




Uniaxial compression strength and unit weight of a concrete $f'c=210$ kg/cm² when replacing 7.5%, 12.5% and 22.5% of thick aggregate with expanded clay

Yohana Nair Castro Torres, Ing.¹; Miguel Angel, Mosqueira-Moreno Dr.²; Hermes Roberto Mosqueira Ramírez Dr.³; 1

Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. ycastrot15_2@unc.edu.pe

² Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. mmosqueira@unc.edu.pe

³ Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. hmosqueira@unc.edu.pe

Abstract— In this investigation, it was determined how much influence replacing the coarse aggregate with expanded clay in 7.5%, 12.5% and 22.5%, influences the compressive strength and unit weight of a concrete of $f'c=210$ kg/cm². The results were evaluated by comparing the standard sample made with river aggregates with the samples made by replacing the coarse aggregate with expanded clay. Uniaxial compressive strength was evaluated at ages 7, 14 and 28 days and unit weight in fresh and hardened state across 6"x12" specimens. The research seeks to obtain a structural concrete that meets the technical resistance standards, but reducing its weight, without reaching a lightweight concrete that modifies its properties. Well, by reducing the weight of the structure it allows us to have structures with smaller dimensions of its elements and acting forces, also reducing the amount of materials used and the cost of the structure. According to the results of the research, it is concluded that the unit weight in the fresh state decreases by 1.75%, 3.20% and 4.54%, respectively. And the unit weight in the hardened state after 28 days decreases by 2.89%, 3.91% and 4.91%, respectively. Likewise, the compressive strength at 28 days decreases by 6.66%, 12.34% and 14.36%, with respect to the standard sample, obtaining for all cases a structural concrete with a resistance greater than 210 kg/cm² and an average unit weight of 2200. kg/m³. These results indicate that the use of expanded clay can be viable by reducing the weight of the concrete, obtaining resistance greater than that stipulated in the Peruvian standard for structural concrete.

Keywords- Concrete, compressive strength, unit weight, expanded clay.

Resistencia a la compresión uniaxial y peso unitario de un concreto $f'_c=210$ kg/cm² al reemplazar el 7.5 %, 12.5 % y 22.5 % de agregado grueso por arcilla expandida

Yohana Nair Castro Torres, Ing.¹; Miguel Angel, Mosqueira-Moreno Dr.²; Hermes Roberto Mosqueira Ramírez Dr.³;

¹ Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. ycastrot15_2@unc.edu.pe

² Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. mmosqueira@unc.edu.pe

³ Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. hmosqueira@unc.edu.pe

Resumen– En esta investigación se determinó en cuanto influye el reemplazar el agregado grueso por arcilla expandida en 7.5 %, 12.5 % y 22.5 %, en la resistencia a la compresión y el peso unitario de un concreto de $f'_c=210$ kg/cm². Los resultados se evaluaron comparando la muestra patrón elaborada con agregados de río con las muestras elaborados al reemplazar el agregado grueso por arcilla expandida. La resistencia a la compresión uniaxial se evaluó a las edades de 7, 14 y 28 días y el peso unitario en estado fresco y endurecido a través de especímenes de 6"x12". La investigación busca obtener un concreto estructural que cumpla con las normas técnicas de resistencia, pero disminuyendo su peso, sin llegar a un concreto ligero que modifique sus propiedades. Pues al disminuir el peso de la estructura nos permite tener estructuras con menores dimensiones de sus elementos y fuerzas actuantes, reduciendo también la cantidad de materiales usados y el costo de la estructura. Según los resultados de la investigación se concluye que, el peso unitario en estado fresco disminuye en 1.75 %, 3.20 % y 4.54 %, respectivamente. Y el peso unitario en estado endurecido a los 28 días disminuye en 2.89 %, 3.91 % y 4.91 %, respectivamente. Asimismo, la resistencia a la compresión a 28 días disminuye en 6.66 %, 12.34 % y 14.36 %, con respecto a la muestra patrón, obteniendo para todos los casos un concreto estructural de resistencia mayor a 210 kg/cm² y Peso unitario promedio de 2200 kg/m³. Estos resultados nos indican que el uso de la arcilla expandida puede ser viable al reducir el peso del concreto obteniendo resistencias mayores a la estipulada en la norma peruana para ser un concreto estructural.

