

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CAPÍTULO ESTUDIANTIL DEL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE**



“Concrete Ball FRC 2024”

Integrantes del Equipo

YOVERA CASTILLO, Pedro Fernando

PINEDO TRIGOSO, Cleisson Abner

MALLMA FABIAN, Melissa Jacqueline

SEGURA ROMERO, José Fabián

SOTO BARBOZA, Gaby Lizet

Asesor

MSc. Ing. Carlos Alberto Villegas Martínez

Reporte de actividades LEM UNI

Del 05/08/2024 hasta el 22/10/2024

Enero 2025

Lima, Perú

CAPÍTULO I: RESUMEN

En la actualidad, se busca innovar constantemente en la investigación de la tecnología del concreto. Con ello el estudio de concretos especiales toma una vital importancia para el desarrollo de la industria en la construcción; uno de estos, es el concreto ligero estructural, su aplicación nos permite disminuir nuestra densidad del concreto sin sacrificar en gran medida su resistencia. Debido a esto se busca impulsar a los estudiantes a determinar diseños de mezcla que cumplan con los requerimientos principales (baja densidad y alta resistencia).

En este informe se busca cumplir con los requerimientos establecidos en las bases del concurso Concrete Ball 2024, teniendo en cuenta los parámetros de diseño, a partir de ello se investigó a cerca de un concreto ligero de altas prestaciones mecánicas, para lograr esto realizamos análisis y estudios con el objetivo de determinar los materiales óptimos para nuestro diseño de mezcla oficial.

Con la finalidad de satisfacer los objetivos del concurso se realizaron diseños preliminares, donde se generamos variaciones de las proporciones del agregado fino y grueso (EPS), porcentaje de fibras, porcentaje y relación de aditivos, y variación de porcentaje del material cementante (microsilíce), todo esto con la finalidad de obtener un diseño de mezcla óptimo para la competencia. A partir de ello se puede definir un diseño de mezcla idóneo para nuestra representación en el concurso nacional, el cual lo explicaremos durante el contenido del informe y presentaremos el proceso de selección y las propiedades de cada parámetro de la mezcla oficial.

Palabras claves: Concreto ligero, perlas EPS, carga máxima, densidad, agregado ligero

CAPÍTULO II: INTRODUCCIÓN

El concreto ligero ha emergido como una alternativa viable al concreto tradicional debido a que permite reducir el peso de las estructuras. En los últimos años, numerosos investigadores han explorado las propiedades mecánicas concreto ligero, destacando sus beneficios en proyectos de gran escala como edificios altos y puentes (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014).

A pesar de sus ventajas, el concreto ligero aún enfrenta limitaciones, especialmente en términos de resistencia a la compresión y durabilidad (Colombo & Mendoza, 2021). Estos desafíos han motivado el desarrollo de nuevas fórmulas y la incorporación de aditivos que buscan mejorar sus propiedades mecánicas.

Según Villalobos, Chávez y Morales (2017), la resistencia del concreto ligero es directamente proporcional a su peso, sin embargo, usando diferentes materiales como fibras y aditivos en la dosificación podemos incrementar la resistencia manteniendo el peso de la probeta. Además, según Cervantes (2008), este concreto tiene diferentes aplicaciones como son la aligeración de las cargas muertas en las estructuras, elementos prefabricados para usos decorativos, divisiones para todo tipo de edificaciones, etc. Incluso podría funcionar como reemplazo de muro estructural para viviendas de un piso en las regiones más frías del Perú.

El informe está organizado en seis capítulos. El primer capítulo presenta el resumen del estudio. El segundo capítulo expone la introducción de la investigación realizada a partir de las bases de la competencia. En el tercer capítulo se describe la metodología experimental utilizada. Los resultados obtenidos se analizan en el cuarto capítulo, seguidos de una discusión crítica en el quinto. Finalmente, el sexto capítulo ofrece las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

MATERIALES DE LA MEZCLA

- **Perlas de poliestireno expandido (EPS)**

El poliestireno expandido es un tipo de espuma polimérica estable, compuesto por una matriz de polímero con huecos de aire distribuidos uniformemente, lo cual lo hace un material de baja densidad (Prasittisopin et al., 2022). Según Haghi et al. (2006), las perlas EPS de forma esférica, al tener características hidrófobas, es fácil incorporar a la mezcla de concreto para producir concreto celular o ligero, las densidades de las perlas de EPS comerciales varían de 12 a 35 kg/m³.

