

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**POLVO DE ALUMINIO FUNDIDO PARA MEJORAR LAS
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN CONCRETO
LIGERO**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

Bach. MENDEZ LINO, JOSE BENJAMIN

Bach. VARGAS RAMÍREZ, JORGE LUIS

ASESOR:

Mg. Ing. CHAVARRÍA REYES, LILIANA JANET

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi corazón a mis padres Jose y Natalia pues sin ellos no lo habría logrado, a Elizabeth por enseñarme a perseverar y Magda que desde el cielo me acompaña por forjar mi carácter. Por eso les entrego mi trabajo en ofrenda por su amor y paciencia, los amo.

Mendez Lino Jose Benjamin

Esta tesis está dedicada primeramente a Dios. A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y darme el apoyo a cada momento en el transcurso de mi vida. A mis abuelos que desde el cielo siempre me acompañan. Finalmente, maestros y mentores quienes con su amplio conocimiento nos guían.

Vargas Ramírez Jorge Luis

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater la Universidad Ricardo Palma, por habernos brindado los conocimientos de esta maravillosa carrera.

A nuestros maestros y amigos que siempre nos apoyaron y creyeron en nosotros.

A nuestra asesora Mg. Ing. Liliana Chavarría Reyes por su apoyo a lo largo del desarrollo de esta investigación. Que Dios los bendiga.

Jose Mendez y Jorge Vargas

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Delimitación de la investigación	3
1.4.1 Geográfica	3
1.4.2 Temporal	3
1.4.3 Temática	3
1.4.4 Muestral.....	3
1.5 Justificación de la investigación	4
1.5.1 Conveniencia.....	4
1.5.2 Relevancia social.....	4
1.5.3 Aplicación práctica.....	4
1.5.4 Utilidad metodológica	4
1.5.5 Valor teórico.....	5
1.6 Importancia del estudio.....	5
1.6.1 Nuevos conocimientos	5
1.6.2 Aporte.....	5
1.7 Limitaciones	5
1.7.1 Falta de estudios previos de investigación	5
1.7.2 Metodológicos o prácticos	6
1.7.3 Medidas para la recolección de datos.....	6
1.7.4 Obstáculos en la investigación	6
1.8 Alcance	6
1.9 Viabilidad	7

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Marco histórico.....	8
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema	8
2.2.1 Investigaciones internacionales.....	8
2.2.2 Investigaciones nacionales	9
2.2.3 Artículos relacionados con el tema	11
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	12
2.3.1 Concreto	12
2.3.2 Usos estructurales.....	12
2.3.3 Componentes del concreto	13
2.3.4 Tipos de cementos.....	13
2.3.5 Propiedades de los agregados.....	15
2.3.6 Reacción del cemento – agua	18
2.3.7 Concreto ligero	19
2.3.8 Concreto celular	20
2.3.9 Polvo de aluminio.....	21
2.3.10 Características del polvo de aluminio	22
2.3.11 Secuencia de designación de las aleaciones.....	22
2.3.12 Aluminio fundido.....	23
2.3.13 Densidad del concreto.....	24
2.4 Importancia del curado del concreto.....	25
2.4.1 Diseño de mezcla.....	25
2.5 Definición de términos básicos.....	26
2.6 Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis	26
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	27
3.1 Hipótesis	27
3.1.1 Hipótesis principal.....	27
3.1.2 Hipótesis secundarias	27
3.2 Variables	27
3.2.1 Variable independiente (VI).....	27
3.2.2 Variable dependiente (VD)	27
3.2.3 Variable interviniente.....	27
3.3 Definición conceptual.....	27
3.4 Definición operacional.....	28

3.5 Operacionalización de variables	28
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
4.1 Método de la investigación.....	32
4.2 Tipo de investigación.....	32
4.3 Nivel de investigación	32
4.4 Diseño de la investigación	32
4.5 Población y muestra.....	33
4.5.1 Población.....	33
4.5.2 Muestra.....	33
4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos	34
4.6.1 Métodos y técnicas	35
4.7 Descripción de procesamiento de análisis	35
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA	
INVESTIGACIÓN.....	36
5.1 Resultados y análisis de la investigación.....	36
5.1.1 Resultados de ensayos de porosidad.	36
5.1.2 Resultados de los ensayos de absorción.	42
5.1.3 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.	50
5.1.4 Resultado de ensayos de densidad.....	56
5.2 Contrastación de hipótesis	61
5.2.1 Contrastación de la primera hipótesis.	61
5.2.2 Contrastación de la segunda hipótesis.....	64
5.2.3 Contrastación de la tercera hipótesis.	67
5.2.4 Contrastación de la cuarta hipótesis.	70
DISCUSIÓN	73
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	84
Anexo 1 Matriz de consistencia.....	84
Anexo 2 Matriz de revisión bibliográfica	86
Anexo 3 Matriz de generalidades de artículos consultados.	93
Anexo 4 Matriz de definición, justificación y delimitación temporal de los indicadores.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Materias que constituyen el cemento.....	13
Tabla 2: Límites permisibles para la calidad del agua.....	16
Tabla 3: Propiedades técnicas del plastificante Euco 37.....	18
Tabla 4: Características del concreto convencional.....	20
Tabla 5: Características físico-mecánica del aluminio.....	23
Tabla 6: Composición química del aluminio.....	24
Tabla 7: Densidad del concreto.....	25
Tabla 8: Operacionalización de las variables.....	29
Tabla 9: Operacionalización de las variables definición/dimensiones.....	31
Tabla 10: Ensayo de porosidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 5 muestras recolectadas y 3 analizadas.....	37
Tabla 11: Ensayo de porosidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 5 muestras recolectadas y 4 analizadas.....	39
Tabla 12: Ensayo de porosidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 4 muestras recolectadas y 1 analizada.....	41
Tabla 13: Ensayo de absorción para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 4 muestras recolectadas y 5 analizadas.....	43
Tabla 14: Ensayo de absorción para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 4 muestras recolectadas y 5 analizadas.....	45
Tabla 15: Ensayo de absorción para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 3 muestras recolectadas y 4 analizadas.....	47
Tabla 16: Ensayo de absorción para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 4 muestras recolectadas y 3 analizadas.....	49
Tabla 17: Ensayo de resistencia a compresión para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido óptimo en 0.05% a los 28 días de curado.....	51
Tabla 18: Ensayo de resistencia a compresión para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio en 0.25% a los 7, 14, 28 días.....	52
Tabla 19: Ensayo de resistencia a compresión para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido en 0.25% a los 28 días de curado.....	55
Tabla 20: Ensayo de densidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 5 muestras diseño 1.....	56

Tabla 21: Ensayo de densidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 5 muestras diseño 2.	58
Tabla 22: Ensayo de densidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 6 muestras.	59
Tabla 23: Ensayo de resistencia a compresión con adición de polvo de aluminio fundido para 3 muestras recolectadas.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fundamento teórico que sustenta la hipótesis	26
Figura 2: Polvo de aluminio (%) vs Porosidad del concreto ligero (%) con línea de tendencia extrapolando la ecuación polinómica.	37
Figura 3: Polvo de aluminio fundido (%) vs Porosidad del concreto ligero (%), resaltando el valor óptimo del porcentaje de porosidad.	38
Figura 4: Polvo de aluminio (%) vs Porosidad del concreto ligero (%) con línea de tendencia infiriendo la ecuación polinómica.	39
Figura 5: Polvo de aluminio (%) vs Porosidad (%) resaltando el valor óptimo porcentaje de concreto ligero.	40
Figura 6: Polvo de aluminio (%) vs Porosidad del concreto ligero (%) y la línea de tendencia extrapolando la ecuación polinómica.	41
Figura 7: Polvo de aluminio (%) vs Porosidad del concreto ligero (%) enfaticando el valor óptimo.	42
Figura 8: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) línea de tendencia extrapolando la ecuación polinómica.	43
Figura 9: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) resaltando el óptimo porcentaje concreto ligero.	44
Figura 10: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) con línea de tendencia y ecuación polinómica.	45
Figura 11: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) resaltando el óptimo porcentaje concreto ligero.	46
Figura 12: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) con línea de tendencia y extrapolado la confiabilidad.	47
Figura 13: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) resaltando el óptimo porcentaje.	48
Figura 14: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) enfaticando la línea de tendencia se extrapoló.	49
Figura 15: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) resaltando valor óptimo de la absorción.	50
Figura 16: Polvo de aluminio (%) vs Resistencia a compresión del concreto ligero (kg/cm ²) a los 28 días resaltando el valor óptimo.	51

Figura 17: Polvo de aluminio (%) vs Resistencia a compresión del concreto ligero (kg/cm ²) para 7 días resaltando el valor óptimo Lam, et al.	53
Figura 18: Polvo de aluminio (%) vs Resistencia a compresión del concreto ligero (kg/cm ²) para 14 días resaltando el valor óptimo Lam, et al.	53
Figura 19: Polvo de aluminio (%) vs Resistencia a compresión del concreto ligero (kg/cm ²) a los 28 días resaltando el valor óptimo Lam, et al.	54
Figura 20: Polvo de aluminio (%) vs Resistencia a compresión (kg/cm ²) del concreto ligero.	55
Figura 21: Polvo de aluminio (%) vs Densidad (kg/m ³) según Lam, et al.	57
Figura 22: Polvo de aluminio (%) vs Densidad (kg/m ³) según Rana, et al.	58
Figura 23: Polvo de aluminio (%) vs Densidad (kg/m ³) según Vikram, et al.	59
Figura 24: Polvo de aluminio (%) vs Densidad (kg/m ³) según Jinyoung, et al.	60
Figura 25: Gráfico del porcentaje de porosidad vs Los autores de distintas investigaciones en su estado óptimo.	62
Figura 26: Gráfico del porcentaje de absorción (%) vs Los autores de distintas investigaciones en su estado óptimo.	65
Figura 27: Gráfico de resistencia a compresión vs Los autores de distintas investigaciones en su estado óptimo.	68
Figura 28: Gráfico de densidad vs Los autores de distintas investigaciones en su estado óptimo.	71

RESUMEN

La tesis realizada llevó como título “Polvo de aluminio fundido para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero”, tuvo como objetivo determinar el porcentaje de polvo de aluminio fundido para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero. Esta investigación fue de método documental bibliográfico, de tipo explicativo, de nivel descriptivo y de diseño de investigación no experimental. Conforme se desarrolló la investigación se observó que el uso de polvo de aluminio fundido, el cual fue añadido en diferentes porcentajes, aumenta la porosidad y la absorción del concreto ligero. Sin embargo, para los ensayos de resistencia a compresión y densidad las reduce. Los resultados que se obtuvieron de manera analítica con altos porcentajes de confiabilidad entre 96% a 100%, a partir de las investigaciones consultadas, concluyeron que el polvo de aluminio fundido mejora las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero. Se obtuvieron porcentajes óptimos en un rango de 0.60% a 1.50% de polvo de aluminio fundido con porosidades de 47% a 26%. Porcentajes óptimos de 0.15% a 0.20% de polvo de aluminio fundido para absorción de 11.00% a 32.00%. Se determinó porcentajes óptimos de 0.05% a 0.25% de polvo de aluminio fundido que alcanzaron resistencias a compresión de 310 kg/cm² a 332 kg/cm² a los 28 días de curado. Se determinó las densidades más bajas de 944 kg/m³ a 2130 kg/m³ siendo estos los óptimos porcentajes en un rango de 0.10% a 1.00% de polvo de aluminio fundido.

Palabras claves: Polvo de aluminio fundido, absorción del concreto ligero, densidad del concreto aireado, porosidad del concreto ligero.

ABSTRACT

The thesis carried out was entitled "Cast aluminum powder to improve the physical and mechanical properties of lightweight concrete", its main objective was to determine that molten aluminum powder improves the physical and mechanical properties of lightweight concrete. This research was of bibliographic documentary method, explanatory type, descriptive level and non-experimental research design. As the research developed, it was observed that the use of molten aluminum powder, which was added in different percentages, increases the porosity and absorption of lightweight concrete. However, for compressive strength and density tests it reduces them. The results that were obtained analytically with high percentages of reliability between 96% to 100%, based on the researches consulted, concluded that molten aluminum powder improves the physical and mechanical properties of a lightweight concrete. Optimum percentages were obtained in a range from 0.60% to 1.50% of molten aluminum powder with porosities from 47% to 26%, optimal percentages of 0.15% to 0.20% of molten aluminum powder for absorption from 11.00% to 32.00%. Optimum percentages of 0.05% to 0.25% of molten aluminum powder were determined that reached compressive strengths of 310 kg / cm² to 332 kg / cm² at 28 days of curing. The lowest densities of 944 kg / m³ to 2130 kg / m³ were determined, these being the optimal percentages in a range of 0.10% to 1.00% of molten aluminum powder.

Keywords: Molten aluminum powder, absorption of lightweight concrete, density of aerated concrete, porosity of lightweight concrete.

INTRODUCCIÓN

En nuestros tiempos, resulta imposible no relacionar al concreto con la ingeniería civil, ya que es uno de los materiales que tiene mayor presencia hoy por hoy en el rubro de la construcción. Sin embargo, no solo se puede hablar del concreto convencional, sino también de otros tipos de concreto que aportan grandes beneficios superiores a este como por ejemplo incrementando y/o reduciendo sus densidades, porosidad y absorción o mejorando su resistencia a compresión, entre otras propiedades físicas y mecánicas.

Por ello, surge la necesidad de incorporar diferentes aplicaciones del concreto en la construcción. Por consiguiente, en esta investigación se plantea el uso del concreto ligero en primer lugar, para reducir las cargas muertas originadas por el concreto tradicional, en segundo lugar, para mejorar la optimización de los agregados y mitigar el impacto ambiental y en tercer lugar para agilizar el proceso de elaboración del concreto ya que su preparación requiere menos personal lo cual es importante para reducir costos y mantener el distanciamiento social en estos tiempos post pandemia covid-19.

La presente investigación permite amplificar el conocimiento del concreto ligero y el uso de polvo de aluminio fundido en su preparación tomando en cuenta las propiedades físico-mecánicas del concreto, ya que son indispensables para lograr un concreto funcional y de calidad en las obras civiles. Actualmente existe una tendencia en el crecimiento de las industrias que se dedican a construir, por lo que este estudio pretende incrementar la adquisición de nuevos conocimientos a beneficio de la población y a las organizaciones empresariales que se dedican a la construcción, especialmente a aquellos abocados al estudio y elaboración del concreto.

Por lo cual, se plantea como objetivo general determinar que el polvo de aluminio fundido mejora las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero y con ello se estructura esta investigación en cinco capítulos que se detallan a continuación:

El capítulo I, El planteamiento del problema, se presenta la descripción de la realidad problemática, la formulación del problema general, problemas específicos, los objetivos de la investigación general y específicos.

El capítulo II, Marco teórico, se presenta los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, la definición de término.

El capítulo III, Sistema de hipótesis general e hipótesis específicas de acuerdo a las definiciones conceptuales.

El capítulo IV, Metodología, se presenta el diseño de la investigación, técnicas, instrumentos de recolección de datos población, muestra, operacionalización de las variables y técnica de procesamiento de la información.

El capítulo V, Presentación y análisis de resultados de la investigación, comparación de resultados donde nos muestran la evaluación del polvo de aluminio sobre las propiedades física y mecánicas de un concreto ligero. Finalmente nos muestran la discusión, las conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

El concreto, es sin lugar a equivocarnos, un material utilizado frecuentemente en el sector de la construcción por sus amplias características y versatilidades tienen un sin fin de aplicaciones que beneficia y brinda mayor calidad de vida a la población. Canahua, (2014).

El concreto u hormigón puede describirse como un material aglutinante mezclado con agregados (finos y gruesos), agua y dependiendo del entorno o requerimiento para aplicar el uso de aditivos. Guzmán, (2001).

Según UNICON, (2016) el concreto convencional es la mezcla de arena, piedra, cemento y agua, la piedra que se utiliza es de 1", 1/2", 3/4", el tipo de cemento usado es el tipo I, II, III, IV, V, ICO entre los más utilizados en el Perú, este tipo de concreto es usado en cimentaciones, columnas, losas y muros de contención, teniendo una densidad entre 2200-2400 kg/m³.

El concreto celular es la mezcla de cemento, arena, piedra, agua y un incorporador de aire o espumante. Hay dos tipos de concreto celular con espumante y gas, el concreto celular de gas es incorporando polvo de aluminio a la mezcla de concreto, el polvo de aluminio al mezclarse con el cemento reacciona formando burbujas de aire, haciéndolo un concreto ligero y con menor densidad, que la de un concreto convencional. Para la producción del concreto ligero se emplearía polvo de aluminio, llena todos los espacios completamente con la misma densidad en el elemento, en una sola etapa, lo cual acelera considerablemente la velocidad de construcción empleándose también un aditivo adicional entre ellos se encuentra la piedra pómez, arcilla expansiva, polvo de aluminio entre otros.

Es una buena opción ecológica, empleándose en unidades de albañilería, sectores de salud, centros de educación, auditorios, teatros, muros divisorios, hidroeléctricas considerando su baja densidad, ahorra tiempo de construcción, reduce los desperdicios incluyendo la energía a usar, menores costos de transporte. Cabrera, (2015).

Por otro lado, el uso de nuevas aplicaciones a este concreto convencional enfocados al concreto ligero, nos permite construir un edificio, vivienda o cualquier tipo de edificación en el cual podemos reducir la carga muerta, reducir el peso de la edificación y por ende su importancia en regiones sísmicas, ya que a menor peso o menor carga muerta se tendrá menor impacto en cargas sísmicas. Mitiga el impacto ambiental, ya que optimiza el uso de agregados generando menos desperdicio de esta manera reduciendo la demanda insatisfecha en el sector de construcción.

Actualmente empresas dedicadas a este rubro como Sika, Química Suiza, Basf y otras empresas ofrecen productos para reducir el peso del concreto, como son los incorporadores de aire, para obtener concretos livianos. Es importante destacar que la densidad obtenida de un concreto liviano puede ser un 25% menor al concreto convencional y las resistencias superan el valor de dichas estimaciones, por lo que el concreto liviano es una excelente alternativa en construcciones de gran altura. Hernández, (2011).

Así mismo, disminuye el costo en comparación de un concreto tradicional, en cuanto a su elaboración y colocación, por lo que nos permite construir de forma más rápida y además permite trabajar con menos personal, lo cual es ideal en estos tiempos de post cuarentena ya que se busca mantener el distanciamiento entre las personas. Canagua, (2014).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera el polvo de aluminio fundido influye en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál es el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido que influye en la porosidad de un concreto ligero?
- b) ¿Cuál es el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido que influye en la absorción del agua de la mezcla de un concreto ligero?
- c) ¿Cuál es el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido que influye resistencia a la compresión de un concreto ligero?
- d) ¿Cuál es el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido que influye en la densidad de un concreto ligero?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar el polvo de aluminio fundido para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la porosidad de un concreto ligero.
- b) Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la absorción del agua de la mezcla de un concreto ligero.
- c) Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la resistencia a compresión de un concreto ligero.
- d) Determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido para reducir la densidad de un concreto ligero.

1.4 Delimitación de la investigación

1.4.1 Geográfica

El presente proyecto de investigación se realizará en el departamento y provincia de Lima, Perú.

1.4.2 Temporal

El proyecto de investigación cubrirá 6 meses desde el mes de mayo al mes de noviembre del 2021.

1.4.3 Temática

Campo: Calidad del concreto ligero.

Área académica: Ingeniería civil.

Línea de investigación: Tecnología de concreto.

Sub línea de investigación: Descripción de los antecedentes consultados de las pruebas de laboratorio.

1.4.4 Muestral

Una vez establecido la unidad de análisis, se procede a delimitar la información a partir de los antecedentes registrados en otros proyectos de investigación con los lineamientos propuestos en este presente proyecto.

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Conveniencia

En la actualidad el uso del concreto convencional es el más utilizado en la industria de la construcción, si bien ayuda a construir toda tipo de edificaciones, su alta densidad es causa de una mayor carga muerta en las edificaciones, por ello surge la necesidad de utilizar nuevas aplicaciones al concreto que nos ayuden a obtener un material que disminuya esta carga muerta sin disminuir la calidad del elemento estructural, de esta manera el concreto ligero puede ser empleado como una alternativa solución a nuestra problemática.

1.5.2 Relevancia social

Actualmente existe una tendencia en el crecimiento de las industrias que se dedican a construir, por lo que este estudio incrementará la adquisición de nuevas sapiencias a beneficio de la población peruana y a las organizaciones empresariales que se dedican a la construcción, especialmente a aquellos abocados al estudio y elaboración del concreto.

1.5.3 Aplicación práctica

Según La revista construcción mundial (2017) la reciente investigación mundial del sector de construcción predice que la productividad mundial crecerá en un 85% hasta 2030. Como consecuencia está aumentando la demanda de maquinarias nuevas y usadas en el sector de producción, el entorno edificado es la mayor oportunidad que tenemos para cambiar nuestros hábitos de consumo, por lo que surge la necesidad de disminuir efectos ambientales y costos en dichas construcciones.

1.5.4 Utilidad metodológica

Los pasos realizados para el proyecto de investigación consistieron en primera instancia del uso de distintos métodos de búsqueda para la recolección de información, estos fueron extraídos de libros, papers, información virtual, bibliotecas virtuales, y tesis relacionadas a la investigación. Los cuales fueron procesados y jerarquizados en una matriz bibliográfica para posteriormente ser analizados y plasmados en la tesis.

1.5.5 Valor teórico

El proyecto de investigación deja un antecedente para futuras investigaciones con cuadros comparativos, gráficos y ecuaciones que calcularon de forma analítica los porcentajes óptimos de porosidad, absorción, resistencia a compresión y densidad. Así como también, de generar nuevas sapiencias a la comunidad educativa y fomentar el interés de empresas dedicadas a la elaboración y distribución de concreto pre mezclado para el uso de este tipo de concreto en la construcción.

1.6 Importancia del estudio

1.6.1 Nuevos conocimientos

El comportamiento de las propiedades físicas del concreto estructural, absorción, consistencia del asentamiento en un concreto cuando se usa polvo de aluminio fundido. La resistencia a la compresión axial de un concreto ligero aplicado para losas. Unir de distintos proyectos de investigaciones extrayendo información en relación al proyecto encaminando un solo criterio general.

1.6.2 Aporte

Con esta investigación se tendrá cuadros comparativos, gráficos y análisis analíticos con ecuaciones y líneas de tendencia polinómicas que más se ajusten a los resultados obtenidos por los investigadores consultados. Para ello, se calculó el coeficiente de determinación de los nuevos resultados obteniendo porcentajes altos de confiabilidad. Por consiguiente, se pudo determinar los porcentajes óptimos de las propiedades físicas y mecánicas del concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido.

1.7 Limitaciones

1.7.1 Falta de estudios previos de investigación

Al no ser de uso frecuente en nuestro país el uso de concreto ligero con la adición de polvo de aluminio en la construcción, no se tiene mucha información detallada, por lo que se tuvo que tomar como referencias

antecedentes de investigaciones realizadas en el extranjero para poder ser tema de discusión y análisis.

1.7.2 Metodológicos o prácticos

En este proyecto de investigación se basa en una investigación cualitativa donde descubre que la medida utilizada para realizar un análisis efectivo, se realizó una búsqueda de distintas investigaciones de tipo descriptiva y comparativa; extrayendo una propuesta óptima en la investigación estudiada.

1.7.3 Medidas para la recolección de datos

Al recolectar diferentes datos de distintas investigaciones nacionales e internacionales, no se debe de uniformizar las propiedades físicas ya que contienen diferentes variables intervinientes como clima, humedad, tipo de resistencia específica del concreto, curado entre otras. Se debe de recolectar información necesaria para obtener un porcentaje óptimo y proporcione una visión en la innovación tecnológica con el concreto.

1.7.4 Obstáculos en la investigación

En cuanto al desarrollo de este proyecto de investigación por el momento no se pueden realizar ensayos de laboratorio dado que actualmente se ha producido la pandemia global del Covid-19 y el uso de instalaciones de nuestra casa de estudios se encuentra aún restringido por medidas preventivas.

1.8 Alcance

Este trabajo de investigación lo que propone es desarrollar un estudio de carácter descriptivo que permita determinar las propiedades físicas de un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido, a partir de investigaciones previas teniendo en cuenta la NTP E060; con la finalidad de emplear este tipo de concreto ligero en la industria de la construcción y así mismo la investigación quede de aporte para los futuros estudios, comunidades científicas, innovadores en la construcción y a fines del uso a favor de la sociedad.

1.9 Viabilidad

La investigación es viable porque existe información precedente, principalmente en el ámbito internacional, información a la cual se tiene acceso gracias a los, medios digitales como Scopus, ProQuest, Cybertesis-URP, entre otros que nos permitirá realizar una tesis documental de información provechosa para nuestro país.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

El concreto, es sin lugar a dudas, uno de los materiales más antiguos utilizados por el hombre en su libro “Diseño de Mezclas”, da a conocer que los primeros antecedentes de un aglomerante con características muy similares al concreto que conocemos en la actualidad están dados por Plinio, un escritor romano, quien relata que dicho material era empleado en la construcción de cisternas romanas, indicando además la composición de dicha mezcla por cinco partes de arena de gravilla, dos partes de cal calcinada y fracciones de sílice. Casi a finales del siglo XX se comienza hacer más complejo seguir el curso de la historia en la evolución del proceso de diseño de mezclas concreto, ya que muchos son los protagonistas y países implicados. López, (1992).

Sin embargo, aunque haya diversos autores en el mundo tratando de explicar el origen del concreto y desarrollándolo de diferentes maneras, la esencia por el cual fue creado se mantiene y es obtener un concreto que cumpla los requerimientos que exige un ingeniero proyectista y que a su vez brinde a los usuarios máxima seguridad y tenga un costo menor con los requerimientos anteriores.