Palabras clave: Concreto, resistencia a la compresión, peso unitario, arcilla expandida.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este artículo está basado en la tesis “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'_c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

En la investigación se analizó cómo influye el agregado artificial en un concreto, al reemplazar parte del agregado grueso por porcentajes de arcilla expandida. [1]

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

El uso de agregados naturales se limita en muchos casos al cumplimiento de los requisitos en las normas técnicas de los proyectos, así como también en sus condiciones de operatividad. [2]

El objetivo de utilizar agregados artificiales como la arcilla expandida es brindar mayor homogeneidad en las propiedades del concreto, adicionando nuevas características como aislamiento térmico, acústico, resistencia al fuego, asimismo, la reducción en el peso volumétrico, disminuyendo las dimensiones de los elementos estructurales; brindando armonía entre la estructura y la arquitectura moderna [3].

El Perú y Cajamarca se encuentran en una zona de alta sismicidad, según la Norma E030 [4].; por lo que disminuir el peso de la estructura manteniendo la resistencia del concreto, permite que la estructura tenga un mejor comportamiento ante estas fuerzas externas pues se reduce el cortante en la base provocada por los sismos. Teniendo estructuras más seguras

Según el ICPA indica que los concretos livianos pueden producirse con diferentes agregados como verniculita, perlita, pumicita, entre otras; sin embargo, se sugiere usar arcilla expandida como lo estipula el ACI 213 si se desea obtener un concreto estructural, [5].

En Cajamarca, no existe estudios referentes al uso de la arcilla expandida como material de reemplazo del agregado grueso y de cómo modificaría el peso unitario y la resistencia a la compresión de un concreto. En la investigación se consideró como porcentajes de reemplazo el 7.5 %, 12.5 % y 22.5 %. Se considero determinar su efecto en la resistencia a compresión y peso volumétrico, ya que estas propiedades dependen en gran parte de las características de los materiales usados en la mezcla y de su dosificación. [1]

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación realizada utiliza el método experimental, porque buscó comparar el peso unitario y la resistencia a la compresión de un concreto con agregado natural de río y un concreto con agregado grueso reemplazado por 7.5 %, 12.5 %

y 22.5 % de arcilla expandida. Es de tipo aplicada, enfocándose en evaluar un determinado problema, asimismo tiene un nivel correlacional, que busca la relación de interdependencia entre dos variables competentes.

A. Materiales

- Agregados (Fino y grueso)
- Cemento Portland Tipo I
- Agua
- Arcilla expandida-Argex

B. Tratamientos en estudio

Se realizó a través de diseños de mezcla, el método utilizado fue el Módulo de Fineza de los agregados, considerando lo siguiente:

- Tratamiento 1: diseño de muestra patrón, especímenes de concreto con agregados convencionales.
- Tratamiento 2: diseño con reemplazo de agregado grueso por 7.5 % de arcilla expandida.
- Tratamiento 3: diseño con reemplazo de agregado grueso por 12.5 % de arcilla expandida.
- Tratamiento 4: diseño con reemplazo de agregado grueso por 22.5 % de arcilla expandida.

III. Muestra

La norma técnica E060 de concreto armado, sugiere para determinar la resistencia en obra analizar dos probetas cilíndricas ensayadas a los 28 días, [6]. Sin embargo, en esta investigación se consideró un muestreo no probabilístico, trabajando con 6 especímenes de concreto; por tratamiento y edad, debido a consideraciones de cantidad y variación de resultados para obtener un análisis más confiable de los resultados.

TABLA 1

Cantidad de especímenes por edad y tratamiento para ensayos

Edad del ensayo (días)	Concreto patrón	Concreto con reemplazo del AG por Arcilla expandida			Subtotal
		7.5 %	12.5 %	22.5%	
7	6	6	6	6	24
14	6	6	6	6	24
28	6	6	6	6	24
Total					72

IV. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Para realizar la investigación se analizó las propiedades de los agregados a través de las siguientes normativas:

- A. Extracción y toma de muestras de los agregados (NTP 400.010).
- B. Método de cuarteo (NTP 400.043).
- C. Análisis Granulométrico de agregado (NTP 400.012)
- D. Material más fino que pasa el Tamiz de 75 µm (N° 200) (NTP 400.018).
- E. Peso Unitario Suelto o compactado (NTP 400.017, NTP 400.037).