Debido a lo mencionado las perlas de poliestireno expandido se usaron como reemplazo al agregado grueso para obtener concreto baja densidad, las cuales fueron una donación de la empresa ETSA PERÚ. Las perlas de EPS usadas para el diseño tuvieron una densidad de 225 kg/m³, con la finalidad de obtener agregado grueso con una mayor densidad a las perlas EPS comerciales que nos permita una mejor ductilidad y resistencia a esfuerzos, para ello se hornearon las perlas a 135°C por 25 minutos hasta un tamaño de 2.36 mm (pasante del tamiz N°8).

Para ello se realizó el siguiente procedimiento:

Se distribuyó uniformemente las perlas de EPS en una bandeja, en una capa.



Figura 1. Colocación de perlas EPS en bandejas

Se procedió a introducir las bandejas al interior del horno, asegurándonos de posicionarla adecuadamente para garantizar una distribución homogénea del calor, y en consecuencia tener la reducción de perlas de EPS de tamaños uniformes.



Figura 2. Introducción de las bandejas al horno

Las perlas se retiraron del horno tras haber transcurrido 25 minutos, asegurándonos que las perlas alcanzaron el tamaño óptimo para el diseño.



Figura 3. Retiro de las bandejas de perlitas del horno

Para garantizar una clasificación adecuada de perlas conforme a los requerimientos del diseño, se realizó el tamizado utilizando lo que pasa el tamiz N° 8 y retenido en N°16.



Figura 4. Perlas EPS que pasan el tamiz N° 8

- **Agregado fino:**

Procedencia: DIFAMAS – TRAPICHE

Características:

Tabla N°1: Propiedades de agregado fino (arena gruesa)

AG. FINO - CANTERA " DIFAMAS - TRAPICHE "

Tamiz	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	Fondo
Pe (kg/m ³)	2573.45	2604.21	2628.34	2612.78	2607.52	2420.33
Absorción (%)	1.94	1.05	1.73	1.09	1.56	1.92
Humedad (%)	0.96	0.88	1.02	1.42	2.04	1.92

- Muestras peso retenido:



Figura 5. Peso retenido en el tamiz N°16



Figura 6. *Peso retenido en el tamiz N°30*



Figura 7. *Peso retenido en el tamiz N° 50*



Figura 8. *Peso retenido en el tamiz N°100*



Figura 9. *Peso retenido en el Fondo*

Tabla N°2: Granulometría de agregado fino

CANTERA " DIFAMAS - TRAPICHE "

PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 2.10630 Kg

TAMIZ	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
Pulg.	mm			
# 8	2.36	0.00	0.00	100.00
# 16	1.18	316.00	15.00	85.00
# 30	0.60	1167.80	55.44	29.55
# 50	0.30	106.00	5.03	24.52
# 100	0.15	319.20	15.15	9.37
FONDO		197.30	9.37	100.00
TOTAL		2106.30	100.00	-

Requerimiento de granulometría del agregado fino para el concreto de acuerdo con las normas: ASTM C 33 y la NTP 400.037

Tabla N°3: Requerimientos de granulometría

NTP 400.037

TAMIZ	Límite Inferior (%)	Pasante Acumulado (%)	Límite Superior (%)	CONDICIONAL
Pulg.	mm			
# 8	2.36	80.00	100.00	CUMPLE
# 16	1.18	50.00	85.00	CUMPLE
# 30	0.60	25.00	60.00	CUMPLE
# 50	0.30	5.00	30.00	CUMPLE
# 100	0.15	0.00	10.00	CUMPLE

