<a href="https://zombiedoc.com">zombiedoc.com</a> Fuente de Internet	<1 %
47	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %
48	Shizhao Yang, Xujiang Wang, Jingwei Li, Xingliang Yao, Yonggang Yao, Changliang Wu, Wenlong Wang. "A sustainable foamed material preparation via ettringite-targeted mineral transition of industrial solid wastes", <i>Journal of Cleaner Production</i> , 2022 Publicación	<1 %
49	<a href="https://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="https://www.tandfonline.com">www.tandfonline.com</a> Fuente de Internet	<1 %
51	García Mejía Tania Ariadna. "Estudio de la microestructura y la resistencia a la compresión de geopolímeros de metacaolinita con KOH : aplicación de un diseño factorial 2k", TESIUNAM, 2017 Publicación	<1 %
52	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %



53	<a href="https://repositorio.ufpso.edu.co:8080">repositorio.ufpso.edu.co:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
54	Submitted to Heriot-Watt University Trabajo del estudiante	<1 %
55	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1 %
56	<a href="https://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
57	<a href="https://www.civilejournal.org">www.civilejournal.org</a> Fuente de Internet	<1 %
58	<a href="https://www.ije.ir">www.ije.ir</a> Fuente de Internet	<1 %
59	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
60	H. S. Gökçe, N. Öksüzer, H. A. Kamiloğlu, M. Eyüboğlu, F. Yılmaz. "The Toughness of Polypropylene Fiber-Reinforced Foam Concrete under Various Uni- and Tri-Axial Compression Loads", KSCE Journal of Civil Engineering, 2023 Publicación	<1 %
61	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
62	Submitted to Swinburne University of Technology	<1 %

Trabajo del estudiante

63	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
65	Yongliang He, Mingshi Gao, Dong Xu, Xin Yu. "Influence of Sub-zero Temperatures on the Dynamic Behaviour of Foam Concrete with Sand", KSCE Journal of Civil Engineering, 2021 Publicación	<1 %
66	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
67	<a href="http://repositorio.ulatina.ac.cr">repositorio.ulatina.ac.cr</a> Fuente de Internet	<1 %
68	<a href="http://repository.unipiloto.edu.co">repository.unipiloto.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
69	<a href="http://revistas.unasam.edu.pe">revistas.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
70	<a href="http://repositorio.ucsg.edu.ec">repositorio.ucsg.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
71	<a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
72	<a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

[www.voltairenet.org](http://www.voltairenet.org)

73	Fuente de Internet	<1 %
74	Salgado Cruz Edrey Nassier. "Siembra de partículas sub micrométricas de minerales de fósforo en morteros hidráulicos de cemento para mejorar su desempeño mecánico", TESIUNAM, 2016 Publicación	<1 %
75	<a href="http://www.ppml.url.tw">www.ppml.url.tw</a> Fuente de Internet	<1 %
76	González Quiñonez Ana Patricia. "Desarrollo de paneles arquitectónicos para muros con impacto energético bajo : síntesis de material compuesto de geopolímero y agregados minerales", TESIUNAM, 2019 Publicación	<1 %
77	<a href="http://repositorio.unphu.edu.do">repositorio.unphu.edu.do</a> Fuente de Internet	<1 %
78	<a href="http://sigma-not.pl">sigma-not.pl</a> Fuente de Internet	<1 %
79	Osman Gencil, Turhan Bilir, Zeynep Bademler, Togay Ozbakkaloglu. "A Detailed Review on Foam Concrete Composites: Ingredients, Properties, and Microstructure", Applied Sciences, 2022 Publicación	<1 %



80	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
81	Saeid Ghorbani, Sohrab Sharifi, Jorge de Brito, Sahar Ghorbani, Mahdi Ahmadi Jalayer, Mohmmadreza Tavakkolizadeh. "Using statistical analysis and laboratory testing to evaluate the effect of magnetized water on the stability of foaming agents and foam concrete", Construction and Building Materials, 2019 Publicación	<1 %
82	Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Trabajo del estudiante	<1 %
83	Submitted to Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña Trabajo del estudiante	<1 %
84	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
85	civilejournal.org Fuente de Internet	<1 %
86	eartharxiv.org Fuente de Internet	<1 %
87	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

88 repository.eia.edu.co <1 %  
Fuente de Internet

---

89 Long Zheng, Yingfeng Zuo, Xingong Li, Yiqiang Wu. "Biomimetic Swallow Nest Structure: A Lightweight and High-Strength Thermal Insulation Material", ACS Nano, 2022 <1 %  
Publicación

---

90 cybertesis.urp.edu.pe <1 %  
Fuente de Internet

---

91 Dong, Su Fen, and Wei Zhang. "Study on Foaming Agent Foam Ability and Stability for Foam Concrete", Applied Mechanics and Materials, 2013. <1 %  
Publicación

---

92 Iván Elías Ligardo Herrera. "Addressing Climate Change in Research and Innovation Projects. A tool for Anticipatory Carbon Footprint Calculation", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 <1 %  
Publicación