- F. Peso Específico y Absorción (NTP 400.021).
- G. Contenido de vacíos en los agregados (NTP 400.037).
- H. Contenido de Humedad (NTP 339.185).
- I. Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños menores de 1 1/2" por medio de la máquina de los ángeles (NTP 400.019).
- J. Elaboración y curado de especímenes de concreto laboratorio (NTP 339.183).
- K. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto (NTP 339.046).
- L. Ensayo normalizado para la resistencia a compresión del concreto, en muestras cilíndricas (NTP 339.034).

V. Técnicas para procesamiento y análisis de la información

Para analizar la información y las diferencias entre los 4 tratamientos realizados en la investigación, se utilizó métodos estadísticos con el programa Minitab 21, que procesa la información cuantitativa y gráficos de datos por medio del análisis de varianza o ANOVA y la prueba de rango Tukey, respectivamente, utilizando la guía Minitab Statistical Software [7].

A. Gráfica de cajas

La gráfica nos muestra la distribución de datos para una variable continua. La línea central; indica la mediana de los datos, los extremos de arriba y abajo; indican los cuantiles o percentiles, 25 y 75, y las líneas conocidas como bigotes; representan la varianza esperada de los datos. Si hay datos encima o debajo de los extremos de los bigotes se identifican como puntos con valores atípicos o erróneos. [8]

B. Gráfica de valores individuales

Esta gráfica nos sirve para comparar e identificar los valores atípicos, así como también evaluar y visualizar la distribución de los datos de la muestra con un valor real de cada observación en un grupo de valores. [8]

C. Gráfica de intervalo

Estos gráficos se utilizan para representar un conjunto de datos por cada grupo de categorías, representado gráficamente sus valores máximos y mínimos, su media y el intervalo de confianza, [8]. Las gráficas de intervalo muestran lo siguiente:

- Evalúan y comparan los intervalos de confianza de las medias de los grupos
- Muestra un intervalo de confianza de 95 % de la media de cada grupo.
- El tamaño de muestra influye en el intervalo de confianza, a menor muestra; el nivel de confianza puede ser menor y a mayor muestra; se puede generar un intervalo que contenga correctamente la media poblacional.

La Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto [9], nos ayuda a comparar y analizar la información obtenida de los ensayos, como se muestra a continuación:

TABLA 2
Estándares para el control del concreto para $f'c \leq 35$ MPa

Clase de operación	Desviación estándar para los diferentes estándares de control (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo
Tandas de ensayo de laboratorio	< 14.1	14.1-17.6	17.6-21.1	21.1-24.6	> 24.6

Fuente: ACI 214-77 (2017)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

3.1. Resultados del peso unitario del concreto

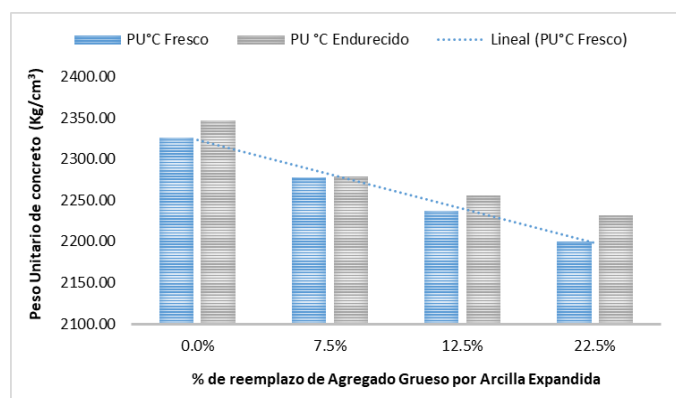


Figura 1. Peso unitario del concreto en estado fresco y endurecido, obtenida de “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

Según la figura 1, el peso unitario promedio mínimo es de 2200 kg/m³ para un reemplazo de 22.5 % de arcilla expandida, siendo 8.3 % menor al peso unitario promedio de un concreto convencional que es 2400 kg/m³ y 6.3 % menor al concreto patrón fabricado con agregados de río de peso 2347.13 kg/m³.

TABLA 3:

Análisis de la varianza correspondiente al peso volumétrico del concreto endurecido a los 28 días

Fuente de variabilidad	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	44449.1	14816.4	303.55	0.000
Error	20	976.2	48.8		
Total	23	45425.3			

Nota:

Si (0.01 < P < 0.05) hay significación estadística en el ANOVA
 Si (P < 0.01) hay una alta significación estadística en el ANOVA
 Si (P > 0.05) no hay diferencia estadística en el ANOVA
 GL (grados de libertad)

MC (Media de los cuadrados)
 SC (suma de cuadrado)
 Valor F (F calculado)
 Valor P (valor de probabilidad).