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones internacionales

Rincón y Barreto, (2019). Buscaron en su proyecto de investigación en primera instancia la caracterización de las propiedades mecánicas y de durabilidad de un concreto hidráulico con adición de porcentajes de 0%, 15%, 30% y 45% de agregados ligeros con el fin de compararlo con el concreto convencional. Para ello en primer lugar, realizaron la caracterización de los agregados normales y ligeros, realizando ensayos de análisis granulométricos de ambos materiales para poder conocer las propiedades intrínsecas de los agregados (densidad y absorción). Posteriormente, elaboraron el diseño de mezcla con los porcentajes ya mencionados anteriormente teniendo un total de 48 especímenes divididos en 10 cilindros y 2 vigas para cada porcentaje, los cuales fueron sometidos a ensayos de resistencia a la compresión en probetas a los 14 y 28 días de

curado y flexión para las vigas a los 28 días de curado. Finalmente, obtienen que la disminución de la resistencia a la compresión es directamente relacionada con el aumento del contenido de agregado ligero y que la densidad del concreto es directamente proporcional al porcentaje de adición de agregado ligero, por lo que concluyen que es posible emplear el concreto con una adición moderada de agregado ligero ya que disminuye el peso específico en comparación con un concreto convencional.

Caicedo y Tipán, (2019). Se centran en determinar las propiedades mecánicas y físicas del concreto ligero y celular por lo que diseñaron la mezcla de concreto con la finalidad de obtener resistencias de 210 kg/cm² y densidades no mayores a 1920 kg/m³ a los 28 días de curado.

Yoc, (2018). Propone el uso de mampostería fabricada a base concreto celular planteándose como objetivo principal evaluar de forma experimental la resistencia a compresión y porcentaje de absorción de agua de las mismas. Obteniendo como resultado de los ensayos un material con características beneficiosas para ser empleados en prefabricados, debido a su desempeño mecánico y su apariencia física.

Sarango, (2017). En este trabajo de investigación el autor estudia el comportamiento que se da luego de añadir polvo de aluminio en la fabricación de bloques de concreto celular y además compararlo con el concreto convencional. El proceso de evaluación para los ensayos de resistencia a la compresión, ensayo de absorción, densidad real entre otros, se desarrolló en un periodo de 7, 14 y 28 días, con el objetivo de buscar el contenido óptimo de porcentaje de aluminio para disminuir su densidad real y aumentar su resistencia a la compresión.

2.2.2 Investigaciones nacionales

García, (2020). Este proyecto surgió de la necesidad de encontrar tecnologías eco-ambientales tratando de reciclar viruta de aluminio y emplearlas en el concreto con el fin de saber cómo este incide en las propiedades físicas y mecánicas. Para el diseño de mezcla de concreto se tuvieron distintos tipos de porcentajes en la adición de viruta de aluminio de

los cuales observaron que hasta en un 3.5% de adición tanto su trabajabilidad y su asentamiento fueron aceptables, por otro lado, en cuanto a sus propiedades mecánicas notaron que a menor porcentaje de adición aumenta su resistencia a la compresión. Sin embargo, en tracción y flexión tiende a aumentar con un límite de 3.5% en adición. Por lo que el autor recomienda su uso en concreto no estructural.

Calle, (2019). Básicamente en este proyecto de investigación se propuso como objetivo relacionar la influencia del polvo de aluminio con el asentamiento, compresión, densidad y absorción en un concreto de ligero para la provincia de Huara el cual cumplió un factor determinante para la investigación. Primeramente, se realizó la caracterización de los materiales, después se desarrolló el diseño de mezcla de concreto teniendo en cuenta una población de 160 probetas y que posteriormente fueron ensayadas. Finalmente, el autor llegó a la conclusión de que a medida del incremento del porcentaje de polvo de aluminio se mantiene la resistencia a la compresión, se mantiene el asentamiento, disminuye la densidad, pero la absorción del concreto aumenta.

Velarde, (2017). Se evaluó el desempeño que tiene el polvo de aluminio en concreto ligero de elementos estructurales como losas aligeradas referente propiedades físicas y mecánicas en conjunto con el tiempo de fraguado. Para ello, se elaboraron probetas con porcentaje de aluminio al 1.5%, 3%, 4.5% y 6% del cemento con y sin uso de superplastificante al 1%, dichos especímenes fueron ensayados a los 28 días de curado, teniendo en cuenta las normativas peruanas correspondientes. Finalmente, el autor propone el uso de un concreto ligero con porcentaje de 1.5% de polvo de aluminio con el uso de superplastificante al 1% para obtener una resistencia a compresión de 236kg/cm², un asentamiento de 4.00'' y una densidad de 1783.16kg/m³.

Paulino y Espinoza, (2021). Afirman que en este proyecto de ambos tesis buscaron comparar el concreto simple y liviano con perlitas de poliestireno en unidades de albañilería con el fin de poder evaluar cuál de ellos tiene un mejor comportamiento sometido a propiedades específicas como aislamiento térmico y acústico, así como también la reducción de peso.

Finalmente, concluyeron que el concreto liviano en comparación con el simple posee un mejor comportamiento como aislante térmico y acústico además de ofrecer un menor peso por lo que recomiendan su uso.

2.2.3 Artículos relacionados con el tema

Weigler y Karl, (1970). Se centran en uno de los procesos previos a la fabricación y/o elaboración del concreto ligero haciendo énfasis en el intelecto preciso de las características del material, así como también entender la particularidad de toda su composición del concreto ligero. Seguidamente el autor comienza a introducir conceptos de algunas propiedades físicas y mecánicas que serán de provecho para el desarrollo de nuestro tema de investigación.

Villalobos et al, (2016). Los autores indagaron acerca del concreto ligero y buscaron definirlo como un concreto de baja densidad, que reduce las tanto las cargas muertas como los costos con su fabricación. También, presenta resultados obtenidos de la comparación de un concreto convencional con el ligero al cual se le añadió perlitas de poliestireno en la evaluación del comportamiento de la energía térmica de ambos concretos.

Ajmal y Mehtab, (2020). En este trabajo experimental se trató de utilizar compuesto de aluminio recogido de una obra de construcción añadido en hormigón de alta resistencia. El concreto fue probado tanto en estado fresco como endurecido. En el primero, se ensayó para comprobar su trabajabilidad y expansión. En el segundo, fue sometido a pruebas de resistencia, pruebas no destructivas y de durabilidad.

Rami, (2017). Este trabajo es un estudio que consistió en preparar el diseño de un concreto liviano por vía química agregando 2% de polvo de aluminio por peso de cemento con el fin de obtener burbujas en el interior de la mezcla de hormigón.

Chura, (2014). El autor en este trabajo de estudio trata de evidenciar los beneficios de utilizar concreto celular como la disminución de la carga muerta y como reduce en gran medida el costo en comparación con el

concreto convencional, primero definiéndolo como tal y posteriormente como fabricarlo y por último su aplicación.

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1 Concreto

El concreto es un material heterogéneo compuesto principalmente de la combinación de cemento, agua, agregados finos y gruesos. También, en la mezcla del concreto es frecuente el uso de aditivos con el propósito de retardar o acelerar el fraguado, mejorar la trabajabilidad, aumentar su resistencia y variar otras propiedades del concreto. Lopez, (1992).

El concreto es una mezcla compuesta principalmente por tres materiales; un material aglutinante más conocido como el Cemento Portland, otro material cuya función es de relleno como lo son los áridos o agregados, agua y en casos especiales se emplea aditivos. Guzmán, (2001).

2.3.2 Usos estructurales

La resistencia y la rigidez tienen influencia en los elementos estructurales y estos a su vez cumplen la función principal de resistir todas las cargas vivas y muertas de la edificación y otras fuerzas externas como sismos, vientos, etc. Cenapred, (2017).

Los elementos más importantes en la construcción son:

- Vigas y viguetas: son comúnmente barras horizontales, que desempeña una función muy importante de transferir el peso a las columnas. Están sometidas generalmente a esfuerzos de flexión.
- Pilar o columna: son comúnmente barras apoyadas verticalmente, cuya función esencial es transferir cargas hacia los cimientos. Los principales esfuerzos que soporta son de compresión y pandeo.
- Cimientos: soportan principalmente esfuerzos de compresión y son los encargados de resistir y distribuir en el suelo todo el peso de la estructura.
- Placas: Son muros de concreto que proporcionan gran rigidez lateral ante movimientos laterales como los sismos.

2.3.3 Componentes del concreto

Cemento Portland Compuesto Tipo I

El cemento está compuesto principalmente a partir de rocas arcillosas y calcáreas, que inicialmente son trituradas y por último molidas donde son incorporadas y sometidas a un proceso de calcinación a elevadas temperaturas mediante ello obtenemos un material denominado Clinker. Zúñiga, (2012).

El cemento Portland es un aglutinante generado mediante la pulverización del Clinker cuya composición es por silicatos de calcio hidráulicos y que incluye regularmente muchas formas de sulfato de calcio con adición durante la molienda, en otras palabras, el Cemento Portland Tipo I es un porcentaje de Clinker Portland + un porcentaje de yeso se muestra en la Tabla 1. Norma Técnica Peruana 334.009, (2020).

Tabla 1: Materias que constituyen el cemento.

Óxido componente	Porcentaje típico	Abreviatura
CaO	58% - 67%	C
SiO ₂	16% - 26%	S
Al ₂ O ₃	4% - 8%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 5%	F
SO ₃	0.1% - 2.5%	
MgO	1% - 5%	
K ₂ O y Na ₂ O	0% - 1%	
Mn ₂ O ₃	0% - 3%	
TiO ₂	0% - 0.5%	
P ₂ O ₅	0% - 1.5%	
Pérdida por calcinación	0.5% - 3%	

Fuente: Norma Técnica Peruana (NTP 334.009).

2.3.4 Tipos de cementos

De acuerdo a sus características y propiedades, el cemento Portland contiene diferentes tipos de aglutinantes para distintas aplicaciones. Zúñiga, (2012). Según la NTP 334.009, (2005).

El Cemento Portland es un “cemento hidráulico producido por medio de la pulverización del Clinker compuesto principalmente de silicatos de calcio

hidráulicos y que contiene en su mayoría sulfato de calcio y de forma ocasional caliza como adición durante la molienda”.

Torre, (2004). El Cemento Pórtland es un agente de unión, es un material en polvo que reacciona de forma química con el agua y forma la llamada pasta, cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra chancada, hormigón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados, después de haberse unido se endurece al estar seco para formar el concreto.

Los tipos de cemento portland:

Según NTP 334.009, (2005). Los tipos de cementos Portland están clasificados según sus propiedades específicas y son los siguientes:

- Tipo I: para uso general que no requiera propiedades especiales de cualquier otro tipo. (NTP 334.009 Y ASTM C150-84).
- Tipo II: para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación. (NTP 334.009 Y ASTM C150-84).
- Tipo III: se utilizada cuando se requiere altas resistencias iniciales. (NTP 334.009 Y ASTM C150-84).
- Tipo IV: se emplear cuando se desea bajo calor de hidratación. (NTP 334.009 Y ASTM C150-84).
- Tipo V: se emplear cuando se desea alta resistencia a los sulfatos. (NTP 334.009 Y ASTM C150-84).

“Las particularidades de los cementos adicionados, los que contienen además de los compuestos mencionados, escorias, puzolanas y materiales calizos que modifican el comportamiento” Norma Técnica Peruana 334.090, (2020).

Entre los tipos de cementos y el porcentaje añadido, tenemos:

- Tipo IS: Cemento portland con escoria de altos hornos entre 25% y 70% referido al peso total.
- Tipo ISM: Cemento portland de escoria modificado al que se le ha agregado menos del 25% de escoria.

- Tipo IPM: Cemento portland puzolánico con añadidura de puzolana no mayor al 15% del peso total
- Tipo ICO: Con añadidura de micro-filler calizo.

2.3.5 Propiedades de los agregados

Se precisa a los agregados del concreto como un conjunto de materiales inertes, también conocidos como áridos de forma granular, cuyo origen puede ser natural y artificial, cuyas dimensiones (granulometría) están en relación de límites establecidos por la Norma Técnica Peruana 400.011. Guzmán, (2001).

Se especifica que los agregados son aplicados para la elaboración del concreto simple cuyos elementos básicamente provienen de áridos inertes (arena y piedra). Estos se originan por producto de la denudación de rocas por acción de fenómenos naturales, también son producidos mediante trituración mecánica y tamizado de rocas. Zúñiga, (2012).

Por su naturaleza

Son aquellos provenientes de las fuentes naturales tales como canteras de distintas rocas madres, depósitos de glaciares que han ocurrido en el planeta durante miles de años para optimizar su empleo en la producción de concreto Guzmán, (2001).

Artificiales

Proviene de transformaciones de materiales naturales y que con un tratamiento industrial se emplean en la producción de concreto como Clinker, escorias resistentes a altas temperaturas, ladrillos, etc. Sin embargo, estos tipos de agregados pueden ser más pesados o ligeros que los convencionales Guzmán, (2001).

Por su tamaño:

Agregado fino

“Es el agregado proveniente de la desagregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg.) NTP 400.037, (2002, p. 5).

“Se determina al agregado fino o arena como el material que pasa por la malla N° .4 de 4.75 mm de diámetro de partícula.” Zúñiga, (2012).

Agregado grueso

“Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (No. 4) proveniente de la desagregación natural o artificial de la roca” NTP 400.037, (2002, p. 6).

“Se determina al agregado grueso o piedra como el material que es retenido por la malla N° .4 de 4.75 mm de diámetro de partícula.” Zúñiga, (2012).

Agua

En síntesis, es un requisito indispensable para la elaboración del concreto simple, este a su vez para su empleo no debe de contener elementos químicos de manera excesiva Tabla 2 que puedan afectar de manera desfavorable el comportamiento del concreto, tanto en estado fresco y endurecido. Zúñiga, (2012).

Para el uso del agua en la mezcla del concreto se puede utilizar cualquier agua natural que sea potable y que no presente peculiaridades como olor y sabor fuerte. Si cumple estos requisitos puede ser empleado en la mezcla del concreto simple. Steven, (2004).

Tabla 2: Límites permisibles para la calidad del agua

Descripción	Límites permisibles	
Sólidos en suspensión	50000 p.p.m.	Máximo
Conductividad, 25°C	1500 Us/cm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	600 p.p.m.	Máximo
Sulfatos (Ión SO ₄)	3000 p.p.m.	Máximo
Cloruros (Ión Cl ⁻)	1000 p.p.m.	Máximo
PH	5,5 - 8,0	

Fuente: ASTM C-1602.

Agua de mezcla

Agregadas a las mezclas de concreto o de mortero para hacer reaccionar el aglomerante (cemento) dándole a la mezcla las propiedades resistentes deseadas y la fluidez necesaria para facilitar su manejo y colocación. Guzmán, (2001).

Agua de curado

Conforma el suministro complementario de agua para hidratar óptimamente el cemento, con el objetivo de que este llegué a sus propiedades óptimas Guzmán, (2001).

Aditivos

Son considerados como un elemento alternativo para el concreto mejorando sus propiedades para un óptimo uso según la condición de trabajo. Guzmán, (2001).

Según la ASTM C494 clasifica a los aditivos químicos de la siguiente manera.

TIPO A: Reductor de agua

TIPO B: Retardador de fraguado

TIPO C: Acelerador de fraguado

TIPO D: Reductor de agua y retardador

TIPO E: Reductor de agua y acelerador

TIPO F: Reductor de agua de alto efecto

TIPO G: Reductor de agua de alto efecto y retardador

Aditivos Superplastificantes

- Los aditivos superplastificantes pertenecen a una nueva promoción de aditivos plastificantes, reduciendo el agua en un 25 a 40%.
- “Son conocidos como aditivos reductores de agua de alto rango, las cuales tienen por finalidad reducir en forma importante el contenido de agua del concreto manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado. Igualmente se emplean para incrementar el asentamiento sin necesidad de aumentar el contenido de agua en la mezcla de concreto” Huincho, (2011).
- Según Oliva, (2008). Los aditivos superplastificantes Tabla 3 en su modo de uso se consideran tres etapas correlativas:
 - Adsorción de los polímeros por parte de las partículas de cemento en la etapa de transición sólido-líquido.
 - Carga de la superficie de los granos con fuerzas electroestáticas de repulsión por tener el mismo signo.

- Aumentan la distancia entre partículas con la presencia de tensiones superficiales.

Estos aditivos están normados según la ASTM C 494.

Tabla 3: Propiedades técnicas del plastificante Euco 37

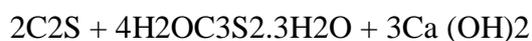
Descripción	Características
Apariencia	Líquida
Color	Marrón oscuro
Densidad	1.19 Kg/l
Solubilidad	Soluble en agua
Aumento de resistencia a 28 días	125% - 135%
Tiempo de fraguado	
Fraguado inicial	+ 30 min.
Fraguado final	+ 30 min.

Fuente: Química Suiza.

2.3.6 Reacción del cemento – agua

Según la empresa Sika sostiene que el cemento requiere de cierta cantidad de agua para hidratarse (en promedio 25% de la masa de cemento), sin embargo, para garantizar, en toda la masa de concreto, disponibilidad de agua de hidratación para el cemento es conveniente contar con una cantidad mayor, debido a que la hidratación sólo es posible en un espacio saturado. Esto no es un inconveniente dado que aún un concreto de baja relación agua/cementante, por ejemplo 0.45, tiene un 80% de agua por encima de lo requerido por el cemento para hidratarse, sin embargo, la prematura desecación del concreto puede reducir el agua en la mezcla.

Representaciones químicas de las reacciones del cemento - agua son las siguientes:



En donde el silicato tricálcico C₃S endurece rápidamente y es el principal encargado en la resistencia del aglutinante, y así consecuentemente con los

demás productos. Por consiguiente, de las reacciones anteriores, se puede especificar que se complementan las reacciones de hidratación, así se determina la durabilidad y resistencia del concreto.

2.3.7 Concreto ligero

Es un material de construcción para el uso liviano, cuya composición está dada por la mezcla del aglutinante o cemento portland, el agua, agente espumante y aire comprimido. Canahua, (2014).

Según la NTP E060 se considera concreto liviano a aquellos concretos que tienen una densidad no mayor a 1850 kg/m^3 y pueden dividirse en tres tipos: concreto aireado, concreto sin finos y concreto con áridos livianos.

Algunas de las ventajas más preponderantes presentadas por los autores Valdez et al, (2010) en su artículo Hormigones ligeros son las siguientes:

- Beneficia en reducir las cargas a la cimentación y el peso en estructuras.
- Brinda un saldo revelador en el gasto de energía eléctrica
- Su Transporte y colocación es más económico.
- Contiene propiedades físicas como la baja densidad.
- Óptima aislación térmica
- Óptima aislación acústica
- A diferencia del concreto convencional posee mayor resistencia al fuego.
- Presenta menor módulo de elasticidad
- Sin embargo, también tienen desventajas frente al concreto convencional Tabla 4, estas son presentadas por los mismos autores.
- Por la gran absorción este trae problemas de corrosión del fierro, donde este se reduce al incrementar el recubrimiento del fierro.

Tabla 4: Características del concreto convencional

Características	Concreto Convencional
Resistencia a la compresión	210 kg/cm ²
Estado de verificación f'c	28 días
Tamaño máximo del agregado	1",3/4",1/2"
Asentamiento	3 pulgadas
Tiempo de fraguado inicial	2.5 horas
Peso unitario	2200-2400 kg/m ³
Contenido de aire	3%

Fuente: UNICON

2.3.8 Concreto celular

Se desarrolla mediante la elaboración de una mezcla que está compuesto por 3 materiales que son el cemento, la arena, el agua y el espumante, posteriormente exige un respectivo curado natural. Los vacíos generan burbujas de aire que se dispensan en forma homogénea por toda la preparación, perfeccionando una producción final de contextura porosa con escasa absorción de agua. El concreto celular es un material muy ligero y duradero. A estimar por los resultados de las pruebas en campo, su resistencia se incrementa a largo plazo. Por lo cual al usarlo en el sector construcción significa un factor de ahorro en relación a la mano de obra e insumos, permitiendo crear estructuras con mayor facilidad, que no desaprovecha su firmeza. Empresa Atmosfera, (2017).

En su interior de las edificaciones a gran altura elaborados con concreto celular esta conserva un microclima gustoso; debido a su aislación térmica que evita pérdidas de calor en invierno, en cambio en estación de verano el ambiente se mantiene fresco. Asimismo, las paredes de concreto celular son resistentes a la humedad exterior y estos benefician a que los vapores se ventilen en el interior del hogar, contribuyendo a un óptimo equilibrio de la humedad homogénea al ambiente. En comparación con el concreto convencional, constituye una ventaja la estructura aireada del celular, ya que

lo transforma en un aislante que a diferencia de las fibras minerales no se deterioran en el transcurso del tiempo. Existen dos tipos de concreto celular: Concreto celular de gas y Concreto Celular de espumante. Empresa Atmosfera, (2017).

Concreto celular a gas

Mayormente es utilizado para fábricas muy grandes que está conformado por el componente de cal. A la mezcla el material de cal en conjuntos con el cemento se le agrega un polvo de aluminio y se coloca a altas temperaturas. El aluminio sufre una reacción química con cal y segrega el hidrógeno que incrementa la corpulencia del concreto. Empresa Atmosfera, (2017).

Concreto celular de espumante

Con la innovación de la mezcla de los materiales como cemento portland, arena y agua se adiciona un generador de espuma. En los moldes se derrama la mezcla preparada. Cuando sufra un estado de endurecimiento hay que desarmar moldes y quitar los bloques endurecidos. Luego de ello hay que hidratar los bloques y mantenerlos inactivos en un plazo de 28 días antes de usarlos en la construcción. Se puede aligerar el endurecimiento poniendo a altas temperaturas como el calentamiento, a una temperatura de 80° C que convierte el curado de los bloques a un estado de gel y este incrementará a mayor escala la calidad de concreto celular. Empresa Atmosfera, (2017).

2.3.9 Polvo de aluminio

El polvo de aluminio es un elemento liviano de coloración plateado-blanco a gris. Es un material altamente inflamable y reactivo. También, es considerado un polvo combustible. Este tipo de aleación está usualmente cubierto con un manto de óxido de aluminio a menos que las partículas se formen frescamente. Se pueden establecer dos tipos fundamentales de polvo de aluminio: el tipo “partícula” que se obtiene estampando el metal frío y el tipo “granulado” que se obtiene de aluminio fundido. Velarde, (2017).

En cuanto a sus propiedades físicas del material varían de modo significativo en función a la pureza y la aleación. Los valores dados en este

registro de perfil químico son para el aluminio de un mínimo de 99.99% de pureza.

Varios polvos de aluminio se aplican con materiales como estearina para mitigar la superficie de oxidación. Adicionalmente, algunos polvos de aluminio están recubiertos con poliestireno para disminuir o descartar el riesgo de fuego.

2.3.10 Características del polvo de aluminio

- Debido a su baja dureza, es de mecanizado.
- Permite la elaboración de láminas muy delgadas al ser muy maleable.
- Muy dúctil, permite la producción de cables eléctricos.
- Material de característica blanda (Escala de Mohs: 3). Límite de resistencia en tracción: 1632-2040 kgf/cm² en estado puro, en estado aleado el rango es de 14280-61200 kgf/cm². La primera aleación de aluminio endurecida que se conoció fue el duraluminio y permitió su uso en aplicaciones estructurales.
- Para su usarlo como un material estructural se requiere fundirlo con otros metales para mejorar las propiedades mecánicas, así como adicionarle tratamientos térmicos.
- Aprueba la producción de piezas por fundición, forja y extrusión.
- Absorbe el doble del impacto con CO₂.
- Posee propiedades térmicas
- Densidad del aluminio es baja 2700 kg/cm³.

2.3.11 Secuencia de designación de las aleaciones

Para clasificar los diversos tipos de aluminios Tabla 5 primero se tiene en cuenta el método de la fabricación del producto, que puede ser mediante moldeado o mediante forjado. Las aleaciones de aluminio diseñadas para moldeado tienen una composición química que les permite fluir hacia el interior del molde. Las aleaciones de aluminio forjado se utilizan para productos que se fabrican deformando el aluminio hasta obtener su forma final. La asociación americana del aluminio (Aluminum association) ha desarrollado un sistema de clasificación de las aleaciones de aluminio, el

sistema designación para las aleaciones de aluminio forjado utiliza un código de cuatro dígitos. El primer dígito indica la serie de aleación, el segundo dígito indica, si es distinto a cero, indica una modificación en la aleación básica. El tercer y cuarto dígitos identifican la aleación especificada dentro de la serie; estos dígitos se asignan arbitrariamente, excepto para la serie 1xxx, en la que los dos dígitos indican el contenido mínimo de aluminio. Mamlouk et al, (2010).

Tabla 5: Características físico-mecánica del aluminio

Descripción	Características
Rigidez cortante E(kg/cm ²)	280,000
Resistencia a la tracción (kgf/cm ²)	1632-2040
Módulo de elasticidad (kg/mm ²)	7000
Dureza (HB)	15
Módulo de poisson	0.33
Densidad (kg/m ³)	2700
Dureza-Escala de mohs	3
Alargamiento (%)	11

Fuente: Mamlouk et al, (2010).

2.3.12 Aluminio fundido

El aluminio es un producto con propiedades únicas gracias a su durabilidad, bajo peso y resistencia se ha convertido en un producto esencial en la construcción. Su baja densidad tiene aplicaciones en puentes, columnas, techados y perfiles entre otros. Se utiliza también en la incorporación de aire en el concreto ya que sirve para generar gas lo cual lo vuelve importante en la fabricación de concreto ligero. Sarango, (2017).

Según Calle, (2019). Las mezclas de aluminio para fundición han prosperado por sus óptimas cualidades de fluidez, colabilidad y suficiencia de alimentación de los moldes, así como por la mejora de las propiedades de tenacidad o de oposición a la corrosión de estas aleaciones. En la Tabla 6 se recogen las composiciones químicas. El silicio, en proporciones del 5 al 12%, es el elemento de aleación de carácter más importante dentro de

estas aleaciones, al sumar sobre todo la colabilidad de las mismas. La adición de magnesio, en porcentajes del 0.3 al 1%, posibilita el endurecimiento por precipitación con lo que aumenta las características resistentes. Adiciones de cobre entre el 1 y el 4% amplía la resistencia, sobre todo a altas temperaturas. Para mejorar las propiedades resistentes de las aleaciones de fundición, se efectúa la congelación de las piezas en moldes que permiten elevadas velocidades de enfriamiento, lo que produce estructuras en estado sólido sobresaturadas, que tras las correspondientes etapas de envejecimiento alcanzan niveles resistentes considerables. Un buen ejemplo de la aplicación de este proceso es la producción de pistones para automóviles, que tras su extracción del molde se somete a un tratamiento de envejecimiento que posibilita su endurecimiento por precipitación, tratamiento denominado T6.

