

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

**Optimización de la dosificación del concreto estructural liviano  
con arcilla expandida como agregado grueso**

Por:

Fiorella Yaneth Coanqui Apaza

Asesor:

Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari

**Juliaca, diciembre de 2019**

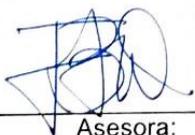
DECLARACION JURADA  
DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN

Ing. Juana Beatriz Aquise Pari, de la Facultad de Ingeniería y arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión. DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: "OPTIMIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO ESTRUCTURAL LIVIANO CON ARCILLA EXPANDIDA COMO AGREGADO GRUESO" constituye la memoria que presentan la estudiante Fiorella Yaneth Coanqui Apaza, para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 04 días del mes de diciembre del año 2019



---

Asesora:  
Ing. Juana Beatriz Aquise Pari

Optimización de la dosificación del concreto estructural liviano  
con arcilla expandida como agregado grueso

# TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Presentada para optar el grado de bachiller en ingeniería civil

## JURADO CALIFICADOR



Ing. Herson Duberly Pari Cusi  
Presidente



Ing. José Pacori Pacori  
Secretario



Ing. Percy Armando Cota Mayorga  
Vocal



Ing. Juana Beatriz Aquise Pari  
Asesora

Juliaca, 04 de diciembre de 2019

# “Optimización de la dosificación del concreto estructural liviano con arcilla expandida como agregado grueso”

Fiorella Yaneth Coanqui Apaza<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ingeniería y Arquitectura, EP. Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, 211100, Perú

---

## Resumen

Para proponer reducciones de carga permanente en las edificaciones y que éstas tengan un menor índice de vulnerabilidad a las fuerzas sísmicas y eólicas es necesario usar concreto estructural liviano con agregados artificiales livianos (arcilla expandida) que den ligereza al concreto y éste pueda alcanzar mayores alturas además reducir las dimensiones de los elementos estructurales consecuentemente la reducción del costo de la ejecución de las edificaciones, gracias a las propiedades térmicas ésta tecnología será de gran utilidad para zonas de alto friaje. El objetivo principal de este trabajo es, optimizar la dosificación apropiada del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y con esto la determinación del peso unitario del concreto liviano, su resistencia a la compresión y el análisis de costos unitarios con diferentes proporciones de arcilla expandida. Se realizaron métodos empíricos para obtener los objetivos. Después de haber analizado las propiedades y beneficios de la arcilla expandida como agregado grueso para usarse en concreto estructural liviano concluimos que la diferencia de costos con el hormigón es grande, la densidad está dentro de los parámetros de concreto liviano y la resistencia a la compresión no cumplió con las expectativas, sin embargo, se puede compensar con los beneficios que tiene la arcilla expandida. Sin embargo, la resistencia es menor que del concreto convencional por ello se recomienda usar un aditivo para que llegue a la resistencia deseada. Por lo tanto, la elaboración de concreto estructural liviano con arcilla expandida como agregado grueso es recomendada para usarse en edificaciones que requieran alcanzar grandes alturas.

*Palabras clave:* Arcilla expandida; concreto estructural liviano

---

## Abstract

To propose permanent load reductions in buildings and that they have a lower vulnerability index to seismic and wind forces it is necessary to use lightweight structural concrete with lightweight artificial aggregates (expanded clay) that give lightness to the concrete and this can reach greater heights in addition reduce the dimensions of the structural elements consequently the reduction of the cost of the execution of the buildings, thanks to the thermal properties this technology will be very useful for high cold areas. The main objective of this work is, to optimize the appropriate dosage of concrete with expanded clay as a coarse aggregate to be used in lightweight structural concrete  $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$  and with this the determination of the unit weight of the lightweight concrete, its compressive strength and the analysis of unit costs with different proportions of expanded clay. After analyzing the properties and benefits of expanded clay as a coarse aggregate for use in lightweight structural concrete, we conclude that the difference in costs with concrete is large, the density is within the parameters of lightweight concrete and the compressive strength is not It met expectations, however, it can be offset by the benefits of expanded clay. However, the strength is less than conventional concrete, so it is recommended to use an additive to reach the desired strength. Therefore, the elaboration of lightweight structural concrete with expanded clay as a coarse aggregate is recommended for use in buildings that require high heights.

*Keywords:* Expanded clay; lightweight structural concrete.