---

93 M. K. Purkait, S. DasGupta, S. De. "Simultaneous Separation of Two Oxyanions from Their Mixture Using Micellar Enhanced Ultrafiltration", Separation Science and Technology, 2005 <1 %  
Publicación

---

dergipark.org.tr

94	Fuente de Internet	<1 %
95	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
96	investigaciones-pure.udem.edu.co Fuente de Internet	<1 %
97	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
98	repositorio.uti.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
99	Jianzhuang Xiao, Lucen Hao, Wanzhi Cao, Taohua Ye. "Influence of recycled powder derived from waste concrete on mechanical and thermal properties of foam concrete", Journal of Building Engineering, 2022 Publicación	<1 %
100	Ramirez Zamora Juan José. "Comportamiento de muros de concreto celular con diferentes cuantias de acero de refuerzo", TESIUNAM, 2007 Publicación	<1 %
101	Santeliz Cambray Anibal. "Diseño y construccion de losas de concreto ligero", TESIUNAM, 2001 Publicación	<1 %

102	Tianye Luo, Xingu Zhong, Chao Zhao, Xiong Peng, Qunyu Yang. "Experimental study on compressive behaviors and meso-scale structure of SFRFC based on CT scanning technique", Construction and Building Materials, 2023 Publicación	<1 %
103	Xie Renjun, Wu Zhiqiang, Cheng Xiaowei, Ni Xiucheng. "Research on the Mechanical Integrity of Low-Density Cement Mortar", Frontiers in Materials, 2022 Publicación	<1 %
104	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
105	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
106	revistas.uees.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
107	www.foromarketing.com Fuente de Internet	<1 %
108	www.industry-portal.com Fuente de Internet	<1 %
109	www.plantasmedicinales.org Fuente de Internet	<1 %
110	www.virtualpro.co Fuente de Internet	<1 %

111 "Transportation Soil Engineering in Cold Regions, Volume 2", Springer Science and Business Media LLC, 2020 <1 %  
Publicación

---

112 Gaurav Chand. "Microstructural study of sustainable cements produced from industrial by-products, natural minerals and agricultural wastes: A critical review on engineering properties", Cleaner Engineering and Technology, 2021 <1 %  
Publicación

---

113 Hernández Cruz Alfonso. "Concreto de alta resistencia en la producción de durmientes para el STC-Metro", TESIUNAM, 2010 <1 %  
Publicación

---

114 JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACION DEL PROCESO DE SECADO DE TOMILLO (Thymus Vulgaris L.): APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS DE POTENCIA Y SECADO INTERMITENTE", Universitat Politecnica de Valencia, 2013 <1 %  
Publicación

---

115 Sócrates Pedro Muñoz Pérez, Diego Mauricio Díaz Sánchez, Edinson Enrique Gamarra Capuñay, Josef Alexander Chaname Bustamante et al. "La Influencia de los RCD en reemplazo de los agregados para la <1 %



elaboración de concreto: Una revisión de la  
literatura", Ecuadorian Science Journal, 2021  
Publicación

116	<a href="http://doaj.org">doaj.org</a> Fuente de Internet	<1 %
117	<a href="http://lolaenglishclass.blogspot.com">lolaenglishclass.blogspot.com</a> Fuente de Internet	<1 %
118	<a href="http://pirhua.udep.edu.pe">pirhua.udep.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
119	<a href="http://polodelconocimiento.com">polodelconocimiento.com</a> Fuente de Internet	<1 %
120	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
121	<a href="http://upcommons.upc.edu">upcommons.upc.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
122	Han Zhu, Longlong Chen, Jie Xu, Qinghua Han. "Experimental study on performance improvement of anionic surfactant foaming agent by xanthan gum", Construction and Building Materials, 2020 Publicación	<1 %
123	Md Azree Othuman Mydin, Mohd Nasrun Mohd Nawi, Roshartini Omar, Anmar Dulaimi et al. "Mechanical, durability and thermal properties of foamed concrete reinforced with	<1 %

synthetic twisted bundle macro-fibers",  
Frontiers in Materials, 2023

Publicación

---

124 Ahmed Mahmoud Alnahhal, U. Johnson Alengaram, Sumiani Yusoff, Ramesh Singh, Mohammed K.H. Radwan, Walid Deboucha. "Synthesis of Sustainable Lightweight Foamed Concrete Using Palm Oil Fuel Ash as a Cement Replacement Material", Journal of Building Engineering, 2020 <1 %

Publicación

---

125 Sandra Paola Rojas Lema. "Desarrollo y optimización de nuevas formulaciones de biopolímeros con principios activos para aplicaciones en el sector envase-embalaje", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 <1 %

Publicación

---

126 es.scribd.com <1 %

Fuente de Internet

---

127 repositorio.unj.edu.pe <1 %

Fuente de Internet

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 5 words

Excluir bibliografía

Apagado