Tabla 6: Composición química del aluminio

Composición química del aluminio fundido
Silicio (5-12%)
Magnesio (0.3%)
Cobre (1%)
Aluminio-(Entre 87.5-93.7%)

Fuente: Michael (2000).

2.3.13 Densidad del concreto

El concreto convencional es usualmente empleado en pavimentos, edificios y otros tipos de estructuras este concreto posee un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m³. En la densidad del concreto influye la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado tiene un impacto en las cantidades de agua y cemento. Al reducir la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se incrementa la densidad. En el diseño del concreto armado (reforzado), el peso unitario de la combinación del concreto con la armadura normalmente se considera 2400 kg/m³ como se muestra en la Tabla 7. El peso del concreto seco es igual al peso de los materiales del concreto fresco menos el peso del agua de mezclado

evaporable. Parte del agua de la mezcla combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando el cemento en un gel de cemento.

Además, una fracción del agua continua fuertemente retenida en los poros y en los capilares y no se evapora bajo las condiciones normales. La cantidad del agua de mezclado que se evaporará del concreto expuesto en un medio ambiente con humedad relativa del 50% es cerca del 1/2% al 3% del peso del concreto; la cantidad real depende del contenido inicial de agua, de las características de absorción de los agregados y del tamaño y forma de los miembros del concreto. El concreto liviano el cual tiene una densidad en estado plástico, no es superior a 1,900 kg/m³. En otras palabras, posee pesos unitarios por debajo del rango del concreto tradicional, entre 2200 kg/m³ y 2,400 kg/m³. Este concreto tiene una resistencia a 28 días limitada en función al peso específico.

Tabla 7: Densidad del concreto

Densidad concreto liviano	1850 kg/m ³
Densidad concreto convencional	2240-2400 kg/m ³

Fuente: Sánchez, (2001).

2.4 Importancia del curado del concreto

El ACI 308R (2001). Establece que el curado tiene una influencia significativa sobre las propiedades del concreto endurecido. Por lo tanto, un buen curado es necesario para tener un concreto de buena calidad.

2.4.1 Diseño de mezcla

Según Mayta, (2014). Indica que la selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica del concreto, conocida usualmente como diseño de mezcla, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado fresco tenga la trabajabilidad y consistencia adecuadas; y que en el endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador o indicados en los planos y/o especificaciones de la obra.

2.5 Definición de términos básicos

Concreto ligero: Es una mezcla más ligera que el concreto convencional conformado de cemento, arena, grava y agua que antiguamente fue utilizado en construcciones. También conocido como concreto hecho a base de agregados de peso ligero. Villalobos, (2016).

Concreto convencional: Está compuesto por cemento, agregados finos y gruesos en conjunto con el agua. La mezcla una vez batida adopta una masa de consistencia plástica y adquiere una vez moldeado y en estado endurecido. Zúñiga, (2012)

Polvo de aluminio fundido: Es una presentación con la que se suele trabajar el aluminio. Es un elemento sumamente inflamable y reactivo al contacto el agua, ácidos, alcoholes y otras sustancias, ya que libera gas hidrogeno. Aymet, (2020)

Resistencia a la compresión: Es referido a la calidad del concreto en estado endurecido. Esta designada por el símbolo $f'c$ y responde a la resistencia que debe alcanzar el concreto a los 28 días de su elaboración. Zúñiga, (2012).

Agregado ligero: Agregado con una densidad cuando está seco y suelto de 1100 kg/m^3 o menos NTP E060.

2.6 Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

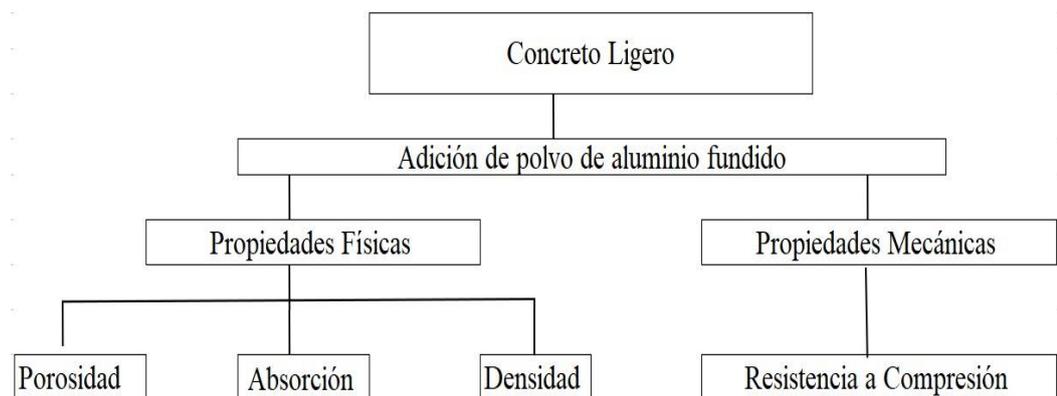


Figura 1: Fundamento teórico que sustenta la hipótesis

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis principal

Al determinar el polvo de aluminio fundido se mejoran las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero

3.1.2 Hipótesis secundarias

- a) Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido incrementa la porosidad de un concreto ligero.
- b) Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido incrementa la absorción del agua de la mezcla de un concreto ligero.
- c) Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido se incrementa la resistencia a la compresión de un concreto ligero.
- d) Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido se reduce la densidad de un concreto ligero.

3.2 Variables

3.2.1 Variable independiente (VI)

Polvo de aluminio fundido (Cuantitativo-continua)

3.2.2 Variable dependiente (VD)

Propiedades físicas y mecánicas del concreto ligero.

3.2.3 Variable interviniente

Temperatura ambiental y humedad (cualitativo-nominal)

3.3 Definición conceptual

Polvo de aluminio fundido: es un polvo liviano, inoloro, plateado-blanco a gris. Es un material inflamable reactivo. La humedad del polvo de aluminio puede encenderse en el aire, con la formación de gas hidrógeno inflamable. Es también un polvo combustible, cuando el polvo de aluminio entra en contacto con el agua, ácidos fuertes, bases o alcoholes fuertes, libera gas hidrógeno inflamable. Puede reaccionar violenta o explosivamente con muchos químicos orgánicos e inorgánicos. Calle, (2019).

Concreto ligero: El concreto ligero es denominado aquel que tiene una densidad más baja que la hecha de manera convencional con agregado grava o triturado. Por ello, podemos definirlo como hormigón ligero que incluye un aumento del volumen de hormigón con una reducción en el peso del hormigón con una densidad seca de 300 kg/m³ hasta 1840 kg/m³. Aghajan, (2017).

3.4 Definición operacional

Propiedades físicas del concreto ligero:

- La trabajabilidad disminuye si se usan tanto agregados finos de peso ligero como agregados gruesos de peso ligero por lo que se recomienda usar agregados finos de peso normal y agregados gruesos de peso ligero apareciendo así el concreto semi ligero.
- Porosidad: Es la cantidad de espacios vacíos que queda inmersos en la masa de concreto como la evaporación de agua libre de la mezcla y la presencia de aire.
- Absorción: Capacidad para llenar de agua los vacíos de su estructura interna.
- Compresión: Capacidad para soportar una carga por unidad de área.
- Densidad: El peso de la unidad de volumen.

3.5 Operacionalización de variables

Como se muestra en la Tabla 8 y 9.

Tabla 8: Operacionalización de las variables.

TEMA: POLVO DE ALUMINIO FUNDIDO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN CONCRETO LIGERO							
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento
V.I. Polvo de aluminio fundido	<p>El polvo de aluminio es un elemento altamente inflamable y reactivo considerado como polvo de combustible, usualmente cubierto con un manto de óxido de aluminio. Existen dos tipos de polvo de aluminio:</p> <p>Primer tipo: el tipo "partícula" que se logra del estampado del metal frío.</p> <p>Segundo tipo: el tipo "granulado" que se logra del estampado del aluminio fundido.</p>	<p>El aluminio es un producto con propiedades únicas gracias a su durabilidad, bajo peso y resistencia se ha convertido en un producto esencial en la construcción. Su baja densidad tiene aplicaciones en puentes, columnas, techados y perfiles entre otros. Se utiliza también en la incorporación de aire en el concreto ya que sirve para generar gas lo cual lo vuelve importante en la fabricación de concreto ligero. Sarango, (2017).</p>	Porcentaje de polvo de aluminio fundido	<p>Porcentaje de polvo de aluminio fundido.</p> <p>Físico y químico.</p> <p>Tipo de aleación química.</p>	%	Cuantitativo - continua	<p>Revistas de investigaciones extranjeras, tesis extranjeras nacionales y libros referentes a la investigación</p>

V.D. Propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero	Es el comportamiento físico mecánico de un material que se define a un modo a que el material responde o se somete ante cargas o fuerzas externas y sufre distintas transformaciones.	El concreto ligero sufre distintas propiedades que éstas reducen el peso de estas (las cargas muertas) beneficiando para altos riesgos sísmicos. También éstas agilizan la velocidad en el sector construcción gracias a la ausencia del agregado grueso. donde se ignora el vibrado de los vacíos ya que su sistema se distribuye uniformemente. Contiene alto valor aislamiento térmico reduciendo la transmisión de calor de las estructuras. Caicedo y Tipán(2019)	Porosidad Absorción Resistencia Densidad	Porcentaje adecuado del concreto Compresión Fuerza axial Área circular Masa y volumen al ambiente Masa y volumen en seco	kg kg/cm ² kg % m ² kg - kg/cm ³ kg - kg/cm ³	Cualitativo - nominal	Revistas de investigaciones extranjeras, tesis extranjeras nacionales y libros referentes a la investigación
---	---	--	---	---	---	--------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Operacionalización de las variables definición/dimensiones.

Variable Dependiente	Definición operacional	Dimensiones
Porosidad	El grado de fluidez durante su colocación.	Contenido de vacíos
Absorción	Capacidad para llenar de agua los vacíos de su estructura interna.	Capacidad de absorción
Resistencia a compresión	Capacidad para soportar una carga por unidad de área.	Propiedad mecánica
Densidad	El peso de la unidad de volumen.	Propiedad física
Variable Independiente	Definición operacional	Dimensiones
Polvo de aluminio	Liviano, inoloro, plateado-blanco a gris. Es un metal ligero.	Físico
		Químico

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Método de la investigación

El método que se utilizó para el proyecto de investigación fue documental que se basó en recolectar y seleccionar información haciendo el uso de la lectura de revistas, investigaciones, libros, es decir; describir y evaluar distintos proyectos de tesis, relacionando las variables entre sí para un óptimo aprendizaje y futuras investigaciones.

4.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación que se realizó en el presente trabajo de tesis fue de tipo explicativa, son experiencias de investigación con propósitos de resolver o mejorar una situación específica o particular, para comprobar un método o modelo mediante la aplicación innovadora y creativa de una propuesta de intervención, en este caso de índole Orientadora, en un grupo, persona, institución o empresa que lo requiera.

Por su parte, Boggino, et al. (2004) y Cívicos, et al (2007) mencionan la investigación–acción y la investigación participativa como aquellas que responden a aplicaciones, de ahí que sean vistas como prácticas de investigación diferentes de la investigación práctica aplicada.

4.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación del proyecto de tesis a tratar fue descriptivo con el objetivo de ayudar a los investigadores a estudiar el problema de investigación con mayor profundidad y entender el fenómeno de forma eficiente.

4.4 Diseño de la investigación

Es un diseño retrospectivo donde únicamente se utilizó el método científico que se basa en la referencia a la evaluación mediante el uso de datos históricos existentes retroalimentando de diferentes investigaciones científicas, resúmenes, revistas e informaciones relacionadas al tema.

4.5 Población y muestra

4.5.1 Población

En la investigación se tomó como población probetas en forma de cubos prismáticos de 100 x 100 x 400 mm elaboradas en la Universidad Estatal de Ingeniería Civil de Moscú, basándose en la Norma BS EN 992. Lam, et al (2019).

En la investigación se tomó como población bloques celulares elaborados en la Universidad Técnica de Ambato los cuales fueron sometidos a ensayos a los 7, 14 y 28 días de edad, basándose en la Norma INEN 638. Sarango, (2017).

En la investigación se tomó como población probetas en forma de cubos prismáticos de 100 mm para la resistencia a compresión, basándose en la Norma BS EN 992. Shabbar, (2017).

4.5.2 Muestra

Velarde, (2017). Según el cálculo de la muestra se aplicó la siguiente Fórmula 1:

Donde:

$$n_o = \frac{Z^2 \times S^2}{E^2} \dots\dots\dots \text{(Fórmula 1)}$$

Calculando la fórmula con los siguientes datos obtenemos:

Z=90% confiabilidad = 1.64, debido a que las probetas elaboradas serán de una misma mezcla. Además, la confiabilidad del equipo de compresión según ensayos preliminares arroja datos cercanos por tal motivo se consideró una confianza del 95%.

S= 10 kg/cm² obtenida de ensayos preliminares.

E= 10 kg/cm² estimado por el investigador.

$$n_o = \frac{1.64^2 \times 10^2}{10^2} \dots\dots\dots \text{(Fórmula 2)}$$
$$n_o = 2.69 = 3 \text{ réplicas.}$$

Según la ACI 318-14, solo es necesario 2 probetas de concreto de 15cm x 30 cm o 3 probetas de 10cm x 20cm.

Calle, (2019). La muestra de estudio en el presente trabajo de investigación lo conformaron 4 réplicas de concreto en estado endurecido de 10cm x 20 cm., con un nivel de confianza del 95%, un error absoluto de 10kg/cm² y una desviación estándar de 10kg/cm², siendo estos últimos datos obtenidos mediante pruebas pilotos por el investigador responsable, aplicando la información se obtuvo mediante la siguiente fórmula 3:

$$n_0 = \frac{Z^2 \times S^2}{E^2} \dots\dots\dots \text{(Fórmula 3)}$$

Donde:

n: tamaño de la población.

Z: Grado de confianza que se establece por el investigador. (95%)

E: Error absoluto precisión de la estimación de la proporción.

S: Desviación estándar de la variable fundamental del estudio o de interés para el investigador. Obtenida por estudios anteriores, muestra piloto, criterio de experto o distribución de la variable de interés fórmula 4.

Entonces reemplazando tenemos:

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 \times (10)^2}{(10)^2} \dots\dots\dots \text{(Fórmula 4)}$$

$$n = 4 \text{ Replicas}$$

Para esta investigación se realizó un diseño experimental, donde se varía la cantidad de porcentaje de polvo de aluminio en el diseño de la siguiente manera (0%,1.5%,3%,4.5%,6%).

La muestra de estudio en la presente investigación son los ensayos de porosidad, absorción, resistencia a compresión y densidad realizados en los artículos de referencia.

4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos

Instrumento de recolección de datos

El instrumento que se aplicó es de tipo ambilectivo tomando datos de fichas textuales, como instrumento de investigación, que se centró en el diálogo interpersonal entre el observador y los observados, en una relación cara a cara de manera individual en tiempos de 3 días por empresa constructora, es decir, en forma directa.

4.6.1 Métodos y técnicas

Observación, consiste en la consulta de distintas fuentes bibliográficas, tanto digitales como en físico (libros), las cuales sirven como antecedentes y bases teóricas. Se hizo uso de la normatividad peruana que establece criterios adaptados de normas extranjeras, en su mayoría de Estados Unidos, para el manejo de criterios y procedimientos necesarios en la elaboración de los ensayos. Sin embargo, para la obtención de antecedentes respecto al tema de investigación, colocara la fuente y si es necesario traducir investigaciones científicas de inglés a español.

Observación directa, el comportamiento de los participantes se realiza en un laboratorio, donde la ventaja es que el fenómeno puede medirse de manera más inmediata, consiste en captar información válida y confiable de los hechos en función de los objetivos de investigación previamente establecidos. De esta manera observaremos y analizaremos el comportamiento del concreto con polvo de aluminio

4.7 Descripción de procesamiento de análisis

El procesamiento de datos y gráficos se hizo mediante el software aplicado a la Ingeniería Civil, y Microsoft Office, donde mediante tablas y diagrama de barras se plasmarán distintos análisis de la investigación.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Resultados y análisis de la investigación

El polvo de aluminio fundido presenta diferentes comportamientos dependiendo de los porcentajes añadidos al concreto ligero estos se ven reflejados en las tablas que se presentaran a continuación los cuales fueron sometidos a diferentes tipos de ensayos: porosidad, absorción, resistencia a compresión y densidad.

En esta investigación presentamos una recopilación de estudios científicos y ensayos que evidencian diferentes comportamientos ante la variación de lo antes mencionado.

Cabe resaltar que los ensayos realizados en los diferentes estudios son de carácter nacional e internacional, mostrando resultados contundentes y significativos para comparar el comportamiento del concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido en distintos escenarios.

5.1.1 Resultados de ensayos de porosidad.

Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la porosidad de un concreto ligero.

Lam, et al (2019).

- Tipo de cemento: Cemento Portland Tipo I de grado 40 que es excelente para las construcciones.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland Tipo I, un módulo de finura de 3.10 la relación a/c fue de 0.50, con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido con cenizas volantes de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.00%.
- Método de ensayo: Para evaluar los vacíos de concreto ligero se realizó el ensayo de porosidad empleando de la mano el ensayo de asentamiento según los estándares de calidad del concreto ligero.
- En la siguiente Tabla 10 se observa los primeros 5 resultados del ensayo de porosidad para un concreto ligero obtenidos por el autor y a la vez se aportó mediante el método analítico de 3 resultados que fueron

analizadas por los testistas para obtener el resultado óptimo de la porosidad.

Tabla 10: Ensayo de porosidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 5 muestras recolectadas y 3 analizadas.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Porosidad (%)
M-1	0.00	9
M-2	0.25	12
M-3	0.50	20
M-4	0.75	23
M-5	1.00	24
M-6	1.25	26
M-7	1.50	26
M-8	1.75	25

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de la Tabla 10 mediante la Figura 2 se extrajo el coeficiente de determinación o confiabilidad (R^2) y la línea de tendencia polinómica que nos presenta la ecuación siguiente:

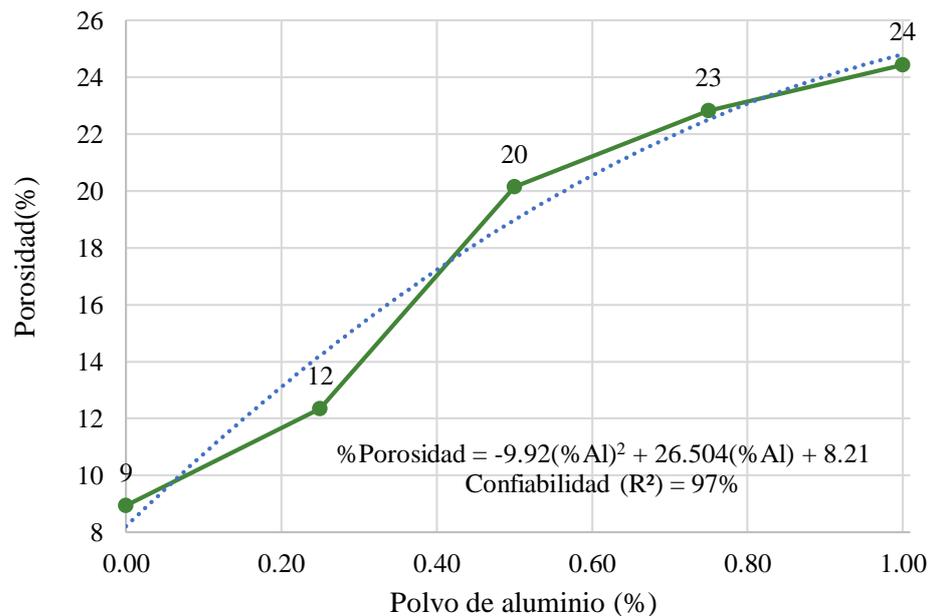


Figura 2: Polvo de aluminio (%) vs Porosidad del concreto ligero (%) con línea de tendencia extrapolando la ecuación polinómica.

Fuente: Elaboración propia.

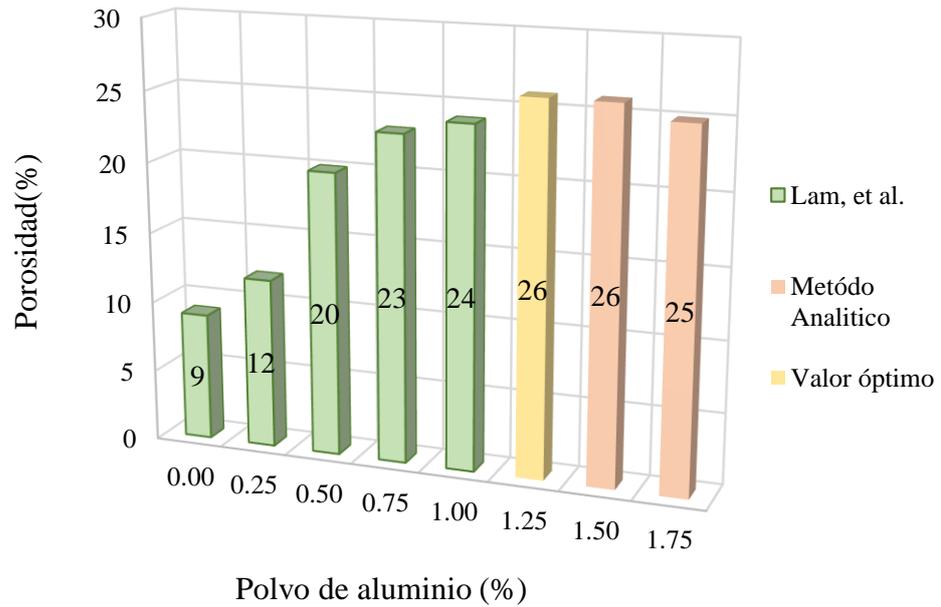


Figura 3: Polvo de aluminio fundido (%) vs Porosidad del concreto ligero (%), resaltando el valor óptimo del porcentaje de porosidad.

Fuente: Elaboración propia.

Rana, et al (2017).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland CEM I 52.5 N.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland Tipo I/52.5 N, con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.00%.
- Método de ensayo: Para evaluar los vacíos de concreto ligero se realizó el ensayo de porosidad empleando de la mano el ensayo de asentamiento según los estándares de calidad del concreto ligero.
- En la siguiente Tabla 11 se observa los primeros 5 resultados del ensayo de porosidad para un concreto ligero obtenidos por el autor y a la vez se aportó mediante el método analítico 4 resultados que fueron analizadas por los tesisistas para obtener el resultado óptimo de la porosidad.

Tabla 11: Ensayo de porosidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 5 muestras recolectadas y 4 analizadas.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Porosidad (%)
M-1	0.00	10
M-2	0.25	12
M-3	0.50	20
M-4	0.75	23
M-5	1.00	26
M-6	1.25	27
M-7	1.50	29
M-8	2.00	29
M-9	2.25	27

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de la Tabla 11 a través un gráfico de dispersión se extrajo el coeficiente de determinación o confiabilidad (R^2) y la línea de tendencia polinómica que nos presenta la ecuación siguiente:

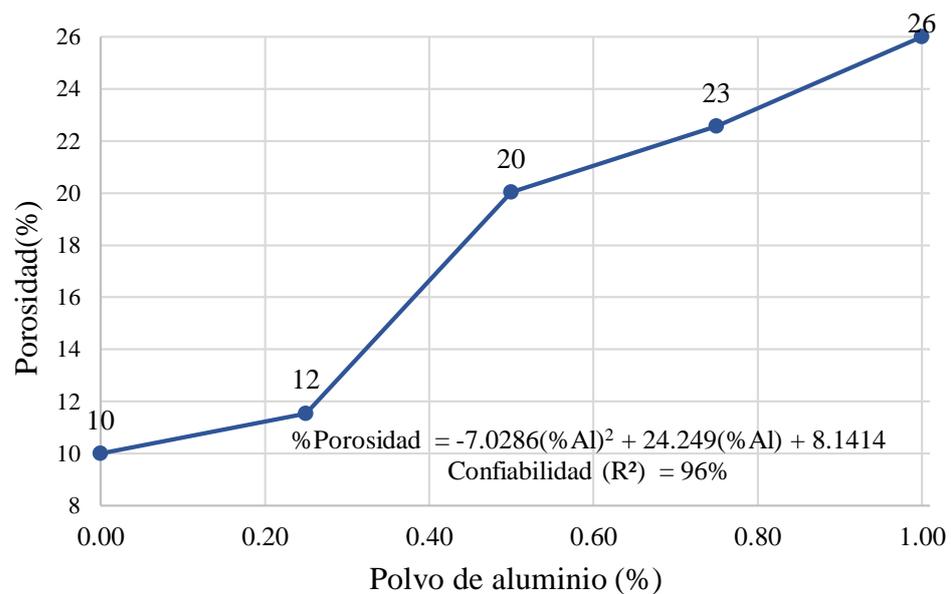


Figura 4: Polvo de aluminio (%) vs Porosidad del concreto ligero (%) con línea de tendencia infiriendo la ecuación polinómica.

Fuente: Elaboración propia.

Por intermedio de la Figura 4 se extrajo una ecuación polinómica para determinar el porcentaje óptimo del polvo de aluminio fundido de un concreto ligero.