Como se puede apreciar en la **tabla 3**, el valor P es 0.000, lo cual nos indica que existe alta significación estadística en el ANOVA, por lo que el reemplazo del agregado grueso por arcilla expandida tiene efecto significativo en el peso volumétrico del concreto endurecido los 28 días.

TABLA 4

Medias del peso volumétrico del concreto endurecido a los 28 días

Tratamiento	No.	Media (kg/m ³)	Desv. Est.	IC de 95%
0% AE	6	2347.13	4.93	(2341.18; 2353.08)
7.5% AE	6	2255.42	7.78	(2249.47; 2261.37)
12.5% AE	6	2231.98	6.75	(2226.03; 2237.93)
22.5% AE	6	2279.29	8.05	(2273.34; 2285.24)

Desviación estándar agrupada = 6.98640

En la **tabla 4**, se aprecia que la desviación estándar de los tratamientos es de 4.93, 7.78, 6.75, 8.05 para 0 %, 7.5 %, 12.5 % y 22.5 % de reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida. Además, la desviación estándar agrupada es de 6.986 la cual es menor al 11.4 que es el establecido en la norma ACI 214-77 (2017) para un nivel excelente de control. [9] Por lo cual nuestros resultados tienen alta confiabilidad y precisión.

TABLA 5

Información agrupada del peso volumétrico del concreto endurecido a los 28 días, con el método Tukey y una confianza del 95%

Tratamiento (orden de mérito)	No.	Media (kg/m ³)	Agrupación
0 % AE	6	2347.13	A
7.5 % AE	6	2279.29	B
12.5 % AE	6	2255.42	C
22.5 % AE	6	2231.98	D

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Respecto a la **tabla 5**, el grupo A corresponde al 0% de reemplazo del agregado grueso por Arcilla expandida (muestra patrón), en el que la media de este grupo es 2347.13 kg/m³. El grupo B, C y D corresponden al 7.5 %, 12.5 % y 22.5 % de reemplazo del agregado grueso por arcilla expandida, con medias de 2279.29, 2255.42, 2231.98 kg/cm³, respectivamente.

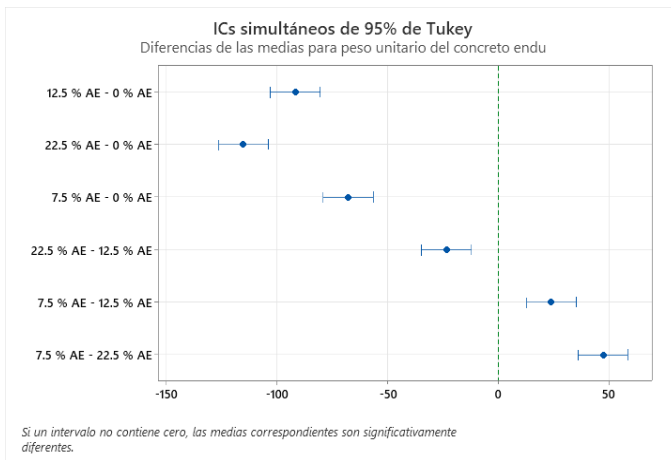


Figura 2. Diferencia de las medias para peso unitario del concreto endurecido obtenida de “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

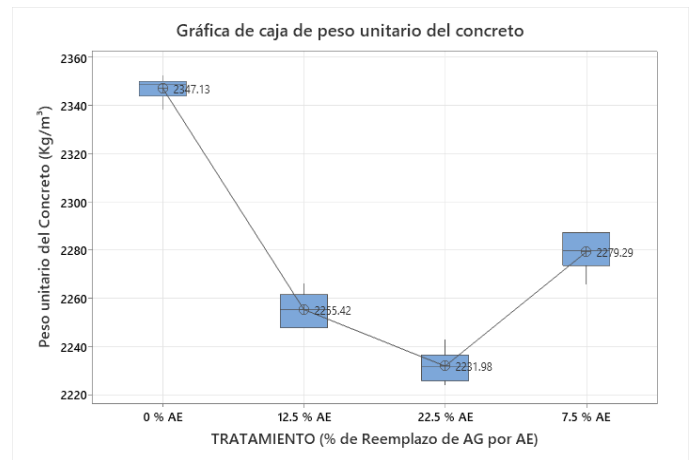


Figura 5. Gráfica de cajas del peso unitario del concreto obtenida de “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