## 1. Introducción

El exceso de carga permanente en una estructura de altura considerable hace que esta sea más vulnerable a las fuerzas sísmicas y en menor proporción a las fuerzas eólicas ya que acumula un alto peso en la parte superior de la estructura comportándose como un péndulo ante las fuerzas mencionadas.

Las cargas estructurales se encuentran constituidas por el peso propio del concreto, si se empleara concreto estructural liviano para la construcción, podríamos disminuir considerablemente las cargas permanentes en las edificaciones. (Corrado & Quispe, 2018).

De acuerdo a la situación actual, las canteras que proveen agregado común para la preparación del concreto están siendo sobre explotadas causando daños ambientales y también a la salud de los pobladores por la polución de polvo fino, sin embargo, el problema más relevante es la falta de agregado común con el paso de los años, por lo tanto, si se usara un agregado artificial podríamos reducir considerablemente el uso de agregado común.

Las canteras de materiales de construcción están siendo explotadas por la demanda de agregado que hay en el área de la construcción actualmente, según investigaciones el apogeo de la construcción se dará durante muchos años más, sin embargo, no se considera la disponibilidad de agregado. (Aguedo, 2008).

Actualmente en el Perú no se produce concreto liviano para uso estructural. Al evaluar las propiedades del concreto con arcilla expandida como agregado grueso incrementará las investigaciones para la elaboración de concreto liviano con fines estructurales y el uso de concreto liviano estructural en los elementos estructurales de las edificaciones de gran altura y todas en particular.

El desarrollo de esta investigación, nos ayudará a disminuir las dimensiones de los elementos estructurales debido a la reducción de carga permanente en la estructura de tal modo que podrán alcanzar mayores alturas y por consiguiente la disminución de costos de la ejecución de las edificaciones; además, el uso de arcilla expandida para el concreto estructural liviano disminuirá la explotación de las canteras que proveen agregado para el diseño de mezcla del concreto común, la elaboración de arcilla expandida para usarse en concreto estructural liviano, generará nuevos empleos en el sector de la construcción y será de gran utilidad para zonas frías ya que dicho concreto tiene características aislantes térmicas, por consiguiente, el incremento en las investigaciones respecto a la producción de arcilla expandida industrializada con el fin de usarlo para la dosificación del concreto estructural liviano.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es, optimizar la dosificación apropiada del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano al mejor costo, además determinar el peso unitario del concreto con diferentes proporciones de arcilla expandida, medir la resistencia a la compresión del concreto y el análisis de costos unitarios de las diferentes dosificaciones realizadas.

Bustamante & Díaz (2014), evaluación de las propiedades mecánicas del concreto alivianado con perlas de poliestireno expandido reciclado, teniendo como resultado a los 28 días: peso unitario menor a 1800 kg/m<sup>3</sup>, resistencia a la compresión entre 70 kg/cm<sup>2</sup> y 175 kg/cm<sup>2</sup>.

Yagual & Villacís (2015), realizaron una tesis de investigación sobre hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida, teniendo como resultados: peso unitario entre 1594 kg/m<sup>3</sup> a 1781 kg/m<sup>3</sup>, resistencia a la compresión de 170 kg/cm<sup>2</sup> a 200 kg/cm<sup>2</sup>.

Paulino & Espino (2017), análisis comparativo de la utilización del concreto simple y el concreto liviano con perlitas de poliestireno como aislante térmico y acústico aplicado a unidades de albañilería en el Perú, teniendo como resultado a los 28 días: peso unitario entre 1500 kg/m<sup>3</sup> a 1600 kg/m<sup>3</sup>, resistencia a la compresión de 160 kg/cm<sup>2</sup>.

## **2. Desarrollo**

### **2.1. Marco teórico**

#### **2.1.1. Agregados gruesos liviano**

Se llama agregado liviano por su alto contenido en porosidad, es todo aquel agregado de baja densidad usado para producir concreto. Así mismo, todo agregado grueso liviano para uso estructural debe tener una densidad menor a 880 kg/m<sup>3</sup>. (Norma ASTM C 330).

#### **2.1.2. Arcilla expandida como agregado grueso**

También conocida como Arlita, es un material de origen artificial que tiene propiedades aislantes y es producido industrialmente. La materia prima para fabricar este producto es la arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto, luego del proceso de fabricación se obtiene un agregado duro, redondeado de alta porosidad (Hou Huang, Caicedo Chica, Falconí Pincay).