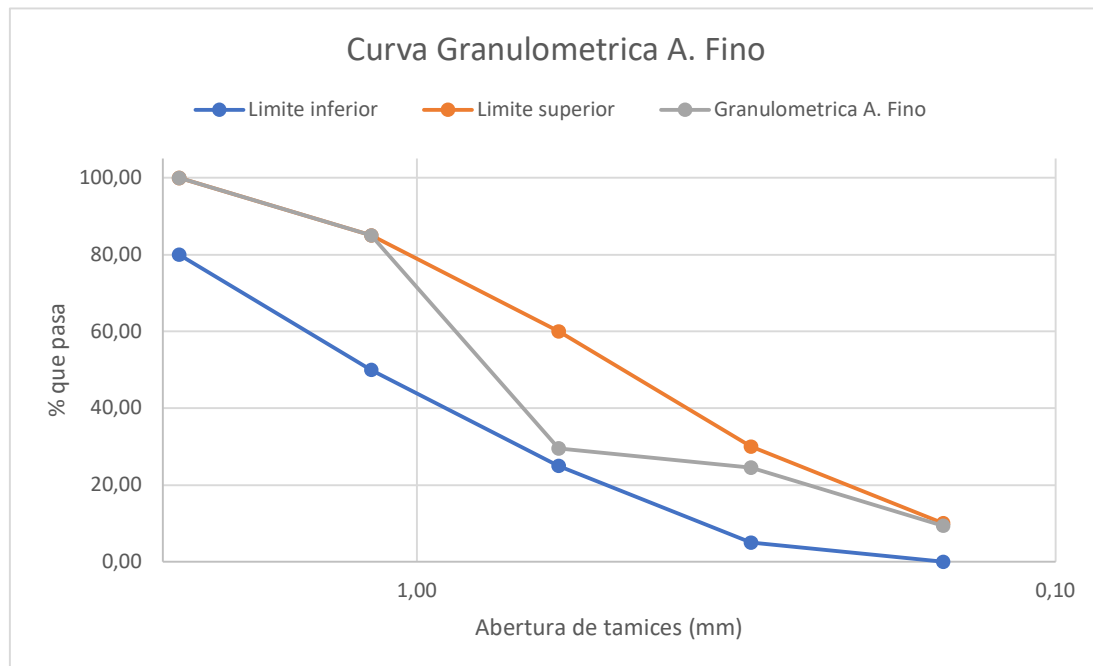


Figura 10. Curva Granulométrica Ag. Fino

- **Fibra de polipropileno**

Se analizaron las propiedades de las fibras de polipropileno (BARCHIP) y fibras metálicas (SIKA).

Tabla N°4: Evaluación de fibras

<i>Tipo de fibra</i>	Alta tensión a la rotura	Alta adherencia	Alto módulo de elasticidad	Baja densidad
<i>Fibra de polipropileno</i>	X	X	X	X
<i>Fibra metálica</i>	X	X	X	

Por tal motivo, teniendo en cuenta la importancia de controlar la densidad de la mezcla, se determinó que usaremos fibra de polipropileno de 54mm.

ESTUDIOS PRELIMINARES DE DISEÑO

1.1.1. Factor de corrección de diseño

Para poder determinar nuestro factor de corrección de diseño, realizamos la evaluación en probetas de 10cmx20cm, con la finalidad de poder predecir con mayor exactitud nuestra densidad de mezcla. A partir de ello, obtuvimos un factor de corrección de 1.2.

Tabla N°5: Determinación de factor de corrección

<i>Ensayo</i>	<i>Masa Real (Kg)</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Altura (cm)</i>	<i>Volumen (m3)</i>	<i>Dteórico (kg/m3)</i>	<i>Masa teórica (Kg)</i>	<i>Dreal (kg/m3)</i>	<i>Factor de Corrección</i>
<i>E1</i>	2.7301	9.98	21.06	0.001647	1579.151	2.602	1657.174	1.049
<i>E2</i>	2.9899	10.11	20.64	0.001656	1534.884	2.543	1804.924	1.176
<i>E3</i>	2.8744	10.14	20.62	0.001663	1508.822	2.510	1727.766	1.145
<i>E4</i>	2.8722	10.15	20.48	0.001657	1507.402	2.498	1732.965	1.15
<i>E5</i>	2.7589	9.83	19.92	0.001511	1508.994	2.281	1825.093	1.209
<i>E6</i>	2.8328	9.83	20.33	0.001542	1478.097	2.280	1836.506	1.242
<i>E7</i>	3.0245	10.05	20.74	0.001645	1464.967	2.410	1838.323	1.255
<i>E8</i>	2.8487	10.05	20.81	0.001651	1468.308	2.424	1725.646	1.175
<i>E9</i>	2.9519	10.12	20.59	0.001657	1471.649	2.439	1781.466	1.211
FACTOR DE CORRECCIÓN PROMEDIO								1.198

1.1.2. Porcentaje de agregados

Teniendo en cuenta que el peso máximo de la esfera es de 6kg, se realizó estudios de la proporción de agregados que nos permitan controlar la densidad de la mezcla.