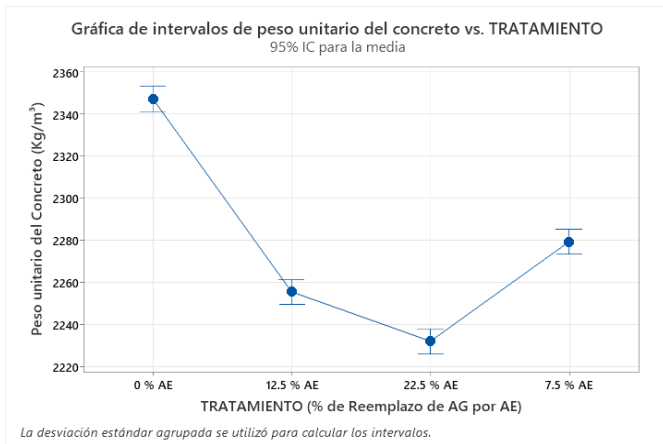


Figura 3. Gráfica de intervalos del peso unitario del concreto endurecido obtenida de “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

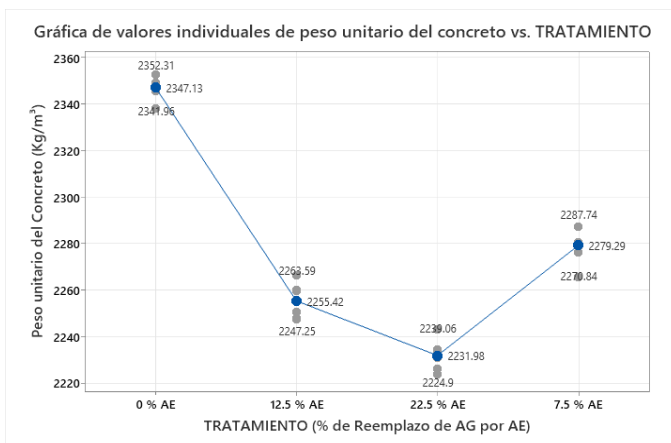


Figura 4. Gráfica de valores individuales del peso unitario del concreto obtenida de “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

Con la **figura 2**, **figura 3**, **figura 4** y la **figura 5**, se evalúa el alcance de los tratamientos de la siguiente manera:

- 0 % de reemplazo de agregado grueso AG por Arcilla expandida (AE): como la media 2347.13 kg/cm² es menor a la mediana 2348.73 kg/cm², la distribución es asimétrica; y su rango intercuartil de 6.26.
- 7.5 % de reemplazo de agregado grueso AG por Arcilla expandida (AE): como la media 2279.29 kg/cm² es menor a la mediana 2279.64 kg/cm², la distribución es asimétrica positiva; y su rango intercuartil de 13.66.
- 12.5 % de reemplazo de agregado grueso AG por Arcilla expandida (AE): como la media 2255.42 muy semejante a la mediana 2255.27, la distribución es homogénea; y su rango intercuartil de 13.79.
- 22.5 % de reemplazo de agregado grueso AG por Arcilla expandida (AE): como la media 2231.98 kg/cm² es muy semejante a la mediana 2231.95 kg/cm², la distribución es homogénea; y su rango intercuartil de 10.81.

3.2. Resultados de la resistencia a compresión del concreto

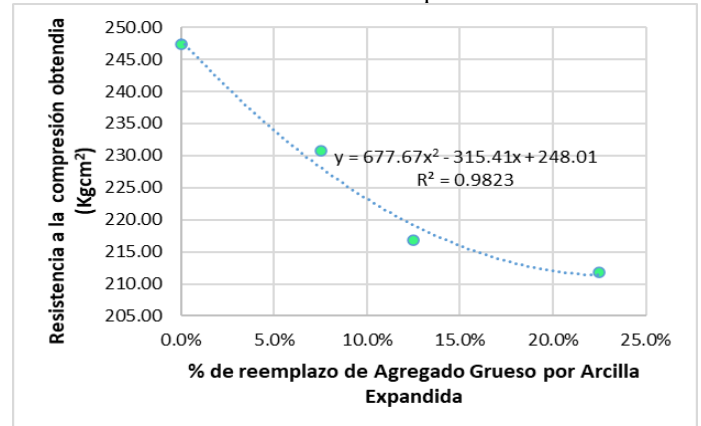


Figura 6. Resistencia a la compresión promedio del concreto a los 28 días, obtenida de “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