La arcilla expandida es un material aislante de origen cerámico con una estructura altamente porosa consecuencia de la expansión a altas temperaturas. Su elevada resistencia intrínseca la hace apta para su utilización tanto en morteros aislantes ultraligeros como en hormigones ligeros de altas prestaciones. (Guía Técnica Arlita Leca, Weber)

#### **2.1.3. Proceso de fabricación (Guía Técnica Arlita Leca, Weber)**

##### **2.1.3.1 Molturación de la arcilla**

- ✓ La arcilla expandida se fabrica a partir de arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto.
- ✓ Tras un primer proceso de desbaste, esta arcilla pura se almacena en naves cerradas para su homogeneización y secado.
- ✓ Una vez seca la arcilla, se muele hasta obtener un polvo impalpable denominado crudo.

##### **2.1.3.2 Elaboración de la arcilla**

- ✓ Tras un proceso de mezcla de la arcilla con aceite, la masa queda preparada para su cocción en el horno y posterior proceso de extrusión.

##### **2.1.3.3 Cocción de la arcilla**

- ✓ La expansión de la arcilla se produce en hornos rotatorios gracias a un choque térmico a 1.200 °C.
- ✓ A esta temperatura, la arcilla comienza a fundir al tiempo que se produce la combustión de la materia orgánica en el interior de la arcilla.

#### **2.1.4. Clasificación del concreto**

##### **2.1.4.1 Concreto de peso normal**

Concreto que contiene agregados finos y gruesos que cumplen con lo especificado en ASTM C33/C33M. Es un concreto que tiene un peso aproximado de 2300 Kg/m<sup>3</sup>.

##### **2.1.4.2 Concreto estructural**

Concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo concreto simple y reforzado. Todo concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo al concreto simple y al concreto reforzado. La resistencia mínima para todo concreto estructural deberá ser mayor de 17 MPa.

### 2.1.4.3 Concreto liviano

Concreto con agregado liviano que tiene una densidad de equilibrio, tal como la define ASTM C567, entre 1440 y 1840 Kg/m<sup>3</sup>.

### 2.1.4.4 Concreto estructural liviano

Concreto con agregado liviano que cumple con lo especificado, y tiene una densidad de equilibrio, determinada por “*Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete*” (ASTM C 567), que no excede los 1850 Kg/m<sup>3</sup>.

### 2.1.4.5 Concreto completamente liviano

Concreto de peso liviano que contiene agregado fino y grueso de peso liviano solamente y que cumple con lo especificado en ASTM C330M.

Tabla 1

*Propiedades de concreto liviano con arcilla expandida de horno de calcinación rotatorio (fina y gruesa)*

	Densidad aparente de la arcilla expandida (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad seca del concreto (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)	Contracción por secado, 10 <sup>-6</sup>	Conductividad térmica (Jm/m <sup>2</sup> s°C)
Fina	700	1200	17	600	0.38
Gruesa	400	1300	20	700	0.40

Fuente: Tecnología del concreto, Adam, M. Neville.

Tabla 2

*Propiedades de concreto de peso normal.*

Densidad del concreto (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)
2200 - 2600	20 – 35

Fuente: Tecnología del concreto, Adam, M. Neville.

## 2.2. Ventajas y desventajas del uso de concreto ligero con fines estructurales

### 2.2.1. Ventajas

- ✓ Disminuye la acumulación de carga muerta en la edificación y por consiguiente a la cimentación.
- ✓ Tiene características térmicas y acústicas por su alto contenido de aire y por lo tanto mayor resistencia al fuego debido a su bajo coeficiente de dilatación.
- ✓ Ahorro de energía eléctrica ya que se evita el uso de calefactores.
- ✓ La colocación y acabados son más económicos.
- ✓ Baja densidad y módulo de elasticidad.
- ✓ El fraguado es uniforme y controlado.

### 2.2.2. Desventajas

- ✓ Los agregados livianos son relativamente más caros que los agregados convencionales.
- ✓ Puede haber mayores deformaciones debido a que el módulo de elasticidad es menor.
- ✓ Debido a la absorción del agregado no se puede determinar el grado de incidencia de la relación agua/cemento.

- ✓ Se debe tener consideración el dimensionamiento de los elementos estructurales ya que la contracción por secado es mayor al concreto de peso normal.
- ✓ Inconvenientes en la elaboración y uso del concreto ligero debido a la falta de experiencia.
- ✓ El manejo, mezclado y la colocación requieren mayores precauciones que el concreto convencional.