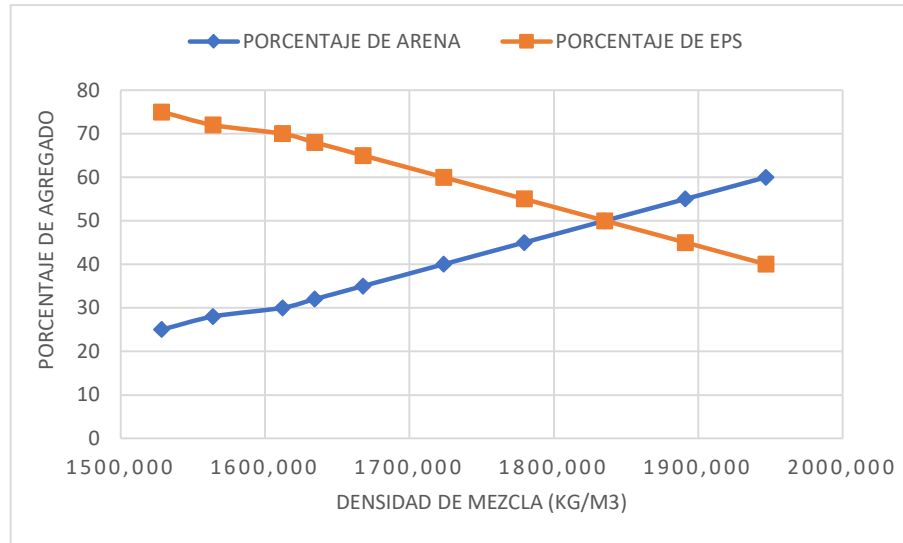


Figura 11. Densidad de mezcla vs. Porcentaje de agregado

Para definir nuestra proporción de densidad de mezcla objetivo, primero determinamos los siguientes parámetros:

Tabla N°6: Densidad objetivo de mezcla

Diámetro de esfera	19 cm
Peso objetivo	5.5 kg
Densidad objetivo	1531.45 kg/cm3

Teniendo en cuenta la figura 11 y la tabla N°6, se utilizó una proporción en volumen de 75% EPS y 25% arena.

MATERIALES DE MEZCLADO

Preparamos los materiales, debidamente pesados, listos para iniciar la elaboración de la mezcla.



Figura 12. Materiales Pesados

MOLDEO Y CURADO

1.1.3. MOLDEO

- a) Colocamos la mitad del molde en la mesa vibradora
- b) Se vacía la mezcla casi hasta el llenado completo de la primera mitad del molde dejando 0.5 cm.



Figura 13. Vaciado de la mezcla en la mitad del molde

- c) Para compactar la mezcla se da inserciones con una varilla lisa de 3/4" y para liberar las burbujas de aire se hace vibrar la mesa por 20 segundos.



Figura 14. Inserciones con la varilla.



Figura 15. Encendido de la mesa vibradora

- d) Colocamos la otra mitad del molde haciendo coincidir los lados, luego colocamos los pernos y tuercas para asegurar el molde completo.



Figura 16. Colocando la otra mitad del molde



Figura 17. Colocando los pernos



Figura 18. Colocación de pernos en molde

- e) Continuamos con el vaciado de la mezcla, por el orificio superior del molde, con ayuda de la varilla lisa de 3/4".



Figura 19. Vaciado de la mezcla



Figura 20. Introduciendo la mezcla con la varilla lisa de 3/4"

- f) Introducimos la mezcla hasta aproximadamente los 3/4 del volumen de la esfera para luego liberar las burbujas de aire con la mesa vibradora.



Figura 21. Sosteniendo el molde mientras se hace el vibrado

- g) Seguimos haciendo el vaciado de la mezcla acompañado de algunas vibraciones hasta completar el molde completo.