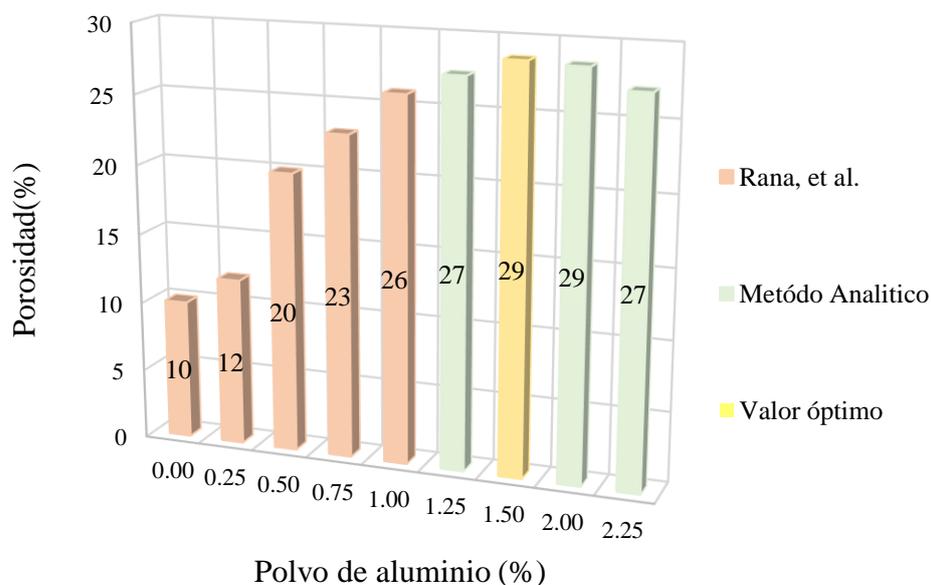


Figura 5: Polvo de aluminio (%) vs Porosidad (%) resaltando el valor óptimo porcentaje de concreto ligero.

Fuente: Elaboración propia.

Damene, et al (2016).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland (PC) de uso general.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland tipo IP de uso general, una relación de agua / cemento de 0.45 a 0.53 con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0%, 0.20%, 0.40%, 0.60% y 0.80%.
- Método de ensayo: Para evaluar la cantidad de agua que absorbe el concreto ligero se realizó el ensayo de absorción dando a notar que el polvo de aluminio al 0.60% contiene mayores burbujas de aire en el bloque.
- En la siguiente Tabla 12 se observa los primeros 4 resultados del ensayo de porosidad para un concreto ligero obtenidos por el autor y a la vez

se aportó mediante el método analítico un resultado que fue analizado por los tesisistas para obtener el resultado óptimo de la porosidad.

Tabla 12: Ensayo de porosidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 4 muestras recolectadas y 1 analizada.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Porosidad (%)
M-1	0.00	28
M-2	0.20	38
M-3	0.40	44
M-4	0.60	47
M-5	0.80	46

Fuente: Elaboración propia.

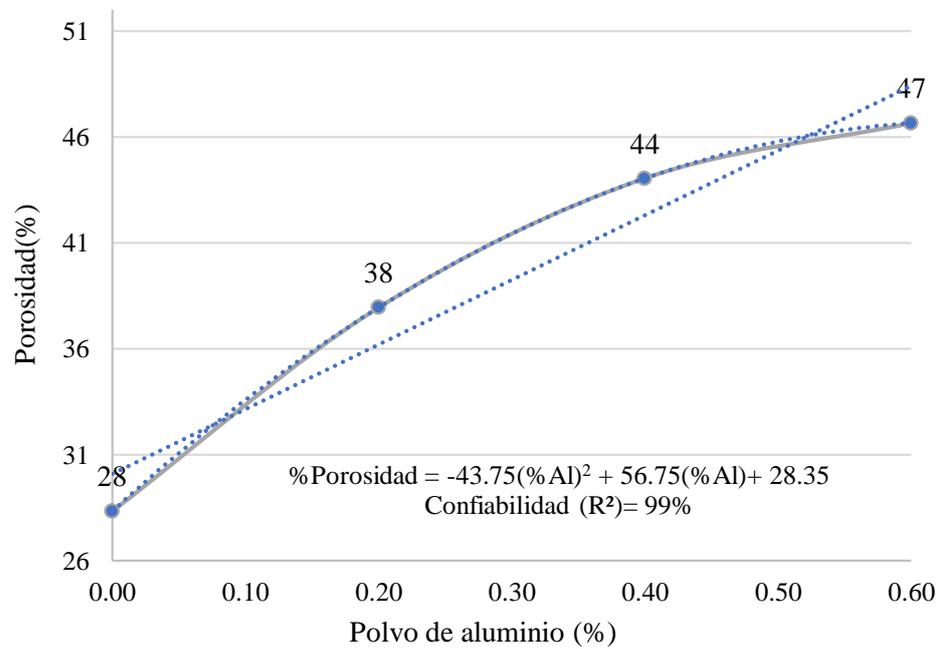


Figura 6: Polvo de aluminio (%) vs Porosidad del concreto ligero (%) y la línea de tendencia extrapolando la ecuación polinómica.

Fuente: Elaboración propia.

Por intermedio de la Figura 6 se extrajo una ecuación polinómica para con ella obtener el porcentaje óptimo del polvo de aluminio fundido.

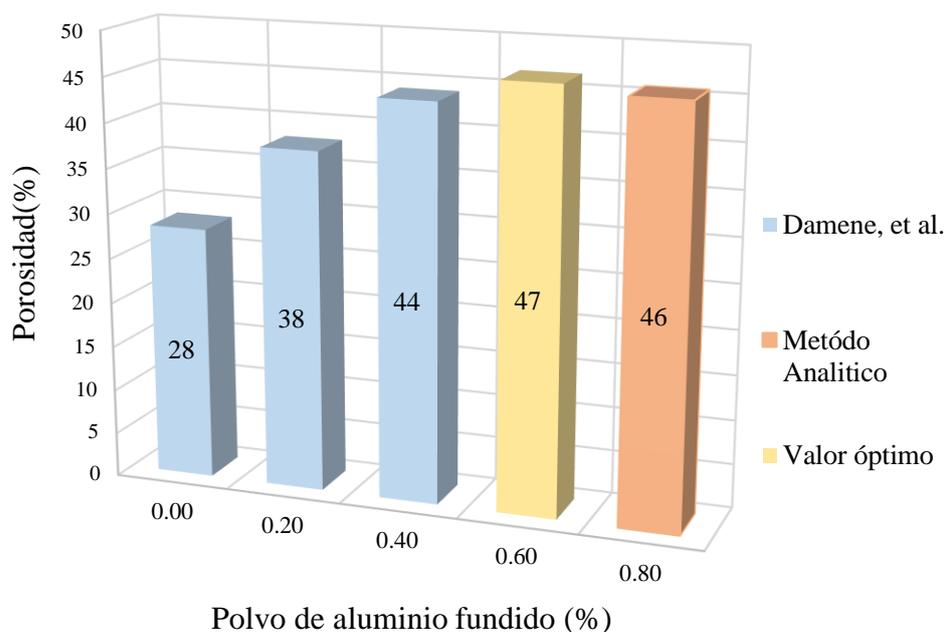


Figura 7: Polvo de aluminio (%) vs Porosidad del concreto ligero (%) enfatizando el valor óptimo.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Resultados de los ensayos de absorción.

Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la absorción del agua de la mezcla de un concreto ligero.

Ashraf, et al (2015).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland (PC) de uso general.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland tipo IP de uso general, una relación de agua / cemento de 0.45 a 0.53 con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0%, 0.05%, 0.10% y 0.15%.
- Método de ensayo: Para evaluar la cantidad de agua que absorbe el concreto ligero se realizó el ensayo de absorción dando a notar que el

polvo de aluminio al 0.15% contiene mayores burbujas de aire en el bloque.

- En la siguiente Tabla 13 se observa los primeros 4 resultados del ensayo de absorción para un concreto ligero obtenidos por el autor y a la vez se aportó mediante el método analítico 5 resultados que fueron analizadas por los tesisistas para obtener el resultado óptimo de la absorción.

Tabla 13: Ensayo de absorción para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 4 muestras recolectadas y 5 analizadas.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Absorción (%)
M-1	0.00	8
M-2	0.05	9
M-3	0.10	10
M-4	0.15	11
M-5	0.20	11
M-6	0.25	11
M-7	0.30	11
M-8	0.35	11
M-9	0.40	10

Fuente: Elaboración propia

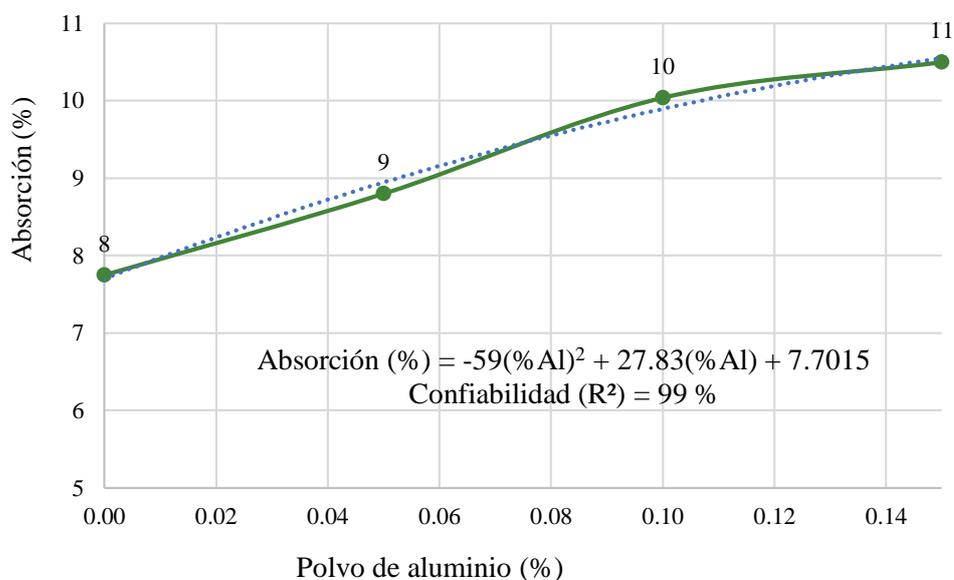


Figura 8: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) línea de tendencia extrapolando la ecuación polinómica.

Fuente: Elaboración propia.

Por intermedio de la Figura 8 se extrajo una ecuación polinómica para con ella obtener el porcentaje óptimo del polvo de aluminio fundido como se muestra la Figura 9.

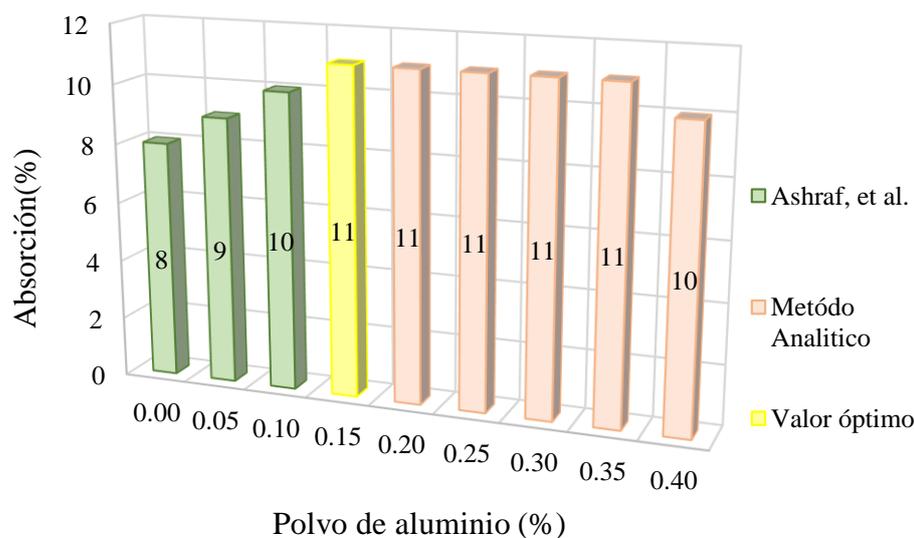


Figura 9: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) resaltando el óptimo porcentaje concreto ligero.

Fuente: Elaboración propia.

Nesibe, et al (2014).

- Tipo de cemento: En la investigación todas las pruebas se usó un Cemento Portland Ordinario fabricado para cumplir con BS 12- EN 196 1996 (Clase 42.5 R) que corresponde al cemento ASTM Tipo I.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland tipo I para cumplir con BS 12- EN 196 1996 (Clase 42.5 R), una relación de agua / cemento de 0.45 a 0.53, agregado grueso con un tamaño nominal de 25 mm, con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0%,0.05%, 0.10% y 0.15%.
- Método de ensayo: Para determinar la capacidad de absorción de agua de las muestras del concreto ligero se realizó el ensayo de absorción con el procedimiento de ensayo ASTM C 642.
- En la siguiente Tabla 14 se observa los primeros 4 resultados del ensayo de absorción para un concreto ligero obtenidos por el autor y a la vez se

aportó mediante el método analítico 5 resultados que fueron analizadas por los tesisistas para obtener el resultado óptimo de la absorción.

Tabla 14: Ensayo de absorción para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 4 muestras recolectadas y 5 analizadas.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Absorción (%)
M-1	0.00	8
M-2	0.05	9
M-3	0.10	10
M-4	0.15	11
M-5	0.20	11
M-6	0.25	11
M-7	0.30	11
M-8	0.35	11
M-9	0.40	10

Fuente: Elaboración propia.

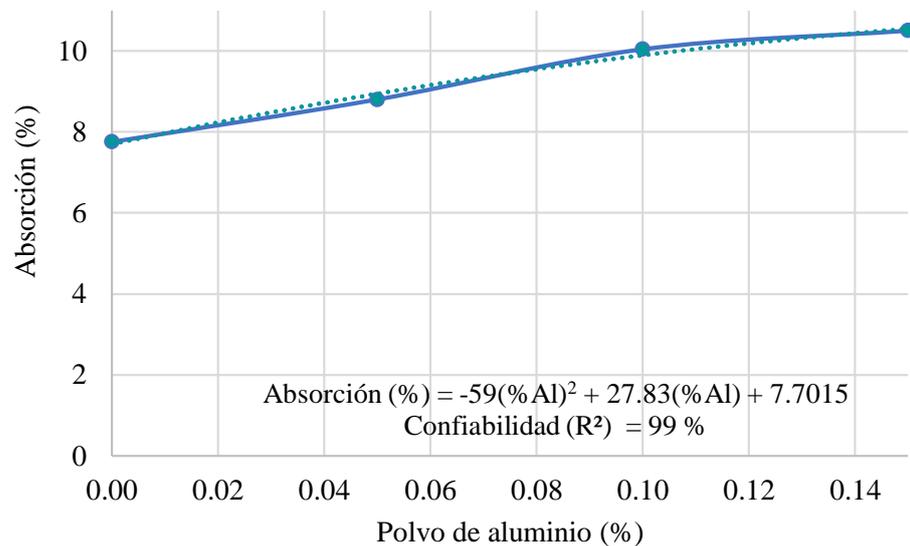


Figura 10: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) con línea de tendencia y ecuación polinómica.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se extrajo una ecuación polinómica para obtener el porcentaje óptimo del polvo de aluminio fundido como se muestra en la Figura 11.

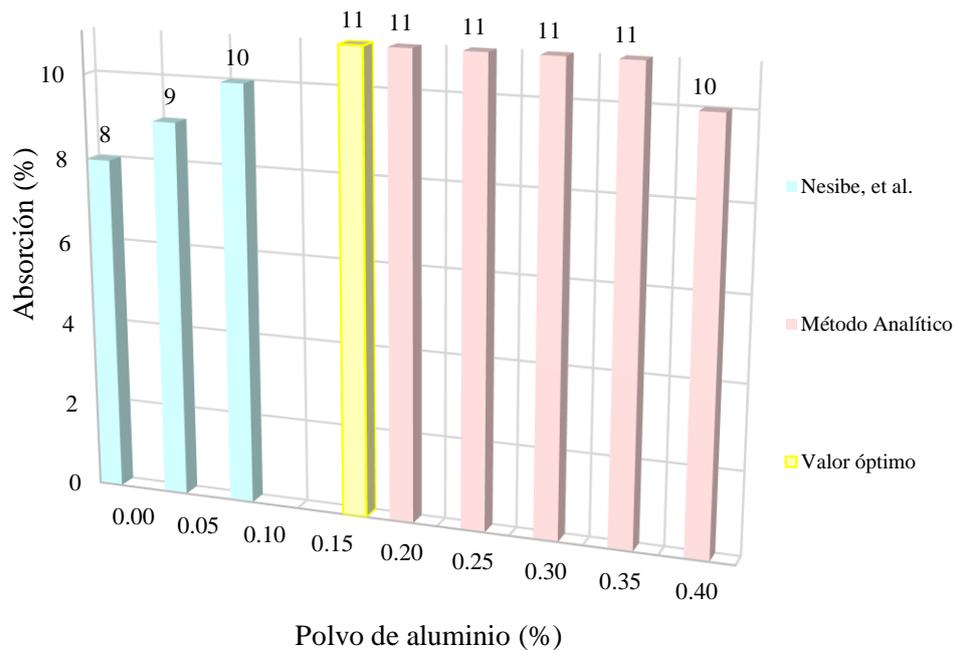


Figura 11: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) resaltando el óptimo porcentaje concreto ligero.

Fuente: Elaboración propia

Jinyoung, et al (2020).

- Tipo de cemento: En la investigación todas las pruebas se usó un Cemento Portland Ordinario fabricado para cumplir con BS 12- EN 196 1996 (Clase 42.5 R) que corresponde al cemento ASTM Tipo I.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland ordinario (OPC) CEM I 42.5 R, una relación de agua / cemento de 0.33, con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0%,0.05%, y 0.10%.
- Método de ensayo: Para determinar la capacidad de absorción de agua de las muestras del concreto ligero se realizó el ensayo de absorción con el procedimiento de ensayo ASTM C 642.
- En la siguiente Tabla 15 se observa los primeros 3 resultados del ensayo de absorción para un concreto ligero obtenidos por el autor y a la vez se aportó mediante el método analítico 4 resultados que fueron analizadas por los tesisistas para obtener el resultado óptimo de la absorción.

Tabla 15: Ensayo de absorción para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 3 muestras recolectadas y 4 analizadas.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Absorción (%)
M-1	0.00	9
M-2	0.05	18
M-3	0.10	25
M-4	0.15	30
M-5	0.20	32
M-6	0.25	32
M-7	0.30	30

Fuente: Elaboración propia.

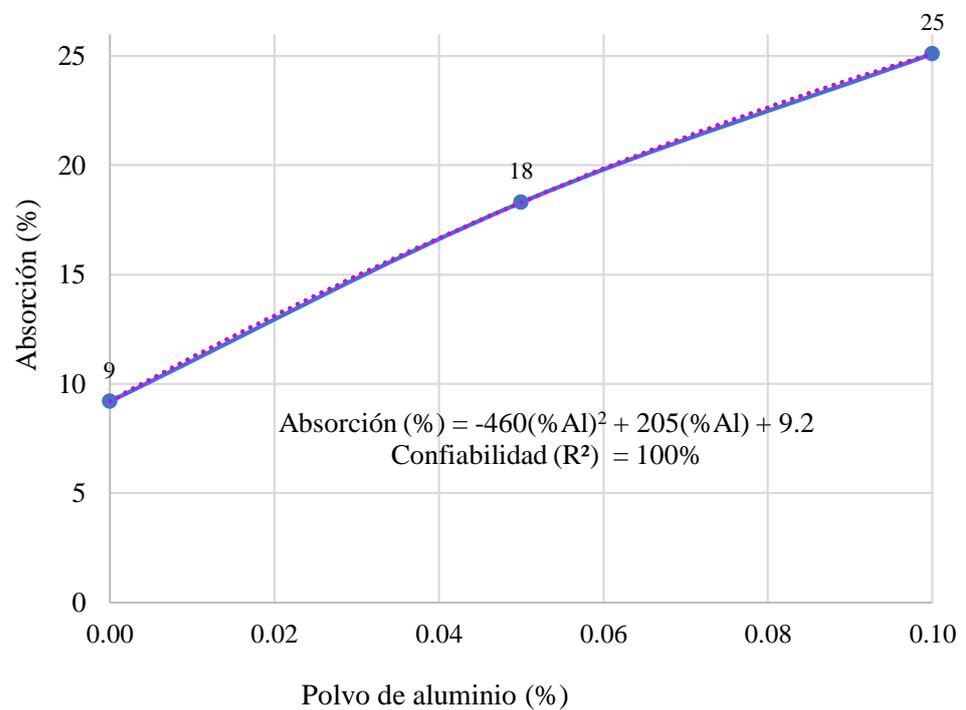


Figura 12: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) con línea de tendencia y extrapolado la confiabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

A través de la Figura 12 se extrajo una ecuación polinómica para con ella obtener el porcentaje óptimo del polvo de aluminio fundido Figura 13.

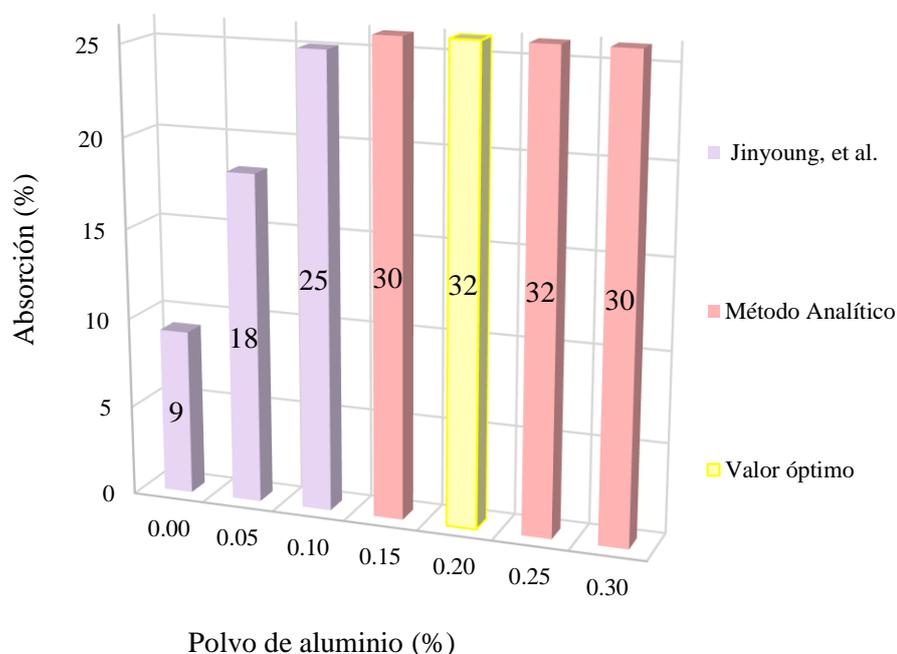


Figura 13: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) resaltando el óptimo porcentaje.

Fuente: Elaboración propia.

Sarango, et al (2017).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland tipo IP de uso general adicionado en un 20 a un 40 % de puzolana adicionado en el triturado del Clinker.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland tipo IP de uso general, con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0.00%, 0.10%, 0.15% y 0.20%.
- Método de ensayo: Para evaluar la cantidad de agua que absorbe el concreto ligero se realizó el ensayo de absorción dando a notar que el polvo de aluminio al 0.20% contiene mayores burbujas de aire en el bloque.
- En la siguiente Tabla 16 se observa los primeros 4 resultados del ensayo de absorción para un concreto ligero obtenidos por el autor y a la vez se aportó mediante el método analítico 3 resultados que fueron analizadas por los tesisistas para obtener el resultado óptimo de la absorción.

Tabla 16: Ensayo de absorción para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 4 muestras recolectadas y 3 analizadas.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Absorción (%)
M-0	0.00	16
M-1	0.10	25
M-2	0.15	28
M-3	0.20	29
M-4	0.25	29
M-5	0.30	29
M-6	0.35	26

Fuente: Elaboración propia.

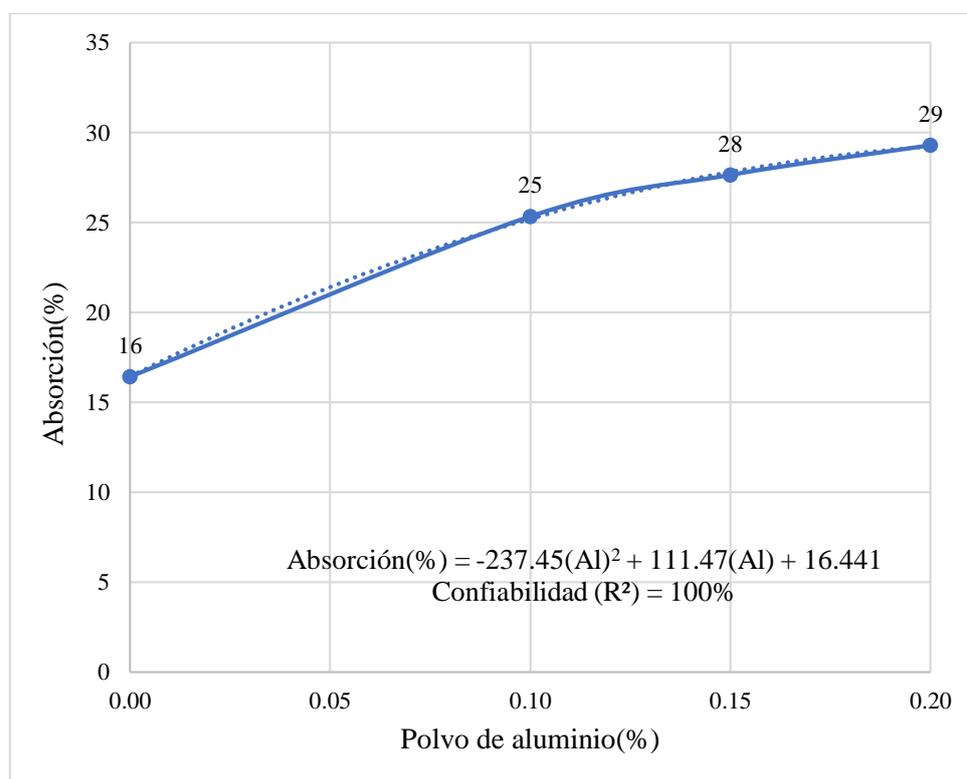


Figura 14: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) enfatizando la línea de tendencia se extrapoló.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se extrajo una ecuación polinómica para con ella obtener el porcentaje óptimo del polvo de aluminio fundido Figura 15.