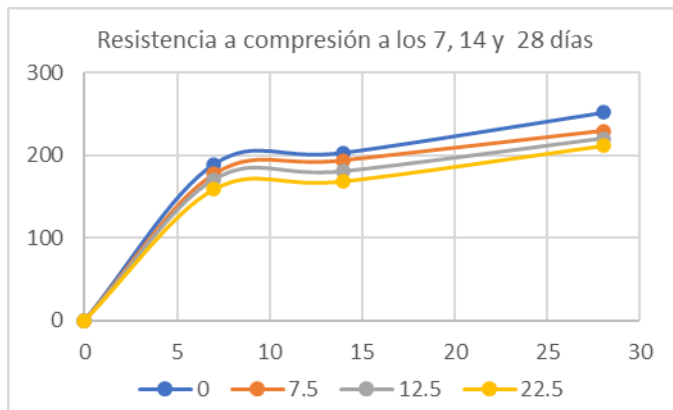


Figura 7. Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, obtenida de “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

Respecto a la **figura 6** y **figura 7**, se obtiene una media respecto a cada tratamiento de:

- La resistencia obtenida a los 7 días; el concreto patrón tiene un valor de resistencia promedio máxima de 188.66 kg/cm² (89.66 %), el tratamiento con 22.5% de reemplazo de AG por AE, tienen los valores de resistencia promedio mínima de 152.68 kg/cm² (72.10 %).
- La resistencia obtenida a los 14 días; el concreto patrón tiene un valor de resistencia promedio máxima de 202.93 kg/cm² (96.63 %), el tratamiento con 22.5% de reemplazo de AG por AE, tienen los valores de resistencia promedio mínima de 170.37 kg/cm² (81.13 %).
- La resistencia obtenida a los 28 días; el concreto patrón tiene un valor de resistencia promedio máxima de 247.30 kg/cm² (117.76 %), el tratamiento con 22.5% de reemplazo de AG por AE, tienen los valores de resistencia promedio mínima de 211.79 kg/cm² (100.85 %).

La resistencia mínima deber alcanzar un 70 % a los 7 días, 80% a los 14 días y 100 % a los 28 días.

Tabla 6
Variación de la resistencia a compresión según tratamientos a 28 días

Tratamiento	1	2	3	4
	0 % AE	7.5 % AE	12.5 % AE	22.5 % AE
Media (kg/cm ²)	247.297	230.627	216.777	211.791
Variación (%)		-6.66	-12.34	-14.36

Fuente: Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

La **tabla 6**, muestra que respecto al tratamiento 1 de la muestra patrón, los tratamientos 2, 3 y 4 con reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida, disminuyeron en 6.66 %; 12.34 %, y 14.36 % respectivamente a los 28 días su

resistencia a compresión, sin embargo, debemos señalar que todos los tratamientos superaron el $f'c= 210$ kg/cm² de diseño.

3.2.1. ANOVA de la resistencia a compresión a los 28 días.

TABLA 7
Análisis de la varianza de la resistencia a compresión a los 28 días

Fuente de variabilidad	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	5322.59	1774.20	459.86	0.000
Error	24	92.60	3.86		
Total	27	5415.18			

Fuente: Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

- Si ($0.01 < P < 0.05$) hay significación estadística en el ANOVA
- Si ($P < 0.01$) hay una alta significación estadística en el ANOVA
- Si ($P > 0.05$) no hay diferencia estadística en el ANOVA
- GL (grados de libertad)
- MC (Media de los cuadrados)
- SC (suma de cuadrado)
- Valor F (F calculado)
- Valor P (valor de probabilidad).

En la **tabla 7**, se puede apreciar que el valor P es 0.000, lo cual nos indica que existe alta significación estadística en el ANOVA, por lo que el reemplazo del agregado grueso por arcilla expandida tiene efecto significativo en la resistencia a compresión del concreto a los 28 días.