Figura 22. Seguimos con el vaciado de la mezcla



Figura 23. Inserciones con la varilla lisa de 3/4"



Figura 24. Sosteniendo el molde para el vibrado de la mesa

- h) Si colocamos mucha mezcla procedemos a retirar un poco hasta que este al nivel para obtener una esfera.



Figura 25. Resultado final del moldeado

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

La siguiente tabla nos muestra los resultados del estudio de 9 esferas de concreto, donde se realizaron diferentes variaciones con la finalidad de determinar nuestra presentación final. Todas las esferas tuvieron un curado normal de 12 días sumergidas en agua.

Tabla N°9: Ensayos preliminares de esferas

ENSAYO	a/c	Microsilíce	Aditivo superplasticante	Aditivo acelerante	Fibra	Carga máxima (kg)
S1	0.25	30%	1%	2%	10%	6566.75
S2	0.27	30%	1%	2%	10%	5462.59
S3	0.3	30%	1%	2%	10%	4871.65
S4	0.25	35	1%	2%	10%	7224.64
S5	0.25	40	1%	2%	10%	7428.97
S6	0.25	35	1.5%	3%	10%	8228.65
S7	0.25	35	1.75%	3.5%	10%	8887.62

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Al comparar el ensayo S1, S4 y S5 notamos que un porcentaje de microsilíce al 40% nos brindó una mayor resistencia mecánica; sin embargo, la mezcla no era trabajable y por ello consideramos para nuestro diseño un porcentaje microsilíce del 35%.
- En los ensayos S4, S6, S7 y S8 se evaluó la proporción de aditivos idónea para un concreto ligero de alta resistencia, en ello podemos apreciar la proporción de la esfera S8 fue la de mejor comportamiento mecánico respecto a las demás.

- La relación a/c de las esferas S1, S2 y S3 influyo en la carga máxima, donde se obtuvo un mejor resultado en la esfera S1 lo cual corresponde a un a/c de 0.25. Finalmente se decidió trabajar con esa relación de a/c los siguientes ensayos de esfera.

APLICACIONES Y CONTRIBUCIONES

1.1.4. Concreto ligero estructural

Diseñado para usarse en proyectos de construcción que necesitan un material ligero, pero con resistencia estructural alta. Su peso unitario va de los 1,440 a los 1,900 kg/m³. Algunas de las ventajas que tiene son la reducción de cargas muertas en las estructuras, facilidad de colocación en comparación con mezclas tradicionales, capacidad de fluir sin segregarse, eliminando la necesidad de vibrado y puede ser bombeado, lo que acelera el proceso de colocación (Alejandro Cervantes Abarca, 2008).

Aplicaciones

- Divisiones para todo tipo de edificaciones
- Capas de nivelación en pisos o losas
- Aligerar las cargas muertas en las estructuras
- Construcción de viviendas en serie o de tipo monolítico
- Elementos prefabricados para usos decorativos o artesanales
- Protección de estructuras contra el fuego

1.1.5. Concreto ligero de moderada resistencia

Este concreto es utilizado como un material de baja densidad y resistencia media que se utiliza principalmente en edificaciones donde se prioriza la reducción del peso en las estructuras, como en cubiertas, losas y elementos prefabricados.

Abarca desde los concretos de agregado ligero de baja densidad hasta los estructurales. Su densidad se encuentra entre 800 a 1,440 kg/m³.

Aplicaciones:

- Se utiliza en elementos estructurales como vigas, losas y muros donde se requiere una combinación de ligereza y resistencia.
- Utilizado como material de base para pisos flotantes, permitiendo la reducción del peso total de la estructura.
- Ideal para el refuerzo de edificios antiguos, donde se busca aumentar la resistencia sin añadir carga adicional.
- Aplicado en techos de edificios comerciales e industriales, proporcionando una buena capacidad de aislamiento y reduciendo la carga en la estructura.
- Empleado en la construcción de canales de drenaje y estructuras hidráulicas, gracias a su resistencia al agua y a su bajo peso.

1.1.6. Concreto ligero aislante

Mehta y Monteiro en su libro "Concrete: Microstructure, Properties, and Materials", describen el concreto ligero aislante como un concreto que no solo es ligero, sino que también presenta propiedades térmicas mejoradas, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones donde se requiere eficiencia energética.

Generalmente presenta una densidad que oscila entre 400 y 1,600 kg/m³.

Aplicaciones:

- Se utiliza en la construcción de paredes, techos y pisos para mejorar el aislamiento térmico y reducir la carga estructural, lo que es especialmente útil en zonas con climas extremos.
- Su bajo peso y propiedades aislantes lo hacen ideal para la rehabilitación de edificaciones antiguas, donde se busca mejorar el rendimiento energético sin añadir peso adicional.
- Es común en la fabricación de paneles prefabricados, que facilitan una rápida instalación y reducen los tiempos de construcción.
- Debido a sus propiedades aislantes, se utiliza en sistemas de techado para disminuir la carga térmica, contribuyendo al confort interior.

Para este trabajo se realizó una mezcla de concreto con una densidad de **1577.1194** kg/m³ de lo que se puede inferir que se trataría de un concreto ligero estructural.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

Se logró definir un diseño de mezcla óptimo de concreto ligero que presenta un alto comportamiento mecánico, alta estabilidad y trabajabilidad. Debido principalmente a los estudios preliminares de cada parámetro de mezcla, que permitió identificar el efecto de la variación de cada una de ellas en nuestro diseño.

Se comprueba que el uso de EPS como reemplazo de agregado grueso tiene un gran efecto para la disminución de la densidad de la mezcla y además permite generar un concreto de alta resistencia y de comportamiento autocompactante, ya que al ser un material hidrófobo no generó una alta absorción de agua.

Se demuestra que, manteniendo el peso total de diseño, con la relación correcta entre materiales, se consigue aumentar la resistencia mecánica; sin embargo, debido a la baja relación a/c de la mezcla, se deberá verificar la viabilidad en términos de costo, ya que se mejora la trabajabilidad de esta con una adecuada dosificación de aditivos.

Los diseños y ensayos realizados evidencian que el incremento en la densidad de las perlas de poliestireno expandido resulta en una distribución más homogénea en la mezcla del concreto. Lo que se traduce en un comportamiento similar ante cargas en todas las direcciones.

De los datos analizados, se infiere que un equilibrio adecuado en la composición de fibra es crucial para optimizar el rendimiento mecánico de las esferas. Estos hallazgos destacan la necesidad de considerar la proporción de fibra en el diseño de materiales para mejorar su resistencia y funcionalidad.

CAPÍTULO VII: REFERENCIAS

- Haghi, A. K., Arabani, M., & Ahmadi, H. (2006). Applications of expanded polystyrene (EPS) beads and polyamide-66 in civil engineering, Part One: Lightweight polymeric concrete. *Composite Interfaces*, 13(4-6), 441-450. <https://doi.org/10.1163/156855406777408575>
- Prasittisopin, L., Termkhajornkit, P., & Kim, Y. H. (2022). Review of concrete with expanded polystyrene (EPS): Performance and environmental aspects. *Journal Of Cleaner Production*, 366, 132919. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132919>
- Villalobos, R., Chávez, E., & Morales, E. (2017). CONCRETO LIGERO. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 2(1), 1374–1377. Recuperado a partir de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1270>
- Kosmatka, S. H., Panarese, W. C., & Bringas, M. S. (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto* (p. 158). Mexico City, Mexico: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concreto. Microestructura, propiedades e materiais*, 2. Cervantes, A. (2008). *Nuevas tecnologías en concretos concreto celular - concreto reforzado con fibra - concreto ligero estructural*. MEMORIAS 2008 CONGRESO NACIONAL DE ADMINISTRACIÓN Y TECNOLOGÍA PARA LA ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO.
- American Concrete Institute. (2023). PRC-213-14(23) Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete Reapproved 2023. https://www.concrete.org/publications/collectiononline/collectionsearch.aspx?m=abstract&MCP_DocID=4325
- Colombo Durán, J. P., & Mendoza Pérez, G. (2021). *Piedra pómez como agregado grueso para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural* [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio de la Universidad Ricardo Palma.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5ta ed.). Pearson Education.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (4ta ed.). McGraw-Hill Education.