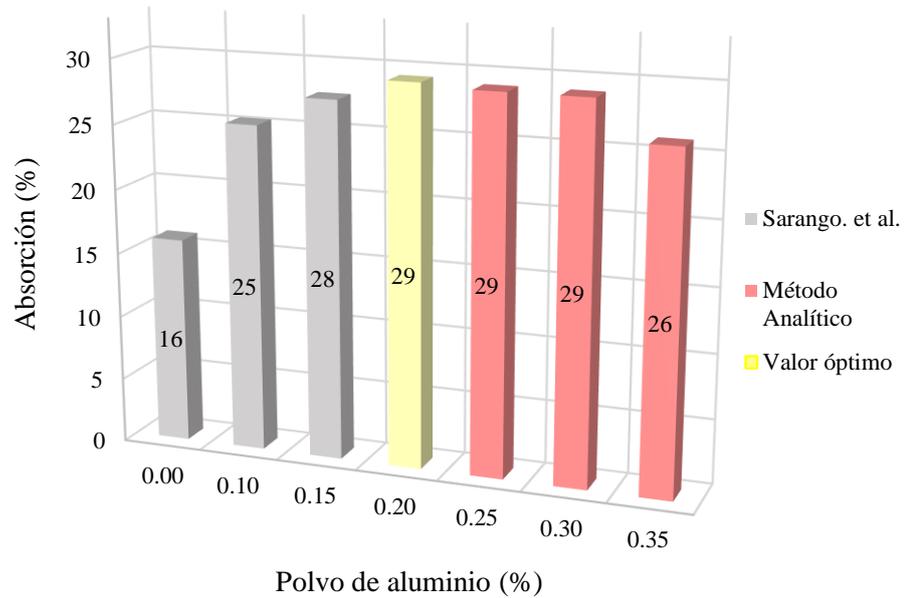


Figura 15: Polvo de aluminio (%) vs Absorción del concreto ligero (%) resaltando valor óptimo de la absorción.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.

Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la resistencia a compresión de un concreto ligero.

Satish, et al (2016).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland ordinario (OPC) Grado - 53 de consistencia normal de 34%.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland ordinario (OPC) Grado - 53, con un módulo de finura FM = 3.12, una relación de agua / cemento de 0.47 a 0.55, con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20% y 0.30%.
- Método de ensayo: Para evaluar la resistencia a compresión final del concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido se realizó el ensayo de resistencia a compresión dando a notar que al aumentar el polvo de aluminio fundido disminuye la resistencia a compresión del concreto ligero.

- En la siguiente Tabla 17 se observa los resultados del ensayo de resistencia a compresión en 28 días para un concreto ligero obtenidas por el autor, a la vez se analizó el resultado óptimo de la resistencia a compresión.

Tabla 17: Ensayo de resistencia a compresión para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido óptimo en 0.05% a los 28 días de curado.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio fundido (%)	Resistencia a
		Compresión (kg/cm ²) 28 días
ASD-0	0.00	328
ASD-5	0.05	310
ASD-10	0.10	291
ASD-15	0.15	277
ASD-20	0.20	273
ASD-30	0.30	231

Fuente: Elaboración propia.

A través de la Figura 16 se puede observar los resultados más detallados del ensayo a la resistencia a compresión para los 28 días, resaltando el valor óptimo del polvo de aluminio fundido.

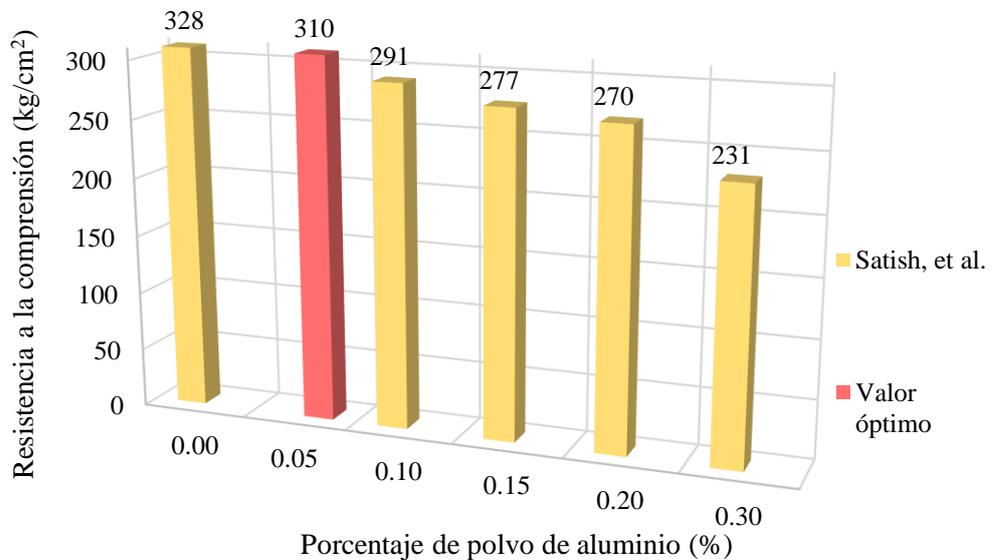


Figura 16: Polvo de aluminio (%) vs Resistencia a compresión del concreto ligero (kg/cm²) a los 28 días resaltando el valor óptimo.

Fuente: Elaboración propia.

Lam, et al (2019).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland tipo I de grado 40.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland tipo I de grado 40, una relación de agua / cemento de 0.50 con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.00%.
- Método de ensayo: Para determinar la resistencia a compresión final del concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido se realizó el ensayo de resistencia a compresión dando a notar que el polvo de aluminio al incrementarse disminuye la resistencia a compresión del concreto ligero.
- En la siguiente Tabla 18 se observa los resultados detallados del ensayo de resistencia a compresión obtenidas por el autor para los 7, 14 y 28 días para un concreto ligero, con ello se analiza el resultado para un óptimo de la resistencia a compresión.

Tabla 18: Ensayo de resistencia a compresión para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio en 0.25% a los 7, 14, 28 días.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio fundido (%)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)		
		7 días	14 días	28 días
M-1	0.00	366	481	537
M-2	0.25	246	306	332
M-3	0.50	194	247	268
M-4	0.75	174	223	243
M-5	1.00	154	196	209

Fuente: Elaboración propia.

A través de la Figura 17, 18 y 19 de columnas se puede observar los resultados más detallados del ensayo a la resistencia a compresión para los 7, 14 y 28 días, resaltando el valor óptimo del polvo de aluminio fundido.

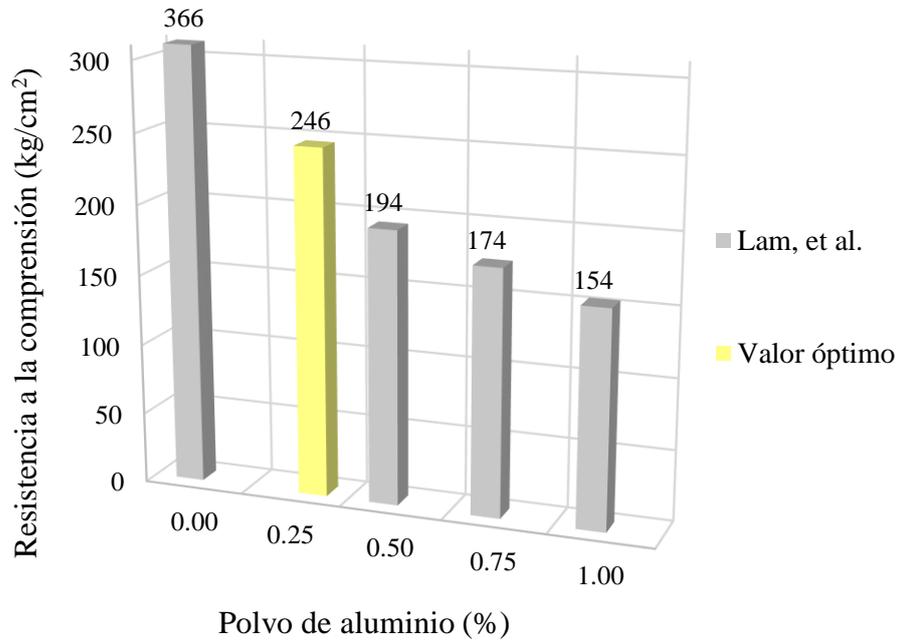


Figura 17: Polvo de aluminio (%) vs Resistencia a compresión del concreto ligero (kg/cm²) para 7 días resaltando el valor óptimo Lam, et al.
Fuente: Elaboración propia.

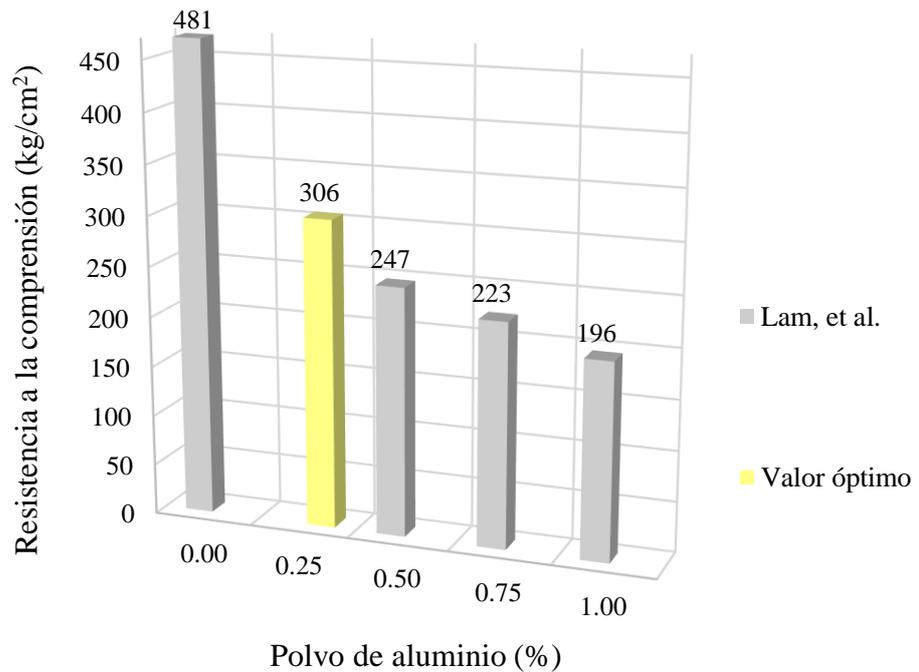


Figura 18: Polvo de aluminio (%) vs Resistencia a compresión del concreto ligero (kg/cm²) para 14 días resaltando el valor óptimo Lam, et al.
Fuente: Elaboración propia.

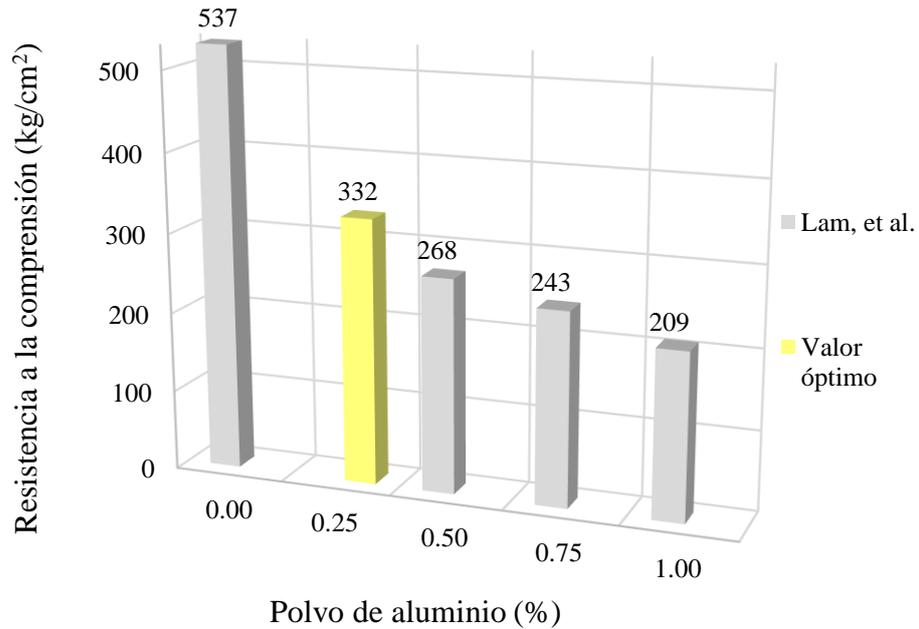


Figura 19: Polvo de aluminio (%) vs Resistencia a compresión del concreto ligero (kg/cm²) a los 28 días resaltando el valor óptimo Lam, et al.

Fuente: Elaboración Propia.

Rana, et al (2017).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland CEM I.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland CEM I, una relación de agua / cemento de 0.60 con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.00%.
- Método de ensayo: Para determinar la resistencia a compresión final del concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido se realizó el ensayo de resistencia a compresión dando a notar que al aumentar el polvo de aluminio fundido disminuye la resistencia a compresión del concreto ligero.
- En la siguiente Tabla 19 se observa los resultados del ensayo de resistencia a compresión para un concreto ligero obtenidas por el autor a los 28 días, en conjunto se brinda un aporte mediante el método

analítico 2 números de mezclas para con ella alcanzar el resultado óptimo de la resistencia a compresión.

Tabla 19: Ensayo de resistencia a compresión para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido en 0.25% a los 28 días de curado.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio fundido (%)	Resistencia a
		Compresión (kg/cm ²) 28 días
M-1	0.00	540
M-2	0.25	329
M-3	0.50	265
M-4	0.75	239
M-5	1.00	190

Fuente: Elaboración propia.

A través de la Figura 20 se puede observar los resultados más detallados del ensayo a la resistencia a compresión para los 28 días, resaltando el valor óptimo del polvo de aluminio fundido.

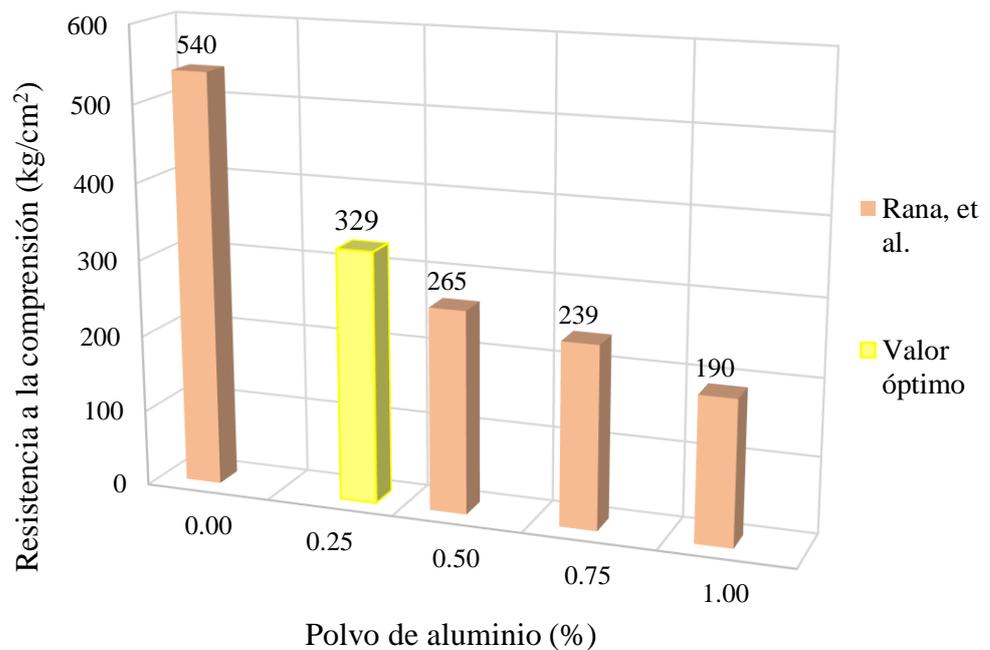


Figura 20: Polvo de aluminio (%) vs Resistencia a compresión (kg/cm²) del concreto ligero.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 Resultado de ensayos de densidad.

Determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido para reducir la densidad de un concreto ligero.

Lam, et al (2019).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland tipo I de grado 40.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland tipo I de grado 40, una relación de agua / cemento de 0.50 con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.00%.
- Método de ensayo: Para determinar la densidad final del concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido en diferentes porcentajes se realizó el ensayo de densidad dando a notar que el polvo de aluminio al incrementarse disminuye notablemente la densidad como se muestra en la Figura 21.
- En la siguiente Tabla 20 se observa los resultados obtenidos por el autor para el ensayo de densidad evaluando las 5 mezclas y se analizó el resultado óptimo de la densidad.

Tabla 20: Ensayo de densidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 5 muestras diseño 1.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Promedio densidad (kg/m ³)
M-1	0.00	2190
M-2	0.25	1840
M-3	0.50	1780
M-4	0.75	1705
M-5	1.00	1485

Fuente: Elaboración propia.

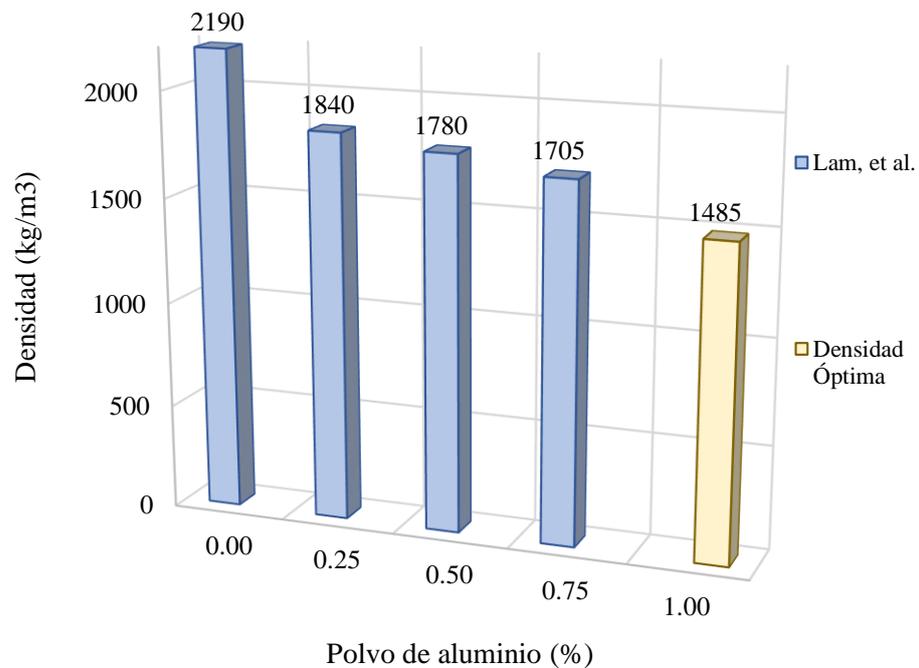


Figura 21: Polvo de aluminio (%) vs Densidad (kg/m³) según Lam, et al.
Fuente: Elaboración propia.

Rana, et al (2017).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland CEM I.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland CEM I, una relación de agua / cemento de 0.60 con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.00%.
- Método de ensayo: Para determinar la densidad final del concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido en diferentes porcentajes se realizó el ensayo de densidad dando a notar que el polvo de aluminio al incrementarse disminuye notablemente la densidad como se muestra en la Figura 22.
- En la siguiente Tabla 21 se observa los resultados obtenidos por el autor del ensayo de densidad evaluado para 5 mezclas de concreto y se analizó el comportamiento del polvo de aluminio fundido para determinar su óptimo porcentaje.

Tabla 21: Ensayo de densidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 5 muestras diseño 2.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Promedio densidad (kg/m ³)
M-1	0.00	2102
M-2	0.25	1841
M-3	0.50	1785
M-4	0.75	1725
M-5	1.00	1487

Fuente: Elaboración propia.

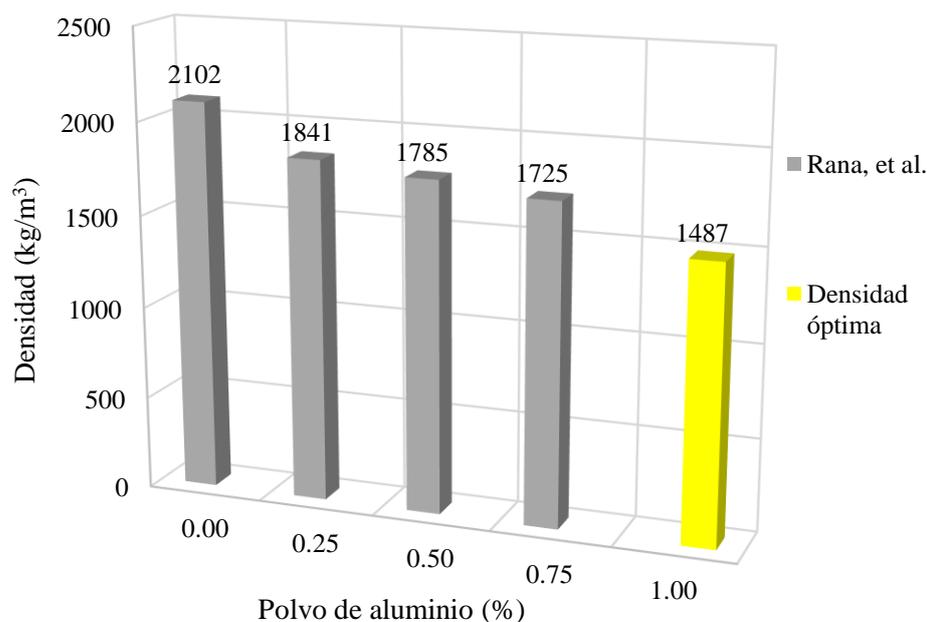


Figura 22: Polvo de aluminio (%) vs Densidad (kg/m³) según Rana, et al.

Fuente: Elaboración propia.

Vikram, et al (2018).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland (PC) de uso general.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland tipo I de uso general, con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0.20%, 0.30%, 0.40% y 0.50%.

- Método de ensayo: Para determinar la densidad final del concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido en diferentes porcentajes se realizó el ensayo de densidad como se muestra en la Figura 23.
- En la siguiente Tabla 22 se observa los resultados obtenidos por el autor del ensayo de densidad evaluado para 6 mezclas de concreto y se analizó el comportamiento del polvo de aluminio fundido para determinar su óptimo porcentaje.

Tabla 22: Ensayo de densidad para un concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido para 6 muestras.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Promedio densidad (kg/m ³)
M-1	0.00	2594
M-2	0.10	2503
M-3	0.20	2427
M-4	0.30	2288
M-5	0.40	2204
M-6	0.50	2130

Fuente: Elaboración propia.

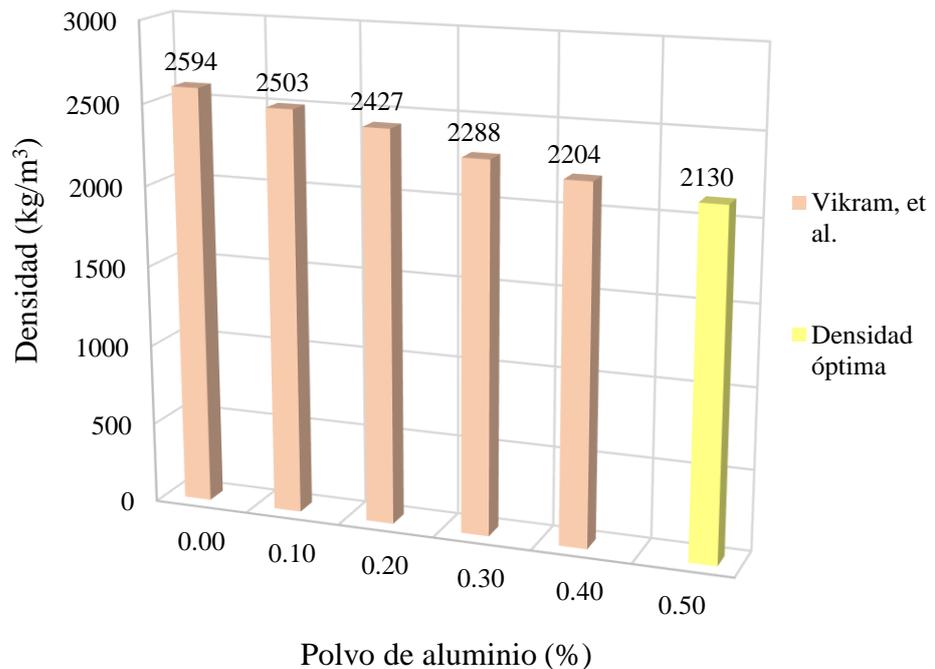


Figura 23: Polvo de aluminio (%) vs Densidad (kg/m³) según Vikram, et al.

Fuente: Elaboración propia.

Jinyoung, et al (2020).

- Tipo de cemento: En la investigación se usó un Cemento Portland ordinario (OPC) CEM I 42.5 R.
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de pasta de cemento, en la que se utilizó un Cemento Portland ordinario (OPC) CEM I 42.5 R, una relación de agua / cemento de 0.33 con adición de un porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0%, 0.05%, y 0.10%.
- Método de ensayo: Para determinar la densidad final del concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido donde se realizó el ensayo de densidad donde la densidad a cada que se aumentaba el polvo de aluminio fundido disminuía como se muestra en la Figura 24.
- En la siguiente Tabla 23 se observa los resultados obtenidos por el autor del ensayo de densidad evaluando para 3 mezclas de concreto y se analizó el comportamiento del polvo de aluminio fundido para determinar su óptimo porcentaje.

Tabla 23: Ensayo de resistencia a compresión con adición de polvo de aluminio fundido para 3 muestras recolectadas.

Mezclas N°.	Polvo de aluminio (%)	Promedio densidad (kg/m ³)
M-1	0.00	1859
M-2	0.05	1100
M-3	0.10	944

Fuente: Elaboración propia

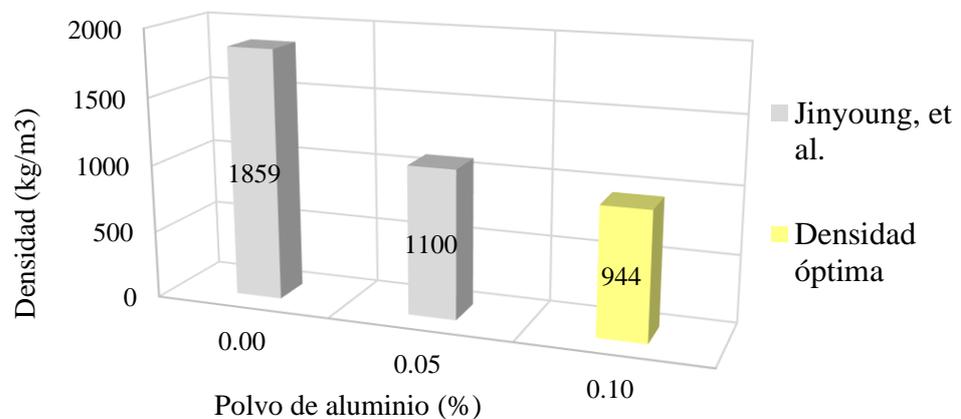


Figura 24: Polvo de aluminio (%) vs Densidad (kg/m³) según Jinyoung, et al.