TABLA 8
Medias de la Resistencia a compresión a los 28 días

Tratamiento	No.	Media (kg/cm ²)	Desv. Est.	IC de 95%
0% AE	7	247.297	2.173	(245.765; 248.829)
7.5% AE	7	230.627	1.998	(229.095; 232.159)
12.5 % AE	7	216.777	2.093	(215.245; 218.309)
22.5 % AE	7	211.791	1.528	(210.259; 213.324)

Desviación estándar agrupada = 1.96422

Fuente: Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

Comparando la **tabla 8** con la **tabla 2**, aprecia que la desviación estándar de los tratamientos de 2.17, 1998, 2.093 y 1.528; los cuales son menores a 11.4 que es el establecido en la norma ACI 214-77 (2017) para un nivel excelente de control. [4] Por lo cual nuestros resultados tienen alta confiabilidad y precisión.

TABLA 9

Información agrupada de la Resistencia a compresión a los 28 días, con el método Tukey y una confianza del 95%.

Tratamiento (orden de mérito)	No.	Media (kg/cm ²)	Agrupación
0 % AE	7	247.297	A
7.5 % AE	7	230.627	B
12.5 % AE	7	216.777	C
22.5 % AE	7	211.791	D

Fuente: Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto f'c=210 kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

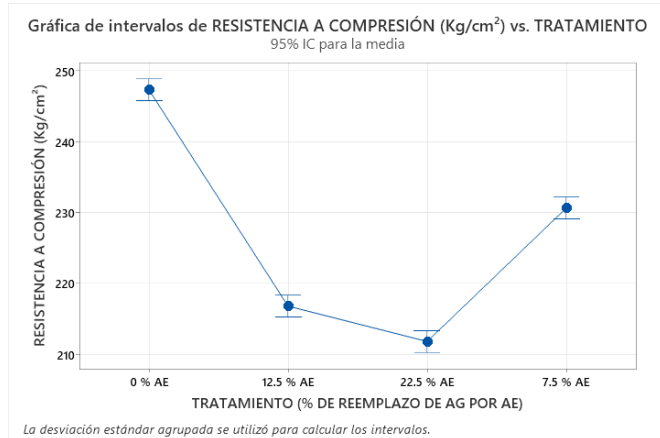


Figura 8. Gráfica de intervalos de la resistencia a la compresión a los 28 días, obtenida de “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto f'c=210 kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

Usando sincrónicamente la **tabla 9** y la **figura 8**, se determinó que las diferencias de medias entre los tratamientos son: El grupo A corresponde al 0 % de reemplazo del agregado grueso por Arcilla expandida (muestra patrón), en el que la media de este grupo es 247.297 kg/cm². El grupo B, C y D corresponden al 7.5 %, 12.5 % y 22.5 % de reemplazo del agregado grueso por Arcilla expandida, con medias de 230.62, 216.777, 216.777 y 211.791 kg/cm², respectivamente.

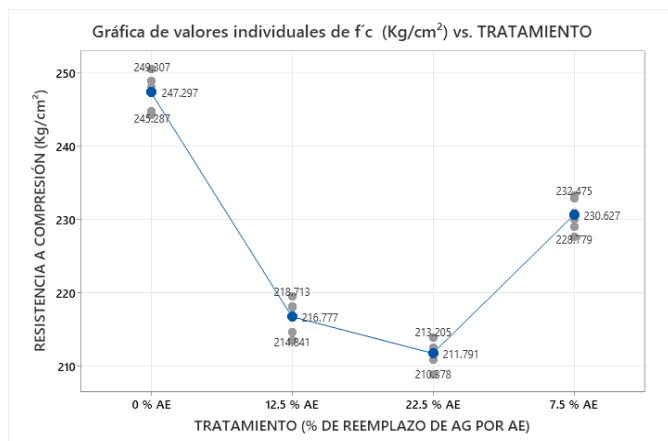


Figura 9. Gráfica de valores individuales de la resistencia a la compresión a los 28 días, obtenida de “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto f'c=210 kg/cm² al reemplazar parte del agregado

grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

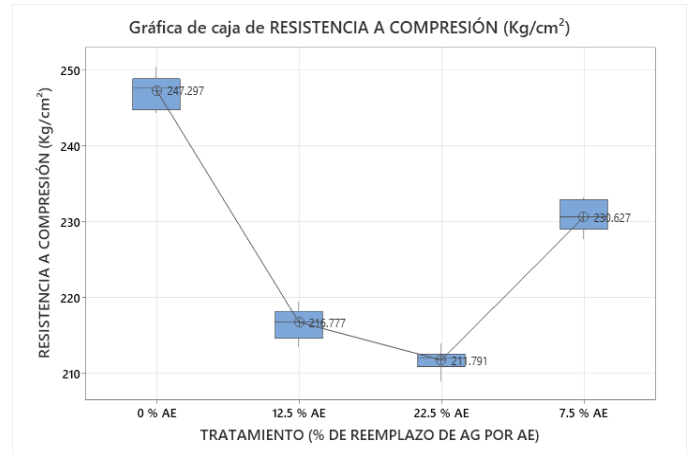


Figura 10. Gráfica de cajas de la resistencia a la compresión a los 28 días, obtenida de “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto f'c=210 kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. [1]

De la **figura 9** y **figura 10** se puede observar que:

- 0 % AE.: como la media 247.297 es ligeramente menor mediana 247.64, la distribución es asimétrica; y su rango intercuartil de 4.1.
- 7.5% AE.: como la media 230.627 es semejante a la mediana 230.63, la distribución es homogénea; y su rango intercuartil de 3.93.
- 12.5% AE.: como la media 216.777 es semejante mediana 216.78, la distribución homogénea; y su rango intercuartil de 3.59.
- 22.5% AE.: como la media 211.791 es ligeramente menor a la mediana 212.11, la distribución es asimétrica; y su rango intercuartil de 1.65.

IV. CONCLUSIONES

El peso unitario del concreto endurecido a los 28 días para el concreto patrón es de 2347.13 kg/m³ y para los concreto con reemplazo de AG por arcilla expandida de 7.5 %, 12.5 % y 22.5 % es 2279.29 kg/m³, 2255.42 kg/m³ y 2231.98 kg/m³, respectivamente. Por lo tanto, varió positivamente en 2.89 %, 3.91 % y 4.91 % al disminuir el peso respecto al concreto patrón.

La resistencia a compresión promedio a la edad de 28 días del concreto f'c=210 kg/cm² con reemplazo de agregado grueso por 7.5%, 12.5% y 22.5% de arcilla expandida Argex, presentó una disminución de 6.66 %, 12.34 % y 14.36 % respecto a la resistencia obtenida por el concreto patrón.

Si embargo para todos los porcentajes de reemplazo, la resistencia promedio del concreto patrón es 247.30 kg/cm² y de 230.82 kg/cm²; 216.78 kg/cm² y 211.79 kg/cm², para cada porcentaje de reemplazo, superan lo mínimo establecido por la

NT E060 de 21 MPA considerándose un concreto que puede ser usado en zonas de alta sismicidad.

El valor del costo – beneficio del concreto con arcilla expandida aumenta en un 5 %, respecto al costo de un concreto con agregado convencional.

REFERENCIAS

- [1] Y. Castro Torres “Variación del peso volumétrico y la resistencia a la compresión de un concreto $f_c=210$ kg/cm² al reemplazar parte del agregado grueso por arcilla expandida en diferentes porcentajes” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca., Tesis grado de Titulación, Univ. Pub. UNC, 2023.
- [2] A. Guerrero, “Estudio de las propiedades de los agregados de las Canteras: Río Yuracyacu, Naranjillo y San Francisco, y su influencia en la resistencia del concreto empleado en la construcción de obras civiles en el Distrito de Nueva Cajamarca,” del repositorio de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, Tesis grado de titulación, Univ. Priv. UCSS, 2020. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/990>
- [3] B. Kanagaraj, N. Anand, B. Praveen, S. Kandasami, E. Lubloy and M. Naser, “Physical characteristics and mechanical properties of a sustainable lightweight geopolymer based self-compacting concrete with expanded clay aggregates”, 2023, <https://www.sciencedirect.com/journal/developments-in-the-built-environment>
- [4] Norma Técnica, E030, Diseño Sismorresistente, 2019.
- [5] Instituto del Cemento Portland Argentino, ICPA, “Hormigones y sus materiales componentes”, 2021.
- [6] Norma Técnica, E060, Concreto armado, 2020.
- [7] Guía Minitab Statistical Software, 2024. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/>
- [8] A. Vásquez, “Influencia sobre la resistencia a compresión de un concreto ligero estructural, al reemplazar un porcentaje de traquita; saturada y seca por el agregado grueso”, del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca., Tesis Posgrado, Univ. Pub. UNC, 2022.
- [9] Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto, ACI 214 RS-11, 2017.