### 2.3. Método y procedimiento de la dosificación del concreto estructural liviano

Se diseñó la dosificación siguiendo los parámetros de la norma ACI 211.2, este método es recomendado para concretos ligeros, el cual se describe a continuación:

#### 2.3.1. Paso 1:

Previo al diseño el hormigón liviano se debe obtener los pesos volumétricos sueltos (PVS) y porcentajes de absorción de los agregados, en este método de diseño no sugiere cantidades de agua para el mezclado por tal razón se empleó las cantidades recomendadas por el método del ACI 221.1. Según el tamaño del agregado grueso y el revenimiento a esta cantidad de agua se la corregirá según los porcentajes de absorción de los agregados. En la Tabla 4 se muestran como ejemplo los resultados de los agregados ensayados en el laboratorio y la corrección del volumen de agua necesario para la mezcla del hormigón liviano.

#### 2.3.2. Paso 2:

El porcentaje del volumen del agregado fino según este método puede variar entre 60 y 40%, este diseño se realizó con un (40%, 60%), (50%, 50%) y (60%, 40%) de agregado fino y agregado grueso (arcilla expandida) respectivamente.

Tabla 3  
*Resultado de los ensayos de los materiales requeridos.*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	Porcentaje de Absorción (%)	Densidad de los materiales (Kg/m <sup>3</sup> )
Arcilla Expandida	274	13.18	274
Agregado Fino	1631.93	2.46	1631.93
Cemento	2870	-	2870
Agua	-	-	1000

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.3.3. Paso 3:

La resistencia del hormigón liviano dependerá de la cantidad de cemento que se utilice en la mezcla, este método recomienda escoger tres cantidades de cemento para la resistencia que se diseñará, el hormigón liviano como se describe en la Tabla 5 en la que la resistencia varía según la cantidad de cemento que se emplee en la mezcla. Para esta investigación se tomó 400 kg de cemento para la dosificación 1, 450 kg de cemento para la dosificación 2 y 500 kg de cemento para la dosificación 3 para 1 m<sup>3</sup> de hormigón.

Tabla 4  
*Relación aproximada entre la resistencia del concreto del agregado ligero y su contenido de cemento.*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Contenido de cemento (Kg/m <sup>3</sup> )
176 – 17	De 250 a 420
211 – 21	De 280 a 450
281 – 28	De 330 a 510
352 – 34	De 390 a 560

#### 2.3.4. Paso 4

Para obtener el volumen de los agregados necesarios para el hormigón liviano se asumió un volumen total de 1.2 m<sup>3</sup> entre agregado grueso liviano y agregado fino necesarios para 1m<sup>3</sup>, el porcentaje de cada agregado puede variar entre (40%, 60%), (50 %, 50%) y (60% y 40%) como se explicó anteriormente, con estos datos y el peso volumétrico suelto mediante la siguiente fórmula se calculó el peso en kg por m<sup>3</sup> de los agregados para el diseño del hormigón liviano, con la sumatoria de estos pesos se puede tener una idea del peso total de 1 m<sup>3</sup> de hormigón liviano.

$$Peso = Vol\ total * Proporción\ de\ agregado * PVS$$

#### 2.3.5. Paso 5:

Una vez calculados los pesos de los materiales que se utilizaron para producir el hormigón liviano se procedió a calcular el volumen de los materiales que se emplearán en producir este hormigón, para el caso del cemento y el agua con la siguiente fórmula se divide el peso de estos materiales entre su densidad respectivamente.

$$Volumen = peso / densidad$$

#### 2.3.6. Paso 6:

Para obtener el volumen de los agregados se realizó la siguiente operación: De 1 m<sup>3</sup> se resta el volumen del cemento y el volumen del agua, esta diferencia será el volumen que ocuparán el agregado liviano y el agregado fino, según la proporción de cada agregado se obtuvieron los volúmenes de cada material que se emplearon el hormigón liviano. Para esta investigación se evaluaron 3 dosificaciones diferentes, la primera proporción de agregado fino es 40% y agregado grueso 60%, la segunda proporción de agregado fino es 50% y agregado grueso 50% y la tercera proporción de agregado fino es de 60% y agregado grueso 40%.