Fuente: Elaboración propia

5.2 Contrastación de hipótesis

5.2.1 Contrastación de la primera hipótesis.

Hipótesis 1: Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido incrementa la porosidad de un concreto ligero.

Para analizar la influencia del polvo de aluminio fundido en el concreto ligero y posteriormente verificar su porcentaje de porosidad, se requieren los ensayos de otros resultados

- Hipótesis auxiliar:
 - H0: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido no se incrementa la porosidad.
 - H1: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido si se incrementa la porosidad.

En la Figura 25, se muestra los resultados de los porcentajes óptimos de polvo de aluminio fundido con respecto a la porosidad en relación a los autores consultados los cuales alcanzaron porosidades de 26%, 29% y 47%, que justifican la validez de la hipótesis, y a su vez reflejan un aumento de forma creciente directamente relacionado con la adición de polvo de aluminio fundido en el concreto ligero.

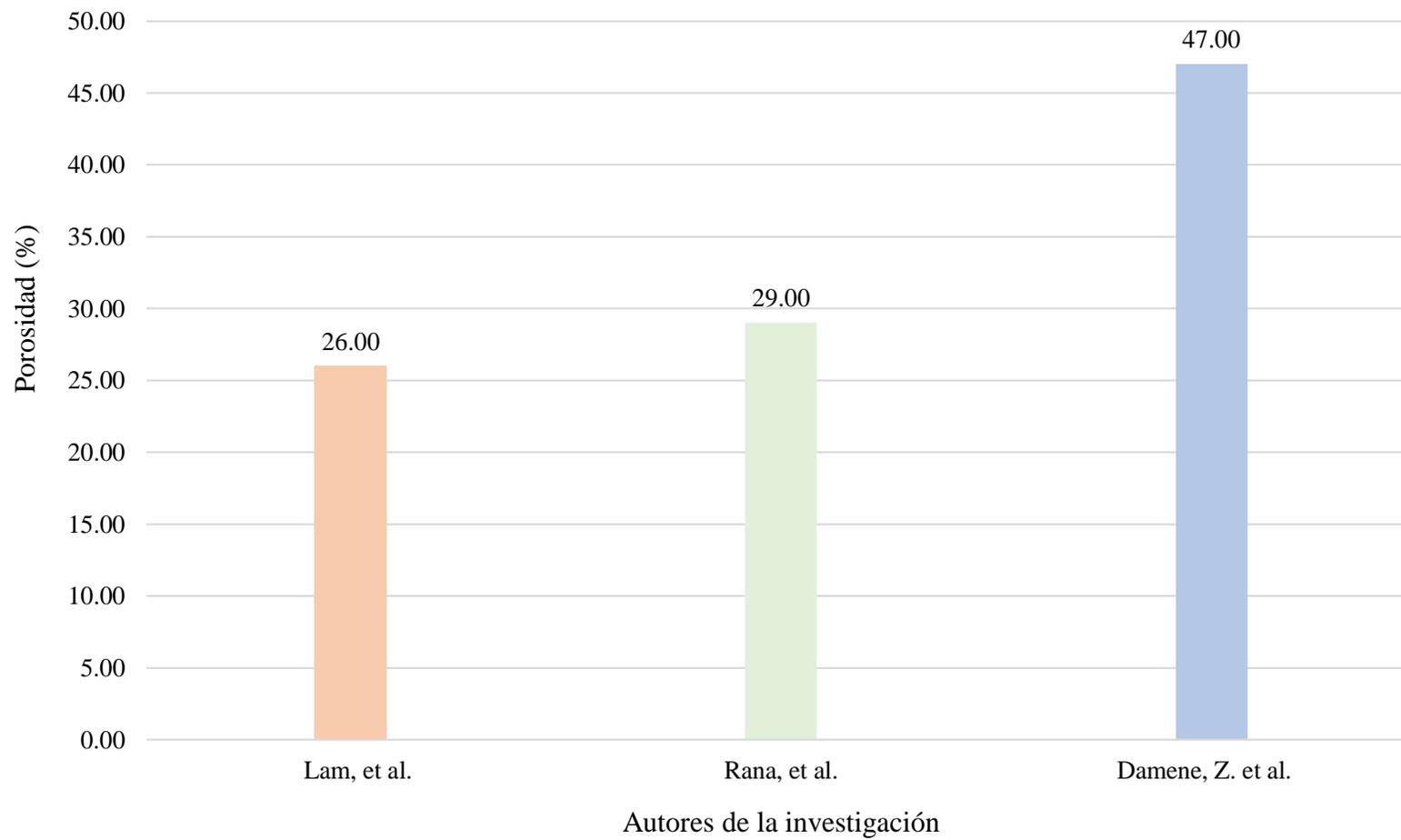


Figura 25: Gráfico del porcentaje de porosidad vs Los autores de distintas investigaciones en su estado óptimo.

Fuente: Elaboración propia.

Observación:

Según el autor Lam, et al. Las mezclas que contienen 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.00% de polvo de aluminio por peso de cemento aumenta la porosidad del concreto ligero. Siendo el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido, determinado de forma analítica con una confiabilidad de 99%, de 1.50% alcanzando una porosidad de 26%.

Según el autor Rana, et al. La porosidad aumenta significativamente de 10% a 26% cuando el contenido de polvo de aluminio incrementa de 0.00% a 1.00% debido a un mayor número de poros formados producto de la adición de este material. Siendo el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido, determinado de forma analítica con una confiabilidad de 96%, de 2.00% alcanzando una porosidad de 29%.

Según el autor Damene, et al. La porosidad aumenta significativamente, si bien es cierto se obtienen inicialmente porcentajes altos de porosidad como 28 % esto se debe al tipo de agregado utilizado en la elaboración del concreto ligero, sin embargo, se logra comprobar que incorporando polvo de aluminio en porcentajes de 0.20 a 0.60% este incrementa de 38% a 47% respectivamente. Siendo 47% el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido, determinado de forma analítica con una confiabilidad de 99% como se muestra en el Figura 6.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que se demuestra según las observaciones, que al determinar el óptimo porcentaje polvo de aluminio fundido si se incrementa la porosidad del concreto ligero.

5.2.2 Contratación de la segunda hipótesis.

Hipótesis 2: Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido incrementa la absorción de un concreto ligero.

Para analizar la influencia del polvo de aluminio fundido en el concreto ligero y posteriormente verificar su porcentaje de absorción, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones.

- Hipótesis auxiliar:
 - H0: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido no incrementa la absorción.
 - H1: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido si incrementa la absorción.

En la Figura 26, se muestra los resultados de los porcentajes óptimos de polvo de aluminio fundido con respecto a la absorción en relación a los autores consultados los cuales alcanzaron valores de absorción de 11%, 29% y 32%, que justifican la validez de la hipótesis, y a su vez reflejan un aumento de forma creciente directamente relacionado con la adición de polvo de aluminio fundido en el concreto ligero. Dando a notar que existe mayor cantidad de burbujas de aire, por lo tanto, mayor cantidad de poros en el concreto y por consiguiente absorbe más agua.

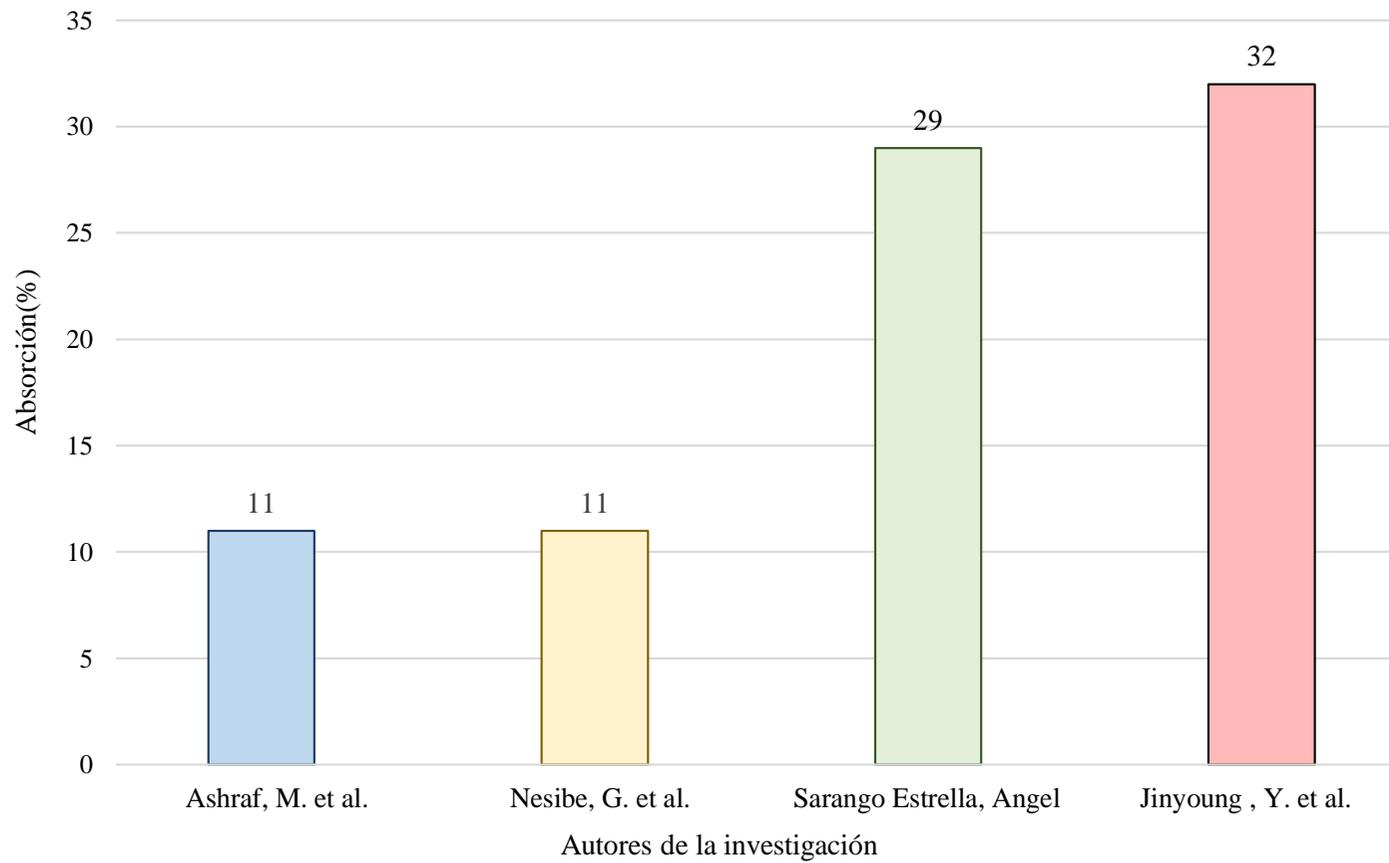


Figura 26: Gráfico del porcentaje de absorción (%) vs Los autores de distintas investigaciones en su estado óptimo.

Fuente: Elaboración propia.

Observación:

Respecto a los resultados del investigador Ashraf, et al. Demuestran que el polvo de aluminio mejora las propiedades físicas del concreto ligero en relación según los porcentajes añadidos 0%, 0.05%, 0.10%, 0.15%, teniendo en el último porcentaje una absorción de 11%. Siendo el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido, determinado de forma analítica con una confiabilidad de 99%.

Respecto a los resultados de los investigadores Nesibe, et al. Se demuestra que el incremento de polvo de aluminio da como resultado el aumento de los valores de absorción obteniendo 11% de absorción con 0.15% de polvo de aluminio fundido. Siendo el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido, determinado de forma analítica con una confiabilidad de 99%.

Respecto a los resultados del investigador Sarango et al. La adición de polvo de aluminio al 0.00%, 0.10%, 0.15% y 0.20% en este último porcentaje se tiene mayor capacidad de absorción dando a notar que existe mayor cantidad de burbujas de aire en el bloque. Siendo el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido, determinado de forma analítica con una confiabilidad de 100%, de 0.20% alcanzando una absorción de 29% como se muestra en la Figura 14.

Respecto a los resultados de los investigadores Jinyoung, et al. Se demuestra que al añadir polvo de aluminio en diferentes porcentajes desde 0.0%, 0.05% y 0.10% aumenta significativamente de 9% a 25%. Siendo el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido de 32%, determinado de forma analítica con una confiabilidad de 100%.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que se demuestra según las observaciones, que al determinar el óptimo porcentaje polvo de aluminio fundido si se incrementa la absorción del concreto ligero.

5.2.3 Contratación de la tercera hipótesis.

Hipótesis 3: Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido se incrementa la resistencia a la compresión de un concreto ligero. Para analizar la influencia del polvo de aluminio fundido en el concreto ligero y posteriormente verificar su resistencia a la compresión, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones.

- Hipótesis auxiliar:
 - H0: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido no se incrementa la resistencia a la compresión.
 - H1: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido si se incrementa la resistencia a la compresión.

En la Figura 27, se muestra los resultados de los porcentajes óptimos de polvo de aluminio fundido con respecto a la resistencia a la compresión en relación a los autores consultados, que justifican la validez de la hipótesis, los cuales alcanzaron resistencias de 110 kg/cm², 245 kg/cm², 256 kg/cm², 270 kg/cm² y 285 kg/cm² a los 28 días de curado.

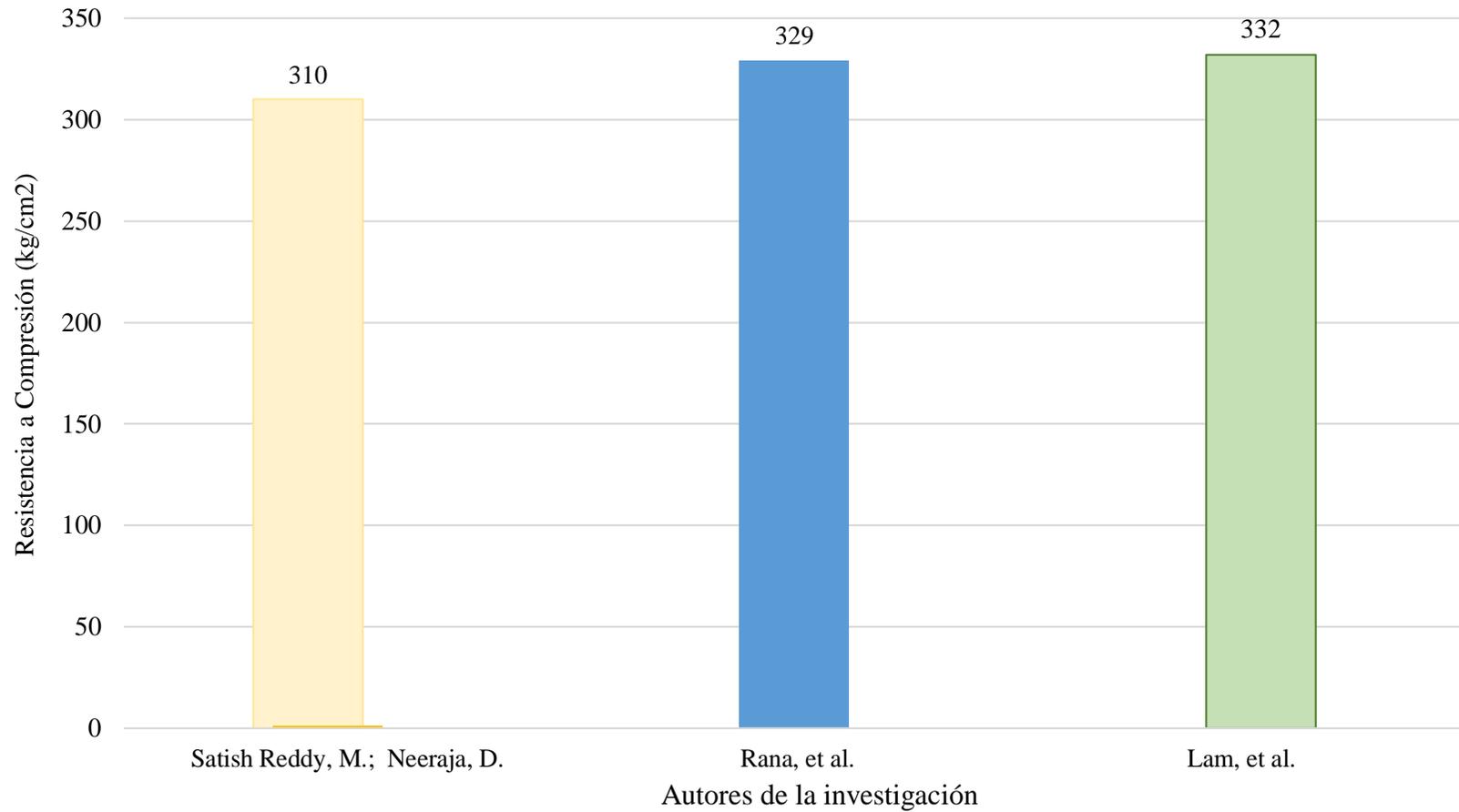


Figura 27: Gráfico de resistencia a compresión vs Los autores de distintas investigaciones en su estado óptimo.

Fuente: Elaboración propia.

Observación:

Según el autor Satish, et al. Muestra la variación de la resistencia de la compresión del concreto liviano incorporando polvo de aluminio fundido y demuestran que disminuye con la adición de este material. Siendo el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido, comparable con el concreto patrón, de 0.05% el cual alcanzó una resistencia a la compresión de 310 kg/cm² a los 28 días de curado.

Según el autor Rana, et al. La adición de polvo de aluminio fundido no contribuye a la resistencia a la compresión, ya que presenta resistencias menores en comparación con el control (concreto liviano sin adición) teniendo una resistencia más baja a los 28 días de 190 kg/cm² con 1.00% de adición. Siendo el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0.25% el cual alcanzó una resistencia a la compresión de 329 kg/cm² a los 28 días de curado.

Según el autor Lam, et al. Evidencian que en comparación del concreto liviano sin inclusión de polvo de aluminio y con los que fueron añadidos en porcentajes de 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.00% la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye de 537 kg/cm² inicialmente a 209 kg/cm². Siendo el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0.25% el cual alcanzó una resistencia a la compresión de 332 kg/cm² a los 28 días de curado.

Se rechaza la hipótesis alterna (H1) y se acepta la hipótesis nula (H0) ya que se demuestra según las observaciones, que al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido no incrementa la resistencia a compresión del concreto ligero.

5.2.4 Contratación de la cuarta hipótesis.

Hipótesis 4: Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido se reduce la densidad de un concreto ligero.

Para analizar la influencia del polvo de aluminio fundido en el concreto ligero y posteriormente verificar su densidad, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones.

- Hipótesis auxiliar:
 - H0: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido no se reduce la densidad.
 - H1: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido si se reduce la densidad.

En la Figura 28, se muestra los resultados de los porcentajes óptimos de polvo de aluminio fundido con respecto a la densidad en relación a los autores consultados, que justifican la validez de la hipótesis,

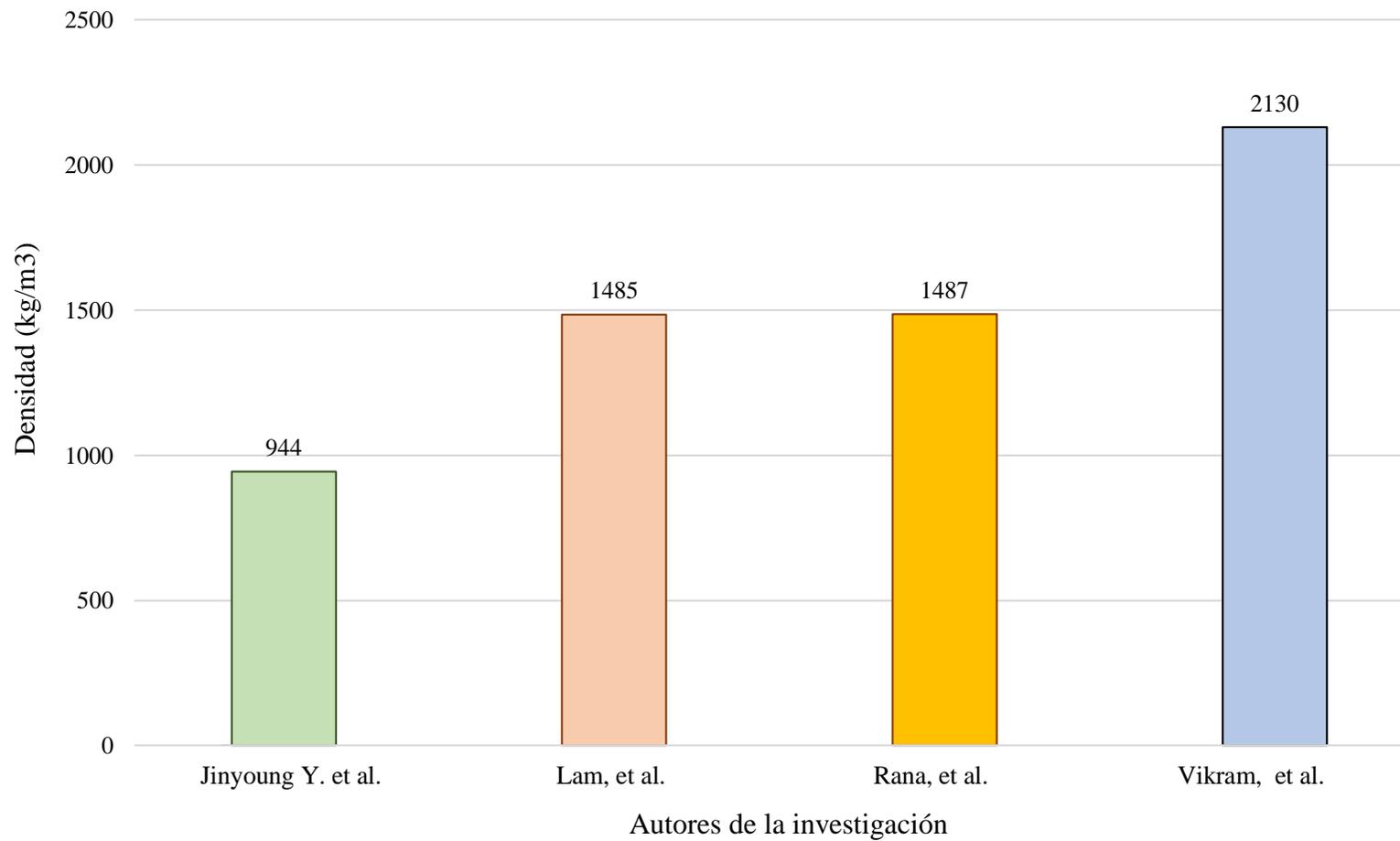


Figura 28: Gráfico de densidad vs Los autores de distintas investigaciones en su estado óptimo.

Fuente: Elaboración propia

Observación:

Según el autor Jinyoung, et al. Se demuestra que la densidad variaba, como se esperaba para los diferentes contenidos de polvo de aluminio fundido. Luego disminuyó gradualmente con el aumento del material. La densidad más baja se obtuvo con 0.10% de adición de polvo de aluminio que fue de 944 kg/m^3 siendo este resultado el óptimo.

Según el autor Lam, et al. Se demuestra que la inclusión de polvo de aluminio hasta 1% en peso de cemento disminuye la densidad promedio del concreto liviano. Las mezclas de hormigón que contienen 0,25%, 0,50%, 0,75% y 1.00% de polvo de aluminio por peso de cemento tienen una densidad en el rango de 1485 kg/m^3 hasta 2190 kg/m^3 , que puede considerarse como hormigón celular ligero de acuerdo con GOST 25820-2014 (estándar ruso). Siendo el primero la densidad óptima.

Según el autor Rana, et al. Se demuestra que la densidad variaba, como se esperaba para los diferentes contenidos de polvo de aluminio fundido (Al). Luego disminuyó gradualmente con el aumento del contenido de Al. La densidad más baja se obtuvo con 1% que fue de 1487 kg/m^3 siendo este resultado el óptimo.

Según el autor Vikram, et al. Se demuestra que la densidad variaba, como se esperaba para los diferentes contenidos de polvo de aluminio fundido. Luego disminuyó gradualmente con el aumento del material. La densidad más baja se obtuvo con 0.50% de adición de polvo de aluminio que fue de 2130 kg/m^3 siendo este resultado el óptimo.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que se demuestra según las observaciones, que el polvo de aluminio fundido reduce la densidad del concreto ligero.

DISCUSIÓN

Con la obtención de los artículos y las distintas tesis relacionadas con el tema de investigación de la presente tesis, se analizaron cada uno de ellos y se seleccionaron los 12 artículos que quedaron por sobre las demás investigaciones. En un primer grupo se presentan los artículos y tesis relacionadas a la porosidad, un segundo grupo relacionadas a la absorción y un tercer grupo relacionadas a la resistencia a la compresión y por último los relacionadas a la densidad, todos los grupos analizaron su influencia en las propiedades físicas y mecánicas del concreto ligero con adición de polvo de aluminio fundido.

Según los resultados de porosidad de los artículos que tienen como autores a Lam, et al (2019) y Rana, et al (2017). Se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis 1, la cual menciona que el polvo de aluminio fundido incrementa la porosidad del concreto ligero, según la Tabla 10 y Tabla 11 se presentan resultados correspondientes a los ensayos de porosidad, los cuales reflejan un aumento de forma creciente directamente relacionado con la adición de polvo de aluminio, teniendo un incremento de porosidad de 9% para el concreto control sin adiciones de polvo de aluminio hasta un 24 % con adición de 1.00% para la primera tabla. Por otro lado, para la segunda se obtienen resultados muy similares en cuanto al comportamiento que tiene el polvo de aluminio fundido en el concreto ligero, ya que comparten los mismos porcentajes en adición de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.00% teniendo en este último un porcentaje de porosidad de 24%. Cabe resaltar que los resultados si bien son similares corresponden a un diseño en particular cada uno.

Según los resultados de porosidad de los artículos que tienen como autores Damene, et al (2016). De acuerdo a la Tabla 12 presenta resultados más elevados en su porosidad por la adición de polvo de aluminio este se debe principalmente al tipo de agregado que contiene el concreto ligero, ya que dentro de su composición propone el uso de arenas de dunas del sur de Argelia; sin embargo se pudo comprobar el mismo comportamiento de incremento de porosidad con adición en diferentes porcentajes de polvo de aluminio teniendo en el concreto control una porosidad inicial de 28% y finalmente con adición de 0.6% de polvo de aluminio una porosidad de 47% , lo cual para fines de esta investigación es aceptable.

Según los resultados de absorción de los artículos que tienen como autores Ashraf, et al (2015) y Nesibe, et al (2014). Se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis 2, la cual menciona que al determinar el porcentaje de polvo de aluminio fundido si se incrementa la absorción de un concreto ligero. Los resultados de la Tabla 13 complementan la veracidad de esta hipótesis en ella se obtiene diferentes porcentajes de absorción teniendo inicialmente con 0% de adición de polvo de aluminio un 8% de absorción y finalmente con 0.15% de adición una absorción de 11%. Por otro lado, en los resultados de la Tabla 14 se obtiene el mismo comportamiento de incremento de porcentaje de absorción teniendo inicialmente con 0% de adición de polvo de aluminio un 8% de absorción y finalmente con 0.15% de adición una absorción de 11%. Cabe resaltar que los resultados si bien son similares corresponden a un diseño en particular cada uno.

Según los resultados de absorción de los artículos que tienen como autores a Jinyoung, et al (2020) y Sarango, et al (2017). Se pudo contrastar el incremento de la absorción en el concreto ligero debido al aumento de polvo de aluminio en la mezcla, los resultados de las Tablas 15 y 16 respaldan la hipótesis teniendo en la primera tabla una absorción de 9% en el concreto ligero sin adición de ningún material y finalmente para un 0.20% de adición de polvo de aluminio un 32% de absorción siendo este el valor óptimo. En el segundo artículo, se obtiene inicialmente una absorción de 16% en el concreto patrón con 0.0% de adición de polvo de aluminio y finalmente para un 0.20% de adición de polvo de aluminio un 29% de absorción siendo este el valor óptimo, con lo cual se vuelve a comprobar el mismo comportamiento que sufre el concreto ligero con la adición de polvo de aluminio para esta propiedad física. Cabe resaltar que los resultados corresponden a un diseño en particular cada uno.

Según los resultados de resistencia a la compresión de los artículos que tienen como autores a Satish, et al (2016) y Lam, et al (2019). Se niega la Hipótesis 3, la cual menciona que al determinar el porcentaje de polvo de aluminio fundido incrementa la resistencia a la compresión. Como se muestran en las diferentes tablas que sustentan esta hipótesis a mayor número de días de curado los especímenes obtienen mayores resistencias, por ello tomaremos como referencia los ensayos a los 28 días de curado, ya que en ese periodo obtienen resistencias finales. Sin embargo, al añadir polvo de aluminio al concreto ligero este sufre una pérdida de resistencia a compresión. La Tabla 17 presenta resultados de resistencias a compresión evaluados a los 28 días de curado con porcentajes de polvo de

aluminio de 0, 0.05, 0.10, 0.15 0.20 y 0.30 % teniendo como resultado resistencias a la compresión a los 28 días de 328, 310, 291, 277, 273 y 231 kg/cm² respectivamente. La Tabla 18. Presenta resultados de resistencias a compresión evaluados a los 7, 14 y 28 días de curado con porcentajes de polvo de aluminio de 0, 0.25, 0.5, 0.75 y 1.00% y teniendo como resultado resistencias a la compresión a los 28 días de 537, 332, 268, 243 y 209 kg/cm² respectivamente, lo cual demuestra que el incremento de polvo de aluminio reduce la resistencia a compresión del concreto ligero. Cabe resaltar que los resultados si bien son similares corresponden a un diseño en particular cada uno.

Según los resultados de resistencia a la compresión de los artículos que tienen como autores a Rana, et al (2017) Los ensayos de la Tabla 19 presenta resultados de resistencias a compresión evaluados a los 28 días de curado con porcentajes de polvo de aluminio de 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.00% teniendo como resultado resistencias a la compresión a los 28 días de 540, 329, 265, 239 y 190 kg/cm² respectivamente, lo cual demuestra que el incremento de polvo de aluminio reduce la resistencia a compresión del concreto ligero. Los resultados corresponden a un diseño en particular.

Según los resultados de densidad de los artículos que tienen como autores a Lam, et al (2019) y Rana, et al (2017). Se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis 4, la cual menciona que al determinar el porcentaje de polvo de aluminio fundido se reduce la densidad de un concreto ligero. La Tabla 20 muestra los resultados de los especímenes que fueron sometidos a dicho ensayo teniendo así densidades de 2190, 1840, 1780, 1705 y 1485 kg/m³ para porcentajes de adición de polvo de aluminio de 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.00% respectivamente, con lo cual se demuestra la veracidad de la hipótesis obteniendo densidades cada vez menores con forme se vaya añadiendo polvo de aluminio a la mezcla del concreto ligero. La Tabla 21 muestra los resultados de densidades del concreto ligero los cuales fueron 2102, 1841, 1785, 1725 y 1487 kg/m³ para porcentajes de adición de polvo de aluminio de 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.00% respectivamente. Cabe resaltar que los resultados si bien son similares corresponden a un diseño en particular cada uno.

Según los resultados de densidad de los artículos que tienen como autores Vikram, et al (2018) y Jinyoung, et al (2020). Comprueban lo expuesto en la hipótesis de reducción de densidad la Tabla 22 muestra los resultados de las muestras a los cuales se les añadió 0.00, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 y 0.50% de polvo de aluminio obteniendo densidades de 2594, 2503, 2427, 2288, 2204 y 2130 kg/m³. La Tabla 23 muestra los resultados de densidades

del concreto ligero los cuales fueron 1859, 1100 y 944 kg/m³ para porcentajes de adición de polvo de aluminio de 0.00, 0.05, 0.10 % respectivamente. Cabe resaltar que los resultados si bien son similares corresponden a un diseño en particular cada uno.

CONCLUSIONES

1. Los resultados que se obtuvieron de manera analítica con altos porcentajes de confiabilidad entre 96% a 100%, a partir de las investigaciones consultadas, concluyeron que el polvo de aluminio fundido mejora las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero. Se obtuvieron porcentajes óptimos en un rango de 0.60% a 1.50% de polvo de aluminio fundido con porosidades de 47% a 26%. Porcentajes óptimos de 0.15% a 0.20% de polvo de aluminio fundido para absorción de 11.00% a 32.00%. Se determinó porcentajes óptimos de 0.05% a 0.25% de polvo de aluminio fundido que alcanzaron resistencias a compresión de 310 kg/cm² a 332 kg/cm² a los 28 días de curado. Se determinó las densidades más bajas de 944 kg/m³ a 2130 kg/m³ con los porcentajes de 0.10% a 1.00% de polvo de aluminio fundido siendo estos los óptimos.
2. De acuerdo a los resultados de la Figura 25, se obtuvo el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido de 1.50% para una porosidad de 29%, con una confiabilidad del 96%. También se obtuvo porosidades más elevadas con un menor porcentaje óptimo de polvo de aluminio fundido los cuales fueron de 0.60% y 47% respectivamente con una confiabilidad del 99%, esto se debe principalmente a que en este último se utilizó diferente tipo de agregado en su composición. Con lo cual, se concluye que la incorporación de polvo de aluminio fundido en el concreto ligero se le considera un incorporador de aire teniendo en cuenta que este tipo de concreto ya es poroso en condiciones iniciales, se observa que el polvo de aluminio genera aire, en otras palabras el aire que genera la adición también es considerado un poro añadido, por ello cuando se aumenta más porcentaje de polvo de aluminio va a aumentar la porosidad teniendo como resultado final un material más ligero.
3. De acuerdo a los resultados de la Figura 26 se obtuvo un óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0.20% para una absorción a los 28 días de 32%, con una confiabilidad del 100% en el concreto ligero. Dando a notar que existe mayor cantidad de burbujas de aire en dicho concreto, con lo cual se concluye que esta propiedad física está ligado a la porosidad, dicha relación es directamente proporcional, ya que al obtener mayor cantidad de poros el concreto va a absorber más agua.

4. De acuerdo a los resultados de la Figura 27 se obtuvo un óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido de 0.25% por lo que a los 28 días de curado el concreto ligero alcanza una resistencia a la compresión de 332 kg/cm², logrando superar en resistencia a un concreto convencional. Sin embargo, se concluye que conforme se va añadiendo polvo de aluminio en diferentes porcentajes la resistencia a compresión comienza a reducirse.
5. De acuerdo a los resultados de la Figura 28 se obtuvo un óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido en un 0.10% que alcanza una densidad de 944 kg/m³. Con lo cual, se concluye que al adicionar polvo de aluminio fundido la densidad comienza a reducirse, ya que el concreto presenta burbujas de aire adecuadas para generar un concreto ligero de menor densidad.

RECOMENDACIONES

1. El polvo de aluminio fundido incrementó la porosidad del concreto comportándose como un aditivo incorporador de aire, por lo cual no se debe exceder la dosificación de este material de 2.00% si se busca obtener porcentajes óptimos en la porosidad de dicho concreto, caso contrario la porosidad comenzará a reducirse.
2. El polvo de aluminio fundido incrementó la absorción del concreto ligero debido a la presencia de burbujas de aire en su interior, por lo cual el concreto no debe exceder la dosificación de este material de 0.35% si se busca obtener porcentajes óptimos en la porosidad en este tipo de concreto, de lo contrario se altera la mejora en esta propiedad física.
3. No se debe exceder la dosificación de polvo de aluminio fundido de 0.25% si se busca obtener porcentajes óptimos en la resistencia a compresión para que sea comparable con una resistencia convencional de 210 kg/cm², para un posible uso en elementos estructurales, caso contrario la resistencia comenzará a reducirse.
4. No se debe exceder el porcentaje de 0.10% de este material para que su densidad sea comparable con una convencional de 2400 kg/cm³, caso contrario la densidad seguirá reduciéndose obteniendo un material cada vez más liviano.
5. Debido al contexto actual, post COVID-19, no se pudo realizar una tesis de carácter experimental, sin embargo, se deja antecedente por lo que en un futuro se podría investigar este tema a mayor profundidad en un contexto de la normalidad y de grado académico de maestría. Es importante ensayar las muestras en un laboratorio y en base a ellos analizar los resultados, por consiguiente, es necesario seguir investigando las características y propiedades del polvo de aluminio fundido e incorporar aditivos superplastificantes para mejorar la consistencia y trabajabilidad del concreto ligero. Así como también realizar estudios con otros tipos de residuos minerales o metalúrgicos ya sea en forma granulada o cristalizada como cobre, zinc, hierro, estaño, entre otras escorias e incorporados al concreto ligero como adición o sustitución parcial del cemento u otros agregados para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulkarem, M., & Rasool, D. &. (2019). *Utilization of Olive and Pumice Stones to Improve the Thermal Properties of Cement Mortar*. Obtenido de <https://ijneam.unimap.edu.my/index.php/vol-13-no-1-jan-2020>.
- Athanasia , S., & Michael, G. (2020). Utilization of Quarry Dust and Calcareous Fly Ash for the Production of Lightweight Cellular Micro-Concrete—Synthesis and Characterization. *Buildings*, 10(214), 1-17. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/buildings10120214>
- Aymet. (23 de Setiembre de 2020). *aymet.com.ar*. Obtenido de [aymet.com.ar](https://aymet.com.ar/polvo-aluminio/): <https://aymet.com.ar/polvo-aluminio/>
- Baquero Sanabria , B. A., Guiza Galeano, R. A., & Garcia Marin , F. M. (2019). *Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pomez como agregados en la produccion de concretos ligeros* . Obtenido de [redaly.org](https://www.redalyc.org/journal/852/85263724005/): <https://www.redalyc.org/journal/852/85263724005/>
- Boggino, & Rosekrans. (2004). Investigación-acción: Reflexión crítica. *Homo Sapiens.*, 50-62.
- Cabrera, M. I. (2015). Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana, clasificados por sectores: vivienda, electricidad,gas/petróleo, salud y educación. *Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática*, 20-21.
- Caicedo, W., & Tipán, F. (2019). Propiedades mecánicas del hormigón estructural ligero y celular, utilizando materiales. (*trabajo para la obtención del título de Ingeniero Civil*). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Calle Zelaya, P. R. (2019). *Analisis y diagnostico del Polvo de Aluminio sobre el Asentamiento en un concreto ligero en la Provincia de Huaura*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.
- Canahua, S. F. (2014). Los beneficios del concreto celular. *CIV noemateriales*, 36-37.
- Cívicos, A., & Hernández, M. (2007). *Algunas reflexiones y aportaciones en torno a los enfoques teóricos y prácticos de la investigación en trabajo social*. Revista Acciones e investigaciones.
- Damene, Z., Goual, M., Houessou, J., Dheilily, R., Goullieux, A., & Quéneudec, M. (2016). The use of southern Algeria dune sand in cellular lightweight concrete manufacturing: effect of lime and aluminium content on porosity, compressive

- strength and thermal conductivity of elaborated materials. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 25(11), 1-18.
doi:<http://dx.doi.org/10.1080/19648189.2016.1256233>
- García, J. (2020). Evaluación de las propiedades físicas y. (*Trabajo de investigación para optar el título de Ingeniero Civil*). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto adicionando viruta de aluminio secundario, Lambayeque, 2020, Lambayeque.
- García, J. O. (1983). *Concreto Armado I*. Piura, Perú: Compartidos por Billyc.
- Guzmán, D. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Santafé de Bogotá, Colombia: Biblioteca de la Construcción.
- Guzman, J., Navarro, J., & Garcia, L. &. (2020). "*Comportamiento térmico en mezclas de cal hidratada, ceniza* . Obtenido de <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/>.
- Hernandez Medina , J. A., Osorio Vagner , S. S., & Cogollo Diaz, C. A. (2015). *Caracterizacion de agregado fino tipo piedra pomez para su uso en concretos estructurales* . Obtenido de Universidad La Gran Colombia : <http://hdl.handle.net/11396/3530>
- Hiroki, H. y. (2015). *ScienceDirect*. Obtenido de Enhancing the Performance of Porous Concrete by Utilizing the Pumice Aggregate: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.116>
- Javali, S., Chandrashekar, A., Naganna, S., Manu, D., Hiremath, P., Preethi, H., & Kumar, N. (2017). Eco-concrete for sustainability: utilizing aluminium dross and iron slag as partial replacement materials. (2304, Ed.) *Springer Nature B.V.*, 19(9), 2291. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10098-017-1419-9>
- Jinyoung, Y., Hyunjun, K., Sung-Han, S., & Sukhoon, P. (2020). Characterization of Porous Cementitious Materials Using Microscopic Image Processing and X-ray CT Analysis. *Characterization of Porous Cementitious Materials Using Microscopic Image Processing and X-ray CT Analysis*, 13(3105), 1-16. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/ma13143105>
- Karatas, M., Benli, A., & Ergin, A. (2017). *Influence of ground pumice powder on the mechanical properties and durability of self - compacting mortars* . Obtenido de ELSEVIER: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.220>
- Lopez, E. R. (1992). *Diseño de mezclas*. Miraflores, Lima, Perú: Hozlo S.CR.L.
- Matamoros. (2019). "*INFLUENCIA DE PIEDRA PÓMEZ EN LA ELABORACIÓN DE UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL DE F'C = 175 KG/CM2*

- UTILIZANDO MATERIAL DE REGIÓN DE HUANCVELICA*". Obtenido de Universidad Nacional de Huancavelica : <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2973>
- Norma Técnica Peruana 334.009. (11 de Diciembre de 2020). Cementos. *Cemento Pórtland - Requisitos*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Norma Técnica Peruana 334.090. (11 de Diciembre de 2020). Cementos. *Cementos hidráulicos adicionados. Requisitos*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Okta, H. A. (2015). *Mechanical and thermophysical properties of lightweight aggregate concretes*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815302324>.
- Ozerkan, N., Maki, O., Anayeh, M., Tangen, S., & Aboubakr, A. (2014). The Effect of Aluminium Dross on Mechanical and Corrosion Properties of Concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(3), 9912-9922. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobte.2020.101617>
- Palomino Alvarado , K. A. (2016). *Hormigones de baja densidad ,pero de alta resistencia para aligerar la carga muerta de las estructuras de hormigon armado* . Obtenido de Universidad de Guayaquil: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/14939/1/PALOMINO_KLEBER_T_RABAJOTITULACI%c3%92N_ESTRUCTURAS_2016.pdf
- Radwa , A., Ashraf, H., & Fawkia , F. (2015). Physical and mechanical properties of concrete incorporating industrial and agricultural textile wastes. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(7), 166-176. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/280720977>
- Rincón, M., & Barreto, Z. (2019). Caracterización de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto hidráulico con sustitución parcial de agregado ligero. (*Tesis para optar el título profesional*). Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Sarango, A. (2017). Comparación y elaboración de un bloque celular mediante la adición de polvo de aluminio y peróxido de hidrógeno con un bloque convencional. *Trabajo experimental previo a la obtención del título de ingeniero civil*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26834>

- Satish , M., & Neeraja, D. (2016). Mechanical and durability aspects of concrete incorporating aluminum slag. *Resource-Efficient Technologies*, 2(4), 225-232. doi:<https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.10.012>
- Shabbar, R., Nedwell, P., & Wu, Z. (2017). Mechanical properties of lightweight aerated concrete with different aluminium powder content. *EDP Sciences*, 1-7.
- Steven H. Kosmatka, B. K. (2004). *Diseño y Control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois, Estados Unidos.: Portland Cement Association.
- Tang Van, L., Dien Vu, K., Hung Ngo, X., Tho Vu, D., Bulgakov, B., & Bazhenova, S. (2019). Effect of Aluminium Powder on Light-weight Aerated Concrete Properties. *E3S Web of Conferences*, 1-11.
- Velarde Rubio, A. R. (2017). *Evaluación del Polvo de Aluminio Fundido sobre el Asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, Trujillo 2017*. Repositorio de la Universidad Peruana del Norte, Trujillo, Peru. Obtenido de Evaluación del Polvo de Aluminio Fundido sobre el Asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, Trujillo 2017: <https://hdl.handle.net/11537/12744>
- Velarde, A. (2017). Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, Trujillo-2017. (*Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil*). Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Vikram , K., Akshay , G., & Abhijit, P. (2018). Green Concrete using Plastic Waste. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 19(4), 214-216. doi:10.14445/22315381/IJETT-V19P237
- Villalobos Ferreira Roberto, C. V. (2016). Concreto Ligero. *Revista de divulgación científica*, 2-3.
- Yoc, J. (2018). Fabricación y evaluación experimental de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada. (*Trabajo de investigación para optar el título de Ingeniero Civil*). Universidad Samn Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Zeyad, A. M., Khan, A. H., & Tayeh, B. A. (2019). *Durability and strength characteristics of high - strength concrete incorporated with volcanic pumie powder and polypropylene fibers*. Obtenido de ELSEVIER: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.021>
- Zúñiga, J. P. (2012). *El Maestro de Obra*. Lima, Perú: SENCICO.

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR INDEPENDIENTE
a) ¿De qué manera el polvo de aluminio fundido influye en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero?	a) Determinar el polvo de aluminio fundido para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero.	a) Al determinar el polvo de aluminio fundido se mejoran las propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero.	Polvo de aluminio fundido	Porcentaje de polvo de aluminio fundido
PROBLEMA ESPECIFÍCOS	OBJETIVO ESPECIFÍCOS	HIPÓTESIS ESPECIFÍCOS	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES DEPENDIENTES
a) ¿Cuál es el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido que influye en la porosidad de un concreto ligero?	a) Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la porosidad de un concreto ligero.	a) Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido mejora la porosidad de un concreto ligero.	Propiedades físicas y mecánicas de un concreto ligero	Porosidad
b) ¿Cuál es el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido que influye en la absorción del agua de la mezcla de un concreto ligero?	b) Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la absorción del agua de la mezcla de un concreto ligero.	b) Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido se mejora la absorción del agua de la mezcla de un concreto ligero.		Absorción

c) ¿Cuál es el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido que influye resistencia a la compresión de un concreto ligero?	c) Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la resistencia a compresión de un concreto ligero.	c) Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido se incrementa la resistencia a la compresión de un concreto ligero.	Resistencia a la compresión
d) ¿Cuál es el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido que influye en la densidad de un concreto ligero?	d) Determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido para reducir la densidad de un concreto ligero.	d) Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido se reduce la densidad de un concreto ligero.	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2 Matriz de revisión bibliográfica

Fuente	Autor	Título	Cita Bibliográfica
1	Shriraksha Javali; A. R. Chandrashekar; Sujay Raghavendra Naganna; D. S. Manu; Parameshwar Hiremath; H. G. Preethi; N. Vinod Kumar	Eco-concrete for sustainability: utilizing aluminium dross and iron slag as partial replacement materials	Javali, S.; Chandrashekar A. R., Raghavendra, S., Manu, D. S., Hiremath, P., Preethi, H. G., y Vinod, N. (2017). Eco-concrete for sustainability: utilizing aluminium dross and iron slag as partial replacement materials. <i>Springer Nature B.V.</i> , 19(9),2291–2304
2	M. Satish Reddy y D. Neeraja	Mechanical and durability aspects of concrete incorporating aluminum slag	Satish, M. y Neeraja, D. (2016). Mechanical and durability aspects of concrete incorporating secondary aluminium slag. <i>Resource-Efficient Technologies</i> , 2(4), 225-232
3	María Rincón, Zully Barreto	Caracterización de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto hidráulico con sustitución parcial de agregado ligero	Rincón, M., y Barreto, Z. (2019). Caracterización de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto hidráulico con sustitución parcial de agregado ligero. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
4	Wilson Caicedo, Flavio Tipán	Propiedades mecánicas del hormigón estructural ligero y celular, utilizando materiales de diferentes canteras en la ciudad de Quito	Caicedo, W., y Tipán, F. (2019). Propiedades mecánicas del hormigón estructural ligero y celular, utilizando materiales de diferentes canteras en la ciudad de Quito. (Tesis para obtención del título de Ingeniero Civil). Universidad Central del Ecuador, Quito.

5	Yoc Chamalé, Jimmy A.	Fabricación y evaluación experimental de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada	Yoc, J. (2018). Fabricación y evaluación experimental de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada. (Tesis para optar el título para ingeniero civil). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
6	Juan García, Sócrates Muñoz	Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto adicionando viruta de aluminio secundario, Lambayeque, 2020.	García, J. (2020). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto adicionando viruta de aluminio secundario, Lambayeque, 2020. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil). Universidad Señor de Sipán, Pimentel.
7	Percy Calle Zelaya	Análisis y diagnóstico del polvo de aluminio sobre el asentamiento en un concreto ligero en la provincia de Huaura - 2018	Calle, P. (2019). Análisis y diagnóstico del polvo de aluminio sobre el asentamiento en un concreto ligero en la provincia de Huaura - 2018. (Tesis para optar el Título profesional). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho.
8	Alfredo Velarde Rubio	Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, Trujillo - 2017.	Velarde, A. (2017). Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, Trujillo - 2017. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Privada del Norte, Trujillo.
9	Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi	Diseño y Control de mezclas de concreto	Steven H. Kosmatka, B. K. (2004). Diseño y Control de mezclas de concreto. Skokie, Illinois, Estados Unidos.: Portland Cement Association.

10	Rivva, L., Enrique	Diseño de mezclas	Lopez, E. R. (1992). Diseño de mezclas. Miraflores, Lima, Perú: Hozlo S.CR.L.
11	Pacheco, Zúñiga, Julio	El Maestro de Obra.	Zúñiga, J. P. (2012). El Maestro de Obra. Lima, Perú: SENCICO.
12	Sánchez de G., Diego	Tecnología del concreto y del mortero	Guzmán, D. S. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Santafé de Bogotá, Colombia: Biblioteca de la Construcción.
13	Yiquan Liu, Bo Siang Leong, Zhong-Ting Hu, En-Hua Yang	Autoclaved aerated concrete incorporating waste aluminum dust as foaming agent	Yiquan, L., Bo, S., Zhong, T. y Yang, E. (2017). Autoclaved aerated concrete incorporating waste aluminum dust as foaming agent. <i>Construction and Building Materials</i> 148(2017), 140-147
14	M. Kalpana, S. Mohith	A study on compressive behavior of AAC added with industrial waste	Kalpana, M. y Mohith, S. (2019). A study on compressive behavior of AAC added with industrial waste. <i>Construction and Building Materials. Materials Today: Proceedings</i> , 22(3), 1043-1046

15	Lam Tang Van, Dien Vu Kim, Hung Ngo Xuan, Tho Vu Dinh, Boris Bulgakov y Sophia Bazhenova	Effect of Aluminium Powder on Light-weight Aerated Concrete Properties	Tang, L., Vu, D., Ngo, H., Vu, T., Bulgakov, B. y Bazhenova, S. (2019). Effect of Aluminium Powder on Light-weight Aerated Concrete Properties. <i>E3S Web of Conferences</i> , 97(2005),1-10
16	Rana Shabbar, Paul Nedwell y Zhangjian Wu	Mechanical properties of lightweight aerated concrete with different aluminium powder content	Shabbar, R., Nedwell, P. y Wu, Z. (2017). Mechanical properties of lightweight aerated concrete with different aluminium powder content. <i>EDP Sciences</i> , 120(2017),
17	Angel Sarango Estrella	Comparación y elaboración de un bloque celular mediante la adición de polvo de aluminio y peróxido de hidrógeno con un bloque convencional	Sarango, A. (2017). Comparación y elaboración de un bloque celular mediante la adición de polvo de aluminio y peróxido de hidrógeno con un bloque convencional. (Trabajo experimental previo a la obtención del título de ingeniero civil). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
18	Cabrera, María Inés	Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana, clasificados por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación	Cabrera, M. I. (2015). Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana, clasificados por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación. Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, 1(1), 15-30.
19	Chura C., Sthefany	Los beneficios del concreto celular	Canahua, S. F. (2014). Los beneficios del concreto celular. <i>CIV noemateriales</i> , 1(5), 36-37.

20	García O., Juan	Concreto Armado I.	García, J. O. (1983). Concreto Armado I. Piura, Perú: Compartidos por Billyc.
21	Villalobos Ferreira Roberto, C. V.	Concreto Ligero.	Villalobos Ferreira Roberto, C. V. (2016). Concreto Ligero. Revista de divulgación científica, 2(1), 1374-1377.
22	Vikram Kathe, Akshay Gangurde, Abhijit Pawar	Green Concrete using Plastic Waste	Vikram, K., Gangurde, A., Pawar, A. (2015). Green Concrete using Plastic Waste. <i>International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)</i> , 19(4), 214-216.
23	Ashraf Mohamed Heniegal, Fawkia Fahim, Radwa Defalla Abdel	Physical and mechanical properties of concrete incorporating industrial and agricultural textile wastes	Radwa, A. Fawkia, F. y Ashraf, H. (2015). Physical and mechanical properties of concrete incorporating industrial and agricultural textile wastes. <i>IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology</i> . 4(7), 166-176.
24	Nesibe Gozde Ozerkan, Omar Liqaa Maki, Momen Wael Anayeh, Stian Tangen, Aboubakr M. Aboubakr	The Effect of Aluminium Dross on Mechanical and Corrosion Properties of Concrete	Ozerkan, N., Liqaa, O., Momen, A., Tangen, S. y Abdullah, A. (2014). The Effect of Aluminium Dross on Mechanical and Corrosion Properties of Concrete. <i>International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology</i> , 3 (3), 9912-9922

25	Fabio Rosso, Vitor de Souza Nandi, Alexander Zaccaron, Oscar Rubem Klegues Montedo, Rui Miguel Teixeira Novais, João António Labrincha Batista	Desenvolvimento de bloco celular cerâmico usando pó de alumínio como agente gerador de poros	Rosso, F., Souza, V., Zaccaron, A., Klegues, O., Teixeira, R. y Labrincha, J. (2018). Desenvolvimento de bloco celular cerâmico usando pó de alumínio como agente gerador de poros. <i>Tech. Metal. Mater. Miner.</i> , 15 (4), 377-383
26	Jinyoung Yoon, Hyunjun Kim, Sung-Han Sim y Sukhoon Pyo	Characterization of Porous Cementitious Materials Using Microscopic Image Processing and X-ray CT Analysis	Yoon, J., Kim, H., Sung-Han, S. y Sukhoon, P. (2020). Characterization of Porous Cementitious Materials Using Microscopic Image Processing and X-ray CT Analysis. <i>Materials</i> , 13 (3105), 2-16
27	Athanasia Soultana y Michael Galetakis	Utilization of Quarry Dust and Calcareous Fly Ash for the Production of Lightweight Cellular Micro-Concrete—Synthesis and Characterization	Soultana, A. y Galetakis, M. (2020). Utilization of Quarry Dust and Calcareous Fly Ash for the Production of Lightweight Cellular Micro-Concrete—Synthesis and Characterization. <i>Buildings</i> , 10 (214), 1-17
28	Abyzov, V.A.	Refractory Cellular Concrete Based on Phosphate Binder from Waste of Production and Recycling of Aluminum	Abyzov, V.A. (2017). Refractory Cellular Concrete Based on Phosphate Binder from Waste of Production and Recycling of Aluminum. <i>Procedia Engineering</i> , 206 (2017), 783–789
29	Viacheslav Markin, Venkatesh Naidu Nerella, Christof Schröfl, Gyunay Guseynova y Viktor Mechtcherine	Material Design and Performance Evaluation of Foam Concrete for Digital Fabrication	Viacheslav, M., Naidu, V., Schröfl, C., Guseynova, G. y Mechtcherine, V. (2019). Material Design and Performance Evaluation of Foam Concrete for Digital Fabrication. <i>Materials</i> , 12 (2433), 1-20

30	Ying-Liang Chen Y Chun-Ta Lin	Recycling of Basic Oxygen Furnace Slag as a Raw Material for Autoclaved Aerated Concrete Production	Ying-Liang, C. y Chun-Ta, L. (2020). Recycling of Basic Oxygen Furnace Slag as a Raw Material for Autoclaved Aerated Concrete Production. Sustainability, 12 (5896), 1-13
31	Lam, N.	Influence of Fly Ash and Recycled AAC Waste for Replacement of Natural Sand in Manufacture of Autoclaved Aerated Concrete	Lam, N. (2020). Influence of Fly Ash and Recycled AAC Waste for Replacement of Natural Sand in Manufacture of Autoclaved Aerated Concrete. Hindawi. IOP Publishing, 505 (2020), 1-9.
32	Oday H. Hussein, Susan A. Bernal, Ju-Hyung Ha, John L. Provis.	Bubble stabilisation improves strength of lightweight mortars	Hussein, O., Bernal, S., Ha y Provis, J. (2015). La estabilización de burbujas mejora la resistencia de los morteros ligeros.
33	Z. Damene, MS Goual, J. Houessou, RM Dheilily, A. Goullieux y M. Quéneudec	El uso de arena de dunas del sur de Argelia en la fabricación de hormigón celular ligero: efecto del contenido de cal y aluminio sobre la porosidad, la resistencia a la compresión y la conductividad térmica de los materiales elaborados	Z. Damene, MS Goual, J. Houessou, RM Dheilily, A. Goullieux & M. Quéneudec (2016): El uso de arena de dunas del sur de Argelia en la fabricación de hormigón celular ligero: efecto del contenido de cal y aluminio en la porosidad, la resistencia a la compresión y conductividad térmica de materiales elaborados, European Journal of Environmental and Civil Engineering.25(11), 1-18

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3 Matriz de generalidades de artículos consultados.

N°	TÍTULO	RESUMEN	MÉTODO	CONCLUSIONES	REVISTA	AÑO
1	Eco-concrete for sustainability: utilizing aluminium dross and iron slag as partial replacement materials	El presente estudio propone utilizar la escoria de aluminio y la escoria de hierro granular como materiales de reemplazo parcial del cemento y la arena natural, respectivamente, para desarrollar el ecoconcreto.	experimental	Se determinó que la dosis óptima de escoria de aluminio era de aproximadamente el 5%. Este porcentaje de sustitución no causa ningún daño a las propiedades del hormigón y la resistencia a la compresión se mantuvo próxima a la del hormigón normal.	Springer Nature B.V.	2017
2	Mechanical and durability aspects of concrete incorporating aluminum slag	La investigación de este artículo surge de la necesidad de buscar contribuir de manera favorable al impacto ambiental con el reciclaje y reutilización de desechos industriales, como la escoria de aluminio, y tratar de incorporarlo de manera favorable al hormigón(concreto), a fin de poder estudiar el comportamiento que tiene este material en los aspectos mecánicos y de durabilidad que tiene sobre el concreto.	experimental	los investigadores llegaron a la conclusión que hasta en un 15% de sustitución de cemento por escoria de aluminio los resultados son comparables con el concreto convencional	Resource-Efficient Technologies	2016

3	Caracterización de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto hidráulico con sustitución parcial de agregado ligero	Buscaron en este proyecto de investigación en primera instancia la caracterización de las propiedades mecánicas y de durabilidad de un concreto hidráulico con adición de porcentajes de 0%, 15%, 30% y 45% de agregados ligeros con el fin de compararlo con el concreto convencional.	experimental	concluyen que es posible emplear el concreto con una adición moderada de agregado ligero ya que disminuye el peso específico en comparación con un concreto convencional.	Universidad Católica de Colombia	2019
4	Propiedades mecánicas del hormigón estructural ligero y celular, utilizando materiales de diferentes canteras en la ciudad de Quito	Se centran en determinar las propiedades mecánicas y físicas del concreto ligero y celular por lo que diseñaron la mezcla de concreto con la finalidad de obtener resistencias de 210 kg/cm ² y densidades no mayores a 1920kg/m ³ a los 28 días de curado	experimental	La resistencia a la compresión promedio alcanzada a los 28 días, en el hormigón estructural ligero fue de 282 kg/cm ² con una densidad promedio de 1919 kg/m ³	Universidad Central del Ecuador, Quito.	2019
5	Fabricación y evaluación experimental de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada	Propone el uso de mampostería fabricada a base concreto celular planteándose como objetivo principal evaluar de forma experimental la resistencia a compresión y porcentaje de absorción de agua de las mismas.	experimental	Se concluye que a partir de los ensayos se obtiene un material con características beneficiosas para ser empleados en prefabricados, debido a su desempeño mecánico y su apariencia física.	Universidad de San Carlos de Guatemala.	2018
6	Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto adicionando viruta de aluminio secundario, Lambayeque, 2020.	Este proyecto surgió de la necesidad de encontrar tecnologías eco amigables tratando de reciclar viruta de aluminio y emplearlas en el concreto con el fin de saber cómo este incide en las propiedades físicas y mecánicas.	experimental	Se concluye que a menor porcentaje de adición aumenta su resistencia a la compresión. Sin embargo, en tracción y flexión tiende a aumentar con un límite de 3.5% en adición.	Universidad Señor de Sipán	2020

7	Análisis y diagnóstico del polvo de aluminio sobre el asentamiento en un concreto ligero en la provincia de Huaura - 2018	Básicamente en este proyecto de investigación se propuso como objetivo relacionar la influencia del polvo de aluminio con el asentamiento, compresión, densidad y absorción en un concreto de ligero para la provincia de Huara el cual cumplió un factor determinante para la investigación.	experimental	Se llega a la conclusión de que a medida del incremento del porcentaje de polvo de aluminio se mantiene la resistencia a la compresión, se mantiene el asentamiento, disminuye la densidad, pero la absorción del concreto aumenta.	Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho.	2019
8	Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, Trujillo - 2017.	En esta investigación se evaluó el desempeño que tiene el polvo de aluminio en concreto ligero de elementos estructurales como losas aligeradas referente propiedades físicas y mecánicas en conjunto con el tiempo de fraguado.	experimental	Finalmente, el autor propone el uso de un concreto ligero con porcentaje de 1.5% de polvo de aluminio con el uso de superplastificante al 1% para obtener una resistencia a compresión de 236kg/cm ² , un asentamiento de 4.00'' y una densidad de 1783.16kg/m ³ .	Universidad Privada del Norte	2017
9	Diseño y Control de mezclas de concreto	En este estudio, se agregaron fibra de polipropileno (PP), fibra de alcohol polivinílico (PVA) y fibra de acero (S) para mejorar la resistencia a las heladas de la escoria mezclada y el concreto geopolímero. Se concluyó que las fibras no pudieron inhibir eficazmente la iniciación de microfisuras, pero podría suprimir su propagación.	experimental	Por lo tanto, la adición de fibra es desfavorable en términos de la resistencia temprana a las heladas, pero es beneficiosa más tarde. En particular, el destacado efecto de mejora de las fibras se caracteriza por la inhibición del pelado de la superficie y la reducción de la pérdida de masa.	Portland Cement Association	2004

10	Diseño de mezclas	Se propone un modelo analítico para predecir el comportamiento de tracción del hormigón reforzado con fibra de ultra alto rendimiento (UHPC) con acciones cíclicas extendidas de congelación-descongelación (FT).	experimental	Se logra una buena concordancia entre las respuestas de tracción analíticas y experimentales de UHPC en varios ciclos de FT, y la predictibilidad del modelo se mejora ajustando los coeficientes que gobiernan la rama de ablandamiento de las curvas de tensión de tracción-ancho de fisura.	Hozlo S.CR.L.	1992
11	El Maestro de Obra.	el efecto de los aditivos anticongelantes sobre los cambios microestructurales y las propiedades físicas y mecánicas del hormigón fresco sometido a congelación-descongelación producidos por el clima frío. Para ello, se utilizaron aditivos anticongelantes, urea y nitrato de calcio.	experimental	Se concluyó en que La reducción de la resistencia a la compresión debido a la urea fue mayor que el del nitrato de calcio.	SENCICO	2012
12	Tecnología del concreto y del mortero	los efectos de las condiciones corrosivas sobre las propiedades físicas y mecánicas del hormigón producido en clima frío. Se utilizaron como aditivos en el anticongelante	experimental	Se concluyó en que la exposición del hormigón fresco a las heladas tiene un impacto negativo en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón debido a la corrosión. Estos hormigones deben estar bien protegidos.	Biblioteca de la Construcción	2001

13	Autoclaved aerated concrete incorporating waste aluminum dust as foaming agent	El polvo de aluminio es un residuo de la industria del reciclaje de escoria de aluminio, proponen un enfoque novedoso de utilizar el polvo de aluminio como agente espumante en sustitución del costoso polvo de aluminio para la síntesis de hormigón celular autoclavado (AAC).	experimental	En lugar de tratar el polvo de aluminio para eliminar o inmovilizar el aluminio metálico para su eliminación en vertederos, este estudio utiliza el polvo de aluminio como agente espumante para reemplazar el costoso polvo de aluminio para la síntesis de AAC.	Construction and Building Materials	2017
14	A study on compressive behavior of AAC added with industrial waste	Este estudio implicó el análisis experimental de hormigón celular esterilizado en autoclave añadido con residuos industriales.	experimental	El bloque de AAC pesa menos en comparación con el ladrillo rojo estándar, lo que finalmente resulta en una gran reducción del peso muerto. Por otro lado, está la adición de desechos de acero con partículas finas proporciona una resistencia a la compresión mejorada.	Materials Today: Proceedings	2019
15	Effect of Aluminium Powder on Light-weight Aerated Concrete Properties	El objetivo del trabajo actual fue investigar las propiedades del hormigón celular (AC) que contiene un 30% de cenizas volantes y varios contenidos de polvo de aluminio.	experimental	Se concluye que a partir de los resultados que cuando aumentaba el contenido de polvo de aluminio la densidad de concreto celular disminuía, pero su porosidad aumentaba.	E3S Web of Conferences	2019

16	Mechanical properties of lightweight aerated concrete with different aluminium powder content	El objetivo de este estudio de investigación fue investigar sobre la influencia que tiene el polvo de aluminio en las propiedades mecánicas del concreto celular, para ello se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y flexión, módulo de elasticidad, densidad y porosidad. Finalmente, los investigadores compararon el concreto celular con uno con adición de polvo de aluminio en un 0.25%,0.5%,0.75% y 1%.	experimental	La densidad seca disminuyo a medida que el porcentaje de aluminio aumentaba y la porosidad aumento conforme el polvo de aluminio aumentaba	EDP Sciences	2017
17	Comparación y elaboración de un bloque celular mediante la adición de polvo de aluminio y peróxido de hidrógeno con un bloque convencional	En este trabajo de investigación el autor estudia el comportamiento que en añadir polvo de aluminio en la fabricación de bloques de concreto celular y a la vez compararlo con el concreto convencional. El proceso de evaluación para los ensayos de resistencia a la compresión, ensayo de absorción, densidad real entre otros se desarrolló en un periodo de 7, 14 y 28 días, con el objetivo de buscar el contenido óptimo de porcentaje de aluminio para disminuir su densidad real y aumentar su resistencia a la compresión.	experimental	Se concibe que el polvo de aluminio con un porcentaje al 0.20% se obtuvo una densidad de 1222.55 Kg/m ³ , un 0.24% menos de densidad que un bloque convencional el cual tiene densidad de 1225.47 Kg/m ³ . Por otro lado, el polvo de aluminio al 0.20% a los 28 días de curado el material presenta una resistencia a la compresión de 2.14Mpa.	Universidad Técnica de Ambato	2017

18	Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana, clasificados por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación	En esta investigación se analizan las características de los concretos convencionales y de los especiales, principalmente los celulares y de alta resistencia.	experimental	Se concluye que el polvo de aluminio fundido mejora las propiedades físicas del concreto ligero.	Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática	2015
19	Los beneficios del concreto celular	El autor en este trabajo de estudio trata de evidenciar los beneficios de utilizar concreto celular como la disminución de la carga muerta y como reduce en gran medida el costo en comparación con el concreto convencional, primero definiéndolo como tal y posteriormente como fabricarlo y por último su aplicación	experimental	En conclusión, la reducción de la carga muerta es considerable. Por ejemplo, en un edificio de cinco pisos cada piso con un área de 200 m ² , se ha demostrado que la cimentación podría reducirse en un 25% representando esto en un ahorro total de la construcción hasta de un 35%	CIV noemateriales	2014
20	Concreto Armado I.	Esta publicación permite complementar las definiciones de las propiedades físicas y mecánicas del concreto, así como también los tipos y usos del concreto.	experimental	Nos permite familiarizarnos más con las definiciones y tipos de ensayos relacionados al concreto.	Compartidos por Billyc	1983

21	Concreto Ligero.	Los autores indagaron acerca del concreto ligero y buscaron definirlo como un concreto de baja densidad, que reduce las tanto las cargas muertas como los costos con su fabricación. También, presenta resultados obtenidos de la comparación de un concreto convencional con el ligero al cual se le añadió perlitas de poliestireno en la evaluación del comportamiento de la energía térmica de ambos concretos.	experimental	Las condiciones climatológicas influyen en las propiedades del concreto	Revista de divulgación científica	2016
22	Green Concrete using Plastic Waste	el efecto de las condiciones de las heladas sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto geopolímero (GPC) y el concreto de cemento Portland (PCC) que contienen dos materiales de cambio de fase microencapsulados (MPCM) diferentes.	experimental	Se concluye en que La pérdida de masa después de 28 ciclos de congelación-descongelación fue inferior al 1% para todas las muestras. La resistencia a la compresión de GPC y PCC disminuye después de la exposición a 28 ciclos de congelación-descongelación.	International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)	2018

23	Physical and mechanical properties of concrete incorporating industrial and agricultural textile wastes	Se utilizaron tres hormigones sin aire incorporado y uno con aire incorporado para preparar muestras de agregado grueso reciclado (RCA). También se investigaron tres enfoques de mezcla. Las resistencias a las heladas de las muestras ARAC producidas utilizando un RCA obtenido a partir del hormigón no incorporado de alta resistencia.	experimental	La resistencia a las heladas de ARAC está estrechamente relacionada con la RCA utilizado, mientras que las propiedades de RCA dependen principalmente de su hormigón madre. La muestra ARAC preparada con RCA derivado de un concreto base con alta resistencia a las heladas, como un concreto de alta resistencia o un concreto con aire incorporado, exhibió una alta resistencia FT, así como casi la misma durabilidad FT que la del aire convencional.	IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology	2015
24	The Effect of Aluminium Dross on Mechanical and Corrosion Properties of Concrete	un programa experimental para evaluar la durabilidad de congelación-descongelación de permeables especímenes de hormigón utilizando el método de prueba JC446-91, que mide el cambio en la resistencia a la compresión y la masa después de la exposición a ciclos de congelación-descongelación.	experimental	Resaltó notablemente en el aumento de la durabilidad de la congelación-descongelación del hormigón permeable, en numerosas investigaciones, cambios en masa y fuerza, como el criterio principal para evaluar la durabilidad de congelación-descongelación, parecía ser insuficiente para concreto permeable en las mezclas probadas en este estudio.	Engineering and Technology	2014

25	Desenvolvimento De Bloco Celular Cerâmico Usando Pó De Alumínio Como Agente Gerador De Poros	El artículo tiene como objetivo desarrollar un bloque de concreto celular con la adición de polvo de aluminio se estudiaron las propiedades físicas como porosidad, resistencia mecánica a la compresión entre otros, con el fin de compararlos con productos ya utilizados en la construcción civil.	experimental	De este estudio se puede concluir que es posible crear poros en masas cerámicas sin agregar materia orgánica, obteniendo poros esféricos y uniformes. La carga sobre la estructura se puede reducir a la mitad en comparación con el sellado de bloques de cerámica.	Tech. Metal. Mater. Miner	2018
26	Characterization of Porous Cementitious Materials Using Microscopic Image Processing and X-ray CT Analysis	Este estudio experimental realiza un análisis comparativo para caracterizar los poros en materiales cementosos mediante la adopción de procesamiento de imágenes microscópicas y TC de rayos X. Las 12 muestras cementosas porosas se fabricaron utilizando varias dosis de polvo de aluminio y fibras naturales.	experimental		Materials	2015
27	Utilization of Quarry Dust and Calcareous Fly Ash for the Production of Lightweight Cellular Micro-Concrete— Synthesis and Characterization	Este estudio tiene como objetivo evaluar la producción de micro hormigón celular. Las pruebas de las muestras incluyeron medidas de resistencia a la compresión y flexión, densidad, absorción de agua y conductividad térmica	experimental	Los resultados del diseño factorial indicaron que la relación de agente aireador a cemento y polvo tiene relación en la densidad de los especímenes endurecidos, que es una propiedad física de gran importancia ya que fuertemente afecta todas las propiedades medidas (resistencia a la compresión y flexión, absorción de agua y conductividad térmica).	Buildings	2020

28	Refractory Cellular Concrete Based on Phosphate Binder from Waste of Production and Recycling of Aluminum	Este artículo investiga la suposición de que la colada y el curado a temperaturas cercanas al punto de congelación conducen a la pérdida de rigidez del hormigón endurecido y provocan alteraciones y anomalías de la microestructura. El curado del hormigón en condiciones cercanas a la congelación se asoció con una pérdida del 20% y el 25% de la rigidez y resistencia a los 28 días.	experimental	La absorción de agua del hormigón endurecido aumentó como resultado del curado en frío. La pérdida de rigidez debido al curado a baja temperatura no se remedia usando agregado rígido como granito ni reemplazando cemento PFA.	Procedia Engineering	2017
29	Material Design and Performance Evaluation of Foam Concrete for Digital Fabrication	El artículo presenta un enfoque metodológico para el diseño de mezclas de hormigones de espuma imprimibles en 3D y una investigación sistemática de la posible aplicación de este tipo de material en la construcción digital.	experimental	Se concluye que a partir de los especímenes ensayados uno obtuvo 980 kg/m ³ y una resistencia a la compresión de 10.4 Mpa a los 28 días de curado, lo cual se puede usar para aplicaciones estructurales.	Materials	2019
30	Recycling of Basic Oxygen Furnace Slag as a Raw Material for Autoclaved Aerated Concrete Production	El propósito de este estudio fue reciclar la escoria de horno de oxígeno básico (BOF) en la producción de hormigón celular esterilizado en autoclave (AAC) y examinar la influencia en las propiedades de los productos AAC. L	experimental	El reciclaje de la escoria como materia prima de AAC evitará esta posible contaminación y reducirá la cantidad de uso de recursos naturales. Así como también según los ensayos la densidad y la resistencia a la compresión disminuyen con el aumento de escoria de aluminio.	Sustainability	2020

31	Influence of Fly Ash and Recycled AAC Waste for Replacement of Natural Sand in Manufacture of Autoclaved Aerated Concrete	Este documento tiene como objetivo investigar, utilizar y comparar el uso de residuos de AAC reciclados y cenizas volantes para reemplazar la arena natural en la fábrica de producción de ladrillos de hormigón de AAC.	experimental	Cuando se utilizan residuos de hormigón celular esterilizados en autoclave en lugar de arena natural molida, la resistencia a la compresión de la muestra disminuye, pero la densidad de volumen aumenta con el contenido de reemplazo.	IOP Conference Series. Earth and Environmental Science	2020
32	La estabilización de burbujas mejora la resistencia de los morteros ligeros	Esta investigación tiene como objetivo estudiar el comportamiento del concreto ligero con adición de polvo de aluminio en diferentes porcentajes y como este influye en las propiedades de densidad, porosidad y asentamiento.	experimental	Los autores concluyen que a partir de los ensayos al aumentar el porcentaje de polvo de aluminio de 3% y 9% tomando como referencia el concreto ligero control (0%) se obtiene un aumento significativo en la porosidad formando burbujas que aumentan en tamaño y número con la adición de polvo de aluminio.	Ice Institution of Civil Engineers publishing	2015
33	El uso de arena de dunas del sur de Argelia en la fabricación de hormigón celular ligero: efecto del contenido de cal y aluminio sobre la porosidad, la resistencia a la compresión y la conductividad térmica de los materiales elaborados	El objetivo de este estudio de investigación es promover el uso de las arenas de las dunas de Argelia para la producción de concreto ligero. Además, se utilizó polvo de aluminio y cal hidratado en diferentes porcentajes para estudiar el efecto que tiene en la porosidad, conductividad térmica y resistencia a la compresión de este tipo de concreto.	experimental	Concluye que el cremiento de porosidad se ve directamente relacionado con el incremento del polvo de aluminio.	Revista Europea de ingeniería Ambiental y Civil	2016

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4 Matriz de definición, justificación y delimitación temporal de los indicadores.

SUBTEMAS (Indicadores)	Definición / Justificación del subtema/ delimitación temporal (si aplica)	OBJETIVO
Porosidad de un concreto ligero con polvo de aluminio fundido.	La porosidad es la cantidad de espacios vacíos que queda inmersos en la masa de concreto como la evaporación de agua libre de la mezcla y la presencia de aire, el incremento de polvo de aluminio fundido incrementa la porosidad del concreto ligero, el uso de polvo de aluminio fundido es necesario para obtener un concreto de buena calidad en cualquier estructura.	Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la porosidad de un concreto ligero.
Absorción de un concreto ligero con polvo de aluminio fundido.	La absorción es una medida de la consistencia de concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto, el incremento de polvo de aluminio fundido incrementa la absorción del concreto ligero, el uso de polvo de aluminio fundido es necesario para obtener un concreto de buena calidad en cualquier estructura.	Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar la absorción del agua de la mezcla de un concreto ligero.
Resistencia a la compresión del concreto ligero con polvo de aluminio fundido.	La resistencia a compresión es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar un esfuerzo máximo de aplastamiento de un material mediante una fuerza axial, el incremento de polvo de aluminio fundido incrementa la resistencia a compresión, el uso de polvo de aluminio fundido es necesario para obtener un concreto de buena calidad en cualquier estructura.	Determinar el óptimo porcentaje del polvo de aluminio fundido para incrementar resistencia a la compresión de un concreto ligero
Densidad de un concreto ligero con polvo de aluminio fundido.	La densidad es una propiedad física de un concreto ligero que indica la relación que existe entre la masa y el volumen, a mayor polvo de aluminio fundido se reduce la densidad del concreto ligero, el uso de polvo de aluminio fundido en dichas condiciones, son necesarios obtener un concreto de buena calidad en cualquier estructura.	Determinar el óptimo porcentaje de polvo de aluminio fundido para reducir la densidad de un concreto ligero

Fuente: Elaboración propia