#### 2.3.7. Paso 7:

En el mismo diseño de concreto liviano se puede hacer el cálculo para las otras cantidades de cemento que escogieron previamente, se utilizó el factor de  $\delta$  relativa que se lo obtuvo de la división del peso y volumen de los agregados necesarios en 1 m<sup>3</sup>. Se utilizó la siguiente fórmula para la obtención del peso de los agregados tomando el volumen de agregado que se calculó en el paso anterior.

$$Peso = volumen\ del\ agregado * densidad\ relativa * 1000$$

#### 2.3.8. Paso 8:

A medida que aumente la cantidad de cemento se reducirá el agregado fino para mantener el mismo volumen de diseño, el volumen de agregado grueso liviano se mantendrá, con la siguiente formula se realiza la operación para el agregado fino.

$$Vol.\ de\ A.\ F = 1 - (Vol\ cemento + Vol\ agua + Vol\ A.\ G)$$

De 1 m<sup>3</sup> se restará el volumen del cemento, el volumen del agua y el volumen del agregado grueso liviano dando como resultado el volumen del agregado fino.

#### 2.3.9. Paso 9:

Finalmente, con los pesos antes calculados se puede determinar los pesos de los materiales para un volumen requerido, para esta investigación se tomó un volumen de 0.024 m<sup>3</sup> que corresponden a 15 probetas de 0.2 m de altura y 0.1 m de diámetro.

Tabla 5

*Dosificación 1 (60% Arcilla expandida y 40% Agregado fino).*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Cantidad de los materiales para 1m <sup>3</sup> (Kg)	Cantidad de probetas a ensayar	Volumen de los moldes para el vaciado (m <sup>3</sup> )	Cantidad de los materiales para las probetas (Kg)
Cemento Arcilla	400	5	0.0157	6.28
Expandida	197.28	5	0.0157	3.097
Agregado Fino	783.33	5	0.0157	12.298
Agua	261.63	5	0.0157	4.108

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

*Dosificación 2 (50% Arcilla expandida y 50% Agregado fino).*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Cantidad de los materiales para 1m <sup>3</sup> (Kg)	Cantidad de probetas a ensayar	Volumen de los moldes para el vaciado (m <sup>3</sup> )	Cantidad de los materiales para las probetas (Kg)
Cemento Arcilla	450	10	0.0157	7.065
Expandida	164.4	10	0.0157	2.581
Agregado Fino	979.158	10	0.0157	15.373
Agua	261.63	10	0.0157	4.108

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

*Dosificación 3 (40% Arcilla expandida y 60% Agregado fino).*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Cantidad de los materiales para 1m <sup>3</sup> (Kg)	Cantidad de probetas a ensayar	Volumen de los moldes para el vaciado (m <sup>3</sup> )	Cantidad de los materiales para las probetas (Kg)
Cemento Arcilla	500	10	0.0157	7.850
Expandida	131.52	10	0.0157	2.065
Agregado Fino	1174.99	10	0.0157	18.447
Agua	261.63	10	0.0157	4.108

Fuente: Elaboración propia.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Densidad y resistencia a la compresión del concreto

Se realizó los 3 diseños de mezcla de donde se obtuvieron los siguientes resultados, de donde observamos que la dosificación 3 (40% Arcilla expandida y 60% Agregado fino) es la dosificación que llega a mayores resistencias a las 7 y 14 días de curado; la densidad del concreto endurecido está dentro de los parámetros descritos por la norma para concretos livianos. En la Tabla 8, 9 y 10 observamos los resultados del curado a los 7 días y en las tablas 12, 13 y 14 observamos los resultados a los 14 días de curado.

##### 3.1.1. Edad 7 días

Tabla 8

*Resistencia a la compresión y la densidad del concreto (Dosificación 1, 60% A. Expandida y 40% A. Fino)*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Densidad del concreto (Kg/m <sup>3</sup> )
84.738 – 8.31	1486.624
75.73 – 7.427	1325.00
70.508 – 6.915	1614.00
66.88 – 6.559	1529.747

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

*Resistencia a la compresión y la densidad del concreto  
(Dosificación 2, 50% A. Expandida y 50% A. Fino)*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Densidad del concreto (Kg/m <sup>3</sup> )
111.983 – 10.98	1560.00
108.74 – 10.66	1648.052
97.82 – 9.593	1644.805
100.85 – 9.885	1742.208

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

*Resistencia a la compresión y la densidad del concreto  
(Dosificación 3, 40% A. Expandida y 60% A. Fino)*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Densidad del concreto (Kg/m <sup>3</sup> )
122.50 – 12.01	1741.401
117.872 – 11.56	1800.65
120.131 – 11.78	1761.039

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2. Edad 14 días

Tabla 11

*Resistencia a la compresión y la densidad del concreto  
(Dosificación 1, 60% A. Expandida y 40% A. Fino)*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Densidad del concreto (Kg/m <sup>3</sup> )
84.153 – 8.252	1524.841
78.728 – 7.721	1568.153
82.114 – 8.052	1471.975
79.366 – 7.784	1428.662

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

*Resistencia a la compresión y la densidad del concreto  
(Dosificación 2, 50% A. Expandida y 50% A. Fino)*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Densidad del concreto (Kg/m <sup>3</sup> )
82.404 – 8.081	1624.841
79.166 – 7.664	1691.72
103.471 – 10.15	1731.21
97.615 – 9.572	1650.955

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

*Resistencia a la compresión y la densidad del concreto (Dosificación 3, 40% A. Expandida y 60% A. Fino)*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Densidad del concreto (Kg/m <sup>3</sup> )
133.887 – 13.13	1804.459
124.66 – 12.23	1781.529
112.65 – 11.05	1676.43
125.201 – 12.28	1760.51

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Optimización de la dosificación

Tabla 14

*Dosificación óptima del concreto estructural liviano (40% Arcilla expandida y 60% Agregado fino)*

Resistencia a la compresión de cilindros estándar (Kg/cm <sup>2</sup> – Mpa)	Cantidad de los materiales para 1m <sup>3</sup> (Kg)	Cantidad de los materiales para las probetas (Kg)
Cemento	500	7.850
Arcilla Expandida	131.52	2.065
Agregado Fino	1174.99	18.447
Agua	261.63	4.108

### 3.3. Comparación de precios de la arcilla expandida y el hormigón

La venta de arcilla expandida se da por bolsas de 50 litros con un peso de 25 kg (Figura 2), el costo de cada bolsa de arcilla expandida es, S/. 130.00 nuevos soles de la marca Argex (empresa de Portugal), después de haber realizado los cálculos correspondientes concluimos que el costo de 1 kg de arcilla expandida es, S/. 10.40 nuevos soles, posteriormente se calcula que en un 1 m<sup>3</sup> según la óptima dosificación entra 131.52 kg de arcilla expandida, por lo tanto, el costo de 1 m<sup>3</sup> de arcilla expandida es, S/.1367.81 nuevos soles. El costo promedio de 15 m<sup>3</sup> de hormigón es, S/. 378.00 nuevos soles, en el distrito de Juliaca (Pancca W. 2018), por lo tanto, el costo de 1 m<sup>3</sup> de hormigón es, S/./25.20 nuevos soles.



Figura 1. Comparación de los costos de arcilla expandida y hormigón (1: A. Expandida, 2: Hormigón).

## 4. Conclusiones

La arcilla expandida tiene propiedades que benefician la elaboración de concreto estructural liviano ya que reducen las cargas muertas en la edificación y está es menos vulnerable a las fuerzas sísmicas y eólicas.

Para obtener hormigón liviano con arcilla expandida de densidad menor a 1850 kg/m<sup>3</sup> y de resistencia de diseño mayores a 20 MPa las dosificaciones adecuadas son con contenido de cemento superiores a 400 kg y con una proporción de 60% de agregado fino y 40% de arcilla expandida cumpliendo con la norma ACI 318, donde indica que la resistencia del hormigón liviano estructural debe ser mayor a 17 MPa a los 28 días.

El costo de la arcilla expandida es mayor al costo de hormigón para 1 m<sup>3</sup>, sin embargo, los beneficios de la utilización de concreto estructural liviano compensan el costo de dicho agregado artificial.

## Referencias

- ASTM C 330 - 05. (2006). Especificación normalizada para agregados livianos para concreto estructural. En American Society of Testing Materials, Annual Book of ASTM Standards.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto (1ra ed.). (PCA, Ed.) México.
- Neville, A. (1999). Properties of concrete (Fourth and Final Edition). (IMCYC, Ed.)
- Bustamante & Díaz (2014). Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto alivianado con perlas de poliestireno expandido reciclado.
- Panca W. (2018). Estudio comparativo del diseño, costo, producción y calidad del concreto dosificado in situ vs. premezclado, para zonas accesibles de las ciudades de Puno y Juliaca.
- Quispe G. Corrado J. (2018). Evaluación del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano.