

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE BLOQUES DE CONCRETO CON INCORPORACIÓN DE ASERRÍN, PERLAS DE POLIESTIRENO Y CAUCHO

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE BLOCKS WITH THE INCORPORATION OF SAWDUST, POLYSTYRENE BEADS AND RUBBER

Lindaura Lizbet, Palomino Salvatierra¹; Yessica Dany, Hoyos Vasquez²; Leonel, Chahuares Paucar³

Recibido 01/12/2024; Aprobado: 11/05/2025

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica262.1>

RESUMEN

En esta investigación se optó por incorporar materiales reutilizables, como aserrín, perlas de poliestireno y caucho, en la fabricación de bloques de concreto, con el propósito de evaluar sus propiedades físicas y mecánicas. Se fabricaron 315 muestras mediante el uso de una máquina bloquera, con moldes de 12 cm x 40 cm x 18 cm, con dosificaciones 1:6, 1:7 y 1:8, y porcentajes de adición de aserrín, perlas de poliestireno y caucho del 10 % y 20 % respecto del agregado. Se realizaron los ensayos de variación dimensional, alabeo, absorción y resistencia a compresión axial a los bloques de concreto, de los cuales se determinó que la variación dimensional y el alabeo no dependen exclusivamente de la adición de perlas de poliestireno, caucho y aserrín. Además, se identificó que los bloques con mayor absorción fueron los correspondientes a la incorporación del 20 % de aserrín con dosificación 1:8. En la resistencia a compresión axial, se determinó que el porcentaje óptimo de adición de perlas de poliestireno y caucho en los bloques con dosificaciones 1:6, 1:7 y 1:8 es del 10 %, alcanzando el esfuerzo mínimo requerido de 4,90 MPa a los 28 días de curado. Sin embargo, los bloques de concreto con aserrín alcanzaron esta resistencia con un 10 % de adición y una dosificación de 1:6. Los resultados determinaron las condiciones óptimas para fabricar bloques de concreto con materiales adicionales, cumpliendo las Normas Técnicas Peruanas y los requisitos del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Palabras clave: *materiales de construcción; materiales reutilizables; bloques de concreto; resistencia de materiales*

ABSTRACT

In this research, it was decided to incorporate reusable materials, such as sawdust, polystyrene beads, and rubber, in the manufacture of concrete blocks, with the purpose of evaluating their physical and mechanical properties. A total of 315 samples were manufactured using a block-making machine, with molds measuring 12 cm x 40 cm x 18 cm, with dosages of 1:6, 1:7, and 1:8, and addition percentages of sawdust, polystyrene beads, and rubber of 10% and 20% with respect to the aggregate. Dimensional variation, warping, absorption, and axial compressive strength tests were performed on the concrete blocks, from which it was determined that dimensional variation and warping do not depend exclusively on the addition of polystyrene beads, rubber, and sawdust. Furthermore, it was identified that the blocks with the highest absorption were those corresponding to the incorporation of 20% sawdust with a dosage of 1:8. In terms of axial compressive strength, the optimal percentage of polystyrene and rubber beads added to blocks with 1:6, 1:7, and 1:8 ratios were determined to be 10%, achieving the minimum required stress of 4.90 MPa after 28 days of curing. However, sawdust concrete blocks achieved this strength with a 10% addition and a 1:6 ratio. The results determined the optimal conditions for manufacturing concrete blocks with additional materials, complying with Peruvian Technical Standards and the requirements of the National Building Regulations.

Keywords: *construction materials; reusable materials; concrete blocks; material strength*

¹Lindaura Lizbet, Palomino Salvatierra. Ingeniero Civil. Universidad Peruana Unión. Especialista en estudios y proyectos en la Municipalidad Distrital de Pangoa. Perú. Correo: lindaurapalomino@upeu.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5841-972X>

²Yessica Dany, Hoyos Vásquez. Ingeniero civil. Universidad Peruana Unión. Asistente Técnico en el Programa Nacional de Vivienda Rural. Asistente Técnico. Correo: yessicahoyos@upeu.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0857-7426>

³Leonel, Chahuares Paucar. Mg. Ingeniería Civil. Director de Escuela de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión. Perú. Correo: leonel_cp@upeu.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9649-8450>

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el material más usado en la construcción peruana es el concreto, debido a su durabilidad, versatilidad y resistencia [1], por lo que, se han realizado investigaciones tales como el uso de aditivos, adiciones, nanotecnología, optimización de la relación agua-cemento, curado térmico, tecnología de fibras y reciclaje de materiales, a fin de mejorar y evaluar sus propiedades físicas, sobre todo mecánicas. En la presente investigación, el interés principal fue evaluar el comportamiento del concreto, específicamente en bloques con adición de materiales que son considerados desechables y que, al ser reutilizados, contribuyen a la sostenibilidad ambiental y al cuidado de la población expuesta a estos materiales contaminantes.

Entre los materiales más comunes que son desechados se encuentra el caucho, generando por el poco conocimiento en temas de reutilización de los residuos, la influencia de razones culturales y la falta de educación que se brinda a la población en cuanto a su reutilización y disposición final [2]. Frente a ello, investigadores determinaron que el caucho granulado es una excelente alternativa de agregado, mejorando la resistencia a la compresión.

Por otro lado, otro material contaminante y producido en gran cantidad en los aserraderos es el aserrín. Muchos de estos constituyen depósitos que aumentan la probabilidad de propagación de hongos u otras enfermedades similares; por ello, surge la necesidad de reutilizar dicho material orgánico en una construcción sostenible, lo que se evidencia en la ejecución de investigaciones sobre ladrillos ecológicos.

Finalmente, se tiene perlas de poliestireno, un material altamente contaminante para el ecosistema marino. Debido a esto, su producción ha sido prohibida en muchos países, incluido el Perú, donde en el año 2019 se promulgó la Ley N° 30884 [3], la cual regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables. Por lo cual, mediante la reutilización de perlas de

poliestireno, que además es un excelente aislante térmico, eléctrico y acústico, se pretende contribuir a la reducción de la contaminación sonora y ambiental. Actualmente, este material se emplea en la construcción como reemplazo de los ladrillos de techo, entre ellos los casetones. Asimismo, perlas de poliestireno es usado en juntas de dilatación [4].

Debido a lo expuesto, esta investigación se enfocó en la fabricación y evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto con incorporación de perlas de poliestireno, caucho granulado y aserrín, en un porcentaje de 10 % y 20 % respecto del agregado, en las dosificaciones 1:6,1:7 y 1:8 (1 de cemento tipo I y 6,7 y 8 de agregado granular).

2. ANTECEDENTES

Se han desarrollado diversos estudios en relación con el tema de investigación, en cuanto a la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto, con la adición y/o sustitución de materiales considerados desechables. Por ejemplo, se realizó un estudio de la influencia de las partículas de caucho en la resistencia a la compresión de bloques de concreto, con el objetivo de disminuir el impacto ambiental negativo generado por los neumáticos. Consistió en la sustitución de agregado fino por partículas de caucho en porcentajes del 10 %, 15 % y 20 %. Los resultados obtenidos al realizar el ensayo de resistencia a la compresión mostraron que la sustitución del agregado fino por partículas de caucho en un 20 % corresponde a una resistencia mínima neta de 3,69 MPa; por lo tanto, fue considerada viable. Además, un bloque de concreto con sustitución parcial de agregado fino por partículas de caucho resulta más económico que un bloque convencional [5].

Por otro lado, en otro estudio [6], se buscó determinar la proporción adecuada de materiales y la adición de perlas de poliestireno en la fabricación de bloques de concreto ligero de medidas de 90 x 190 x 390 mm, buscando a la vez cumplir con las resistencias mínimas requeridas y establecidas

en el RNE E.070 [7] y la NTP 399.602 [8]. Los resultados obtenidos mostraron que el espécimen de prueba óptimo correspondía a la densidad de 159,90 MPa, cumpliendo con los requisitos mínimos de resistencia a la compresión en muros portantes y no portantes.

Asimismo, Sánchez [9], en su estudio, analizó el comportamiento del aserrín adicionado a los bloques de concreto en cuanto a resistencia a la compresión, asentamiento, absorción y densidad. Se realizó la sustitución parcial de la arena por aserrín en porcentajes del 10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 %. De los resultados obtenidos se concluyó que el diseño óptimo para bloques en muros portantes se produjo en la sustitución del 30 % de aserrín por arena, con una resistencia de 7,06 MPa, absorción del 9,5 % y densidad de 1916 kg/m³; sin embargo, para bloques en muros no portantes, el diseño óptimo correspondió a la sustitución de 40 %, con una resistencia de 4,80 MPa, absorción del 10,7 % y densidad de 1883 kg/m³.

3. METODOLOGÍA

La investigación tiene un enfoque experimental e involucra:

- 3 variables independientes como lo es el tipo de material incorporado: perlas de poliestireno, caucho granulado y aserrín, porcentaje de incorporación de los materiales (10 % y 20 %) y dosificación de la mezcla (1:6, 1:7 y 1:8).
- 2 variables dependientes: propiedades físicas como variación dimensional, alabeo y absorción. Propiedades mecánicas como resistencia a compresión

axial de los bloques de concreto.

El estudio se llevó a cabo con el objetivo de evaluar estas propiedades en bloques de concreto con la incorporación de los materiales mencionados, buscando, además, contribuir a la preservación del ambiente. La población fueron los 315 bloques de concreto fabricado, y el ámbito de estudio fue la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de estos, con porcentajes de incorporación de aserrín, perlas de poliestireno y caucho granulado en un 10 % y 20 %, respecto del agregado, con dosificaciones de 1:6, 1:7 y 1:8.

El tipo de muestreo fue no probabilístico por conveniencia, para lo cual, de los 315 bloques de concreto fabricado, se tomaron 210 unidades, agrupadas por porcentajes de adición, dosificación, y tiempo de curado, para la ejecución de los ensayos de variación dimensional, alabeo y resistencia a compresión axial. Asimismo, con las 105 unidades restantes se realizó únicamente el ensayo de absorción.

3.1. Cemento y Agregados

El cemento usado fue del tipo I cemento andino puzolánico, con un peso específico de 3,18 gr/cm³. El agua utilizada fue potable, y los agregados se obtuvieron de la cantera de Wanka, ubicada en el Centro Poblado Cachingari, a 2,1 km de la provincia de Satipo, departamento de Junín, Perú.

Las características físicas de los agregados se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del agregado para la fabricación de los bloques de concreto. Fuente: los autores

Cantera Wanka	Agregado (confitillo)	Normativa
Tamaño máximo (pulg)	3/8	ASTM D 422 [10]
Tamaño máximo nominal (pulg)	4	AASHTO T 11 [11]
Módulo de finura (%)	3,07	AASHTO T 27 [12] AASHTO T 88 [13]
Peso específico (gr/cm ³)	2,44	AASHTO T 84 [14]
Absorción (%)	1,35	AASHTO T 85 [15]
Peso unitario compactado (N/m ³)	2125	ASTM C 29 [16]
Peso unitario suelto (N/m ³)	1613	AASHTO T 19 [17]
Contenido de humedad (%)	3,76	NTP 339.185 [18]

3.2. Perlas de Poliestireno, Caucho Granulado y Aserrín

Las perlas de poliestireno utilizadas fueron de un diámetro variable de 3 a 6 mm y una densidad que va desde los 12 a 32 kg/m³, de acuerdo a la Norma ASTM C 578-92 [19], las cuales se suelen utilizar con frecuencia como agregado superligero en las mezclas de mortero y concreto. Además, están cubiertas con un Aditivo Expandente e Ignífugo (EIA) para garantizar una mezcla homogénea con el cemento y el agua, reduciendo de ese modo el problema de flotación [20].

Las partículas de caucho granulado fueron de un tamaño de 4,75 a 0,075 mm; y se producen a través de dos métodos: uno a temperatura ambiente, mediante molinos de craqueo, y otro a temperaturas inferiores a 80 ° C, mediante un proceso criogénico [21].

El aserrín que se utilizó en la mezcla de concreto fue de partículas cuyo tamaño está comprendido entre el 20 % y el 40 % por debajo de 0,8 mm. Además, este material presenta una densidad aparente que oscila entre 0,1 y 0,45 gr/cm³. La porosidad total supera el 80 %, y la capacidad de retención de agua es de baja a media [22].

3.3. Fabricación de Bloques de Concreto

Para la fabricación de los bloques de concreto se usó una máquina bloquera [23], con moldes de dimensiones de 12 cm de ancho x 40 cm de largo x 18 cm de alto. Se realizaron un total de 315 bloques de concreto: 30 bloques patrón sin adición de ningún material, con las siguientes dosificaciones 1:6,1:7 y 1:8 (1 de cemento por 6, 7 y 8 de confitillo); y 180 bloques de concreto, de la misma manera, con las dosificaciones 1:6,1:7 y 1:8, pero con la adición del 10 % y 20 % de perlas de poliestireno, aserrín, y caucho, respecto de la dosificación del agregado. Se fabricaron 5 bloques para cada porcentaje y dosificación.

Los bloques de concreto fueron curados (regados) por 14 y 28 días. De los 315 bloques fabricados, 105 fueron utilizados en el ensayo de absorción, tomando como referencia la norma RNE E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones [7].

3.4. Pruebas para Análisis Mecánico y Físico

Para determinar la absorción de los bloques de concreto, se siguió el procedimiento establecido en las Normas Técnicas Peruanas NTP 399.604 [24] y NTP 399.613 [25]. Por lo tanto, las unidades de bloques de concreto fueron colocadas al horno a una temperatura de 110° C por un periodo de 24 horas para terminar su secado. Una vez finalizado el proceso de secado y enfriamiento, se tomó el peso seco del bloque, para luego sumergirlo en agua por 24 horas y, de esa manera, obtener el peso saturado.

Por otro lado, la variación dimensional se realizó en cada unidad de bloque de concreto, clasificada por su dosificación 1:6, 1:7 y 1:8, y porcentaje de 10 % y 20 % de adición de perlas de poliestireno, caucho granulado y aserrín, a fin de conocer cómo influyen en los bloques de concreto; todo ello bajo la Norma Técnica Peruana (NTP) 399.613 [25]. Para obtener la variabilidad dimensional, se tomó la medida del bloque de concreto en sus siguientes dimensiones: alto, ancho y largo. Asimismo, la variación dimensional se evaluó en comparación con las medidas de diseño.

El ensayo de alabeo se realizó de acuerdo con establecido en la Norma Técnica Peruana (NTP) 399.613 [25], y según los parámetros establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.070 [7], el cual indica que es aceptable un promedio de alabeo de 4 mm para bloques de clase P (bloque usado en la construcción de muros portantes). Para la ejecución de dicho ensayo se tomaron 105 muestras, las correspondientes a los 28 días de curado; 5 muestras por cada grupo de dosificación de 1:6, 1:7 y 1:8, con porcentajes de adición de poliestireno, caucho y aserrín del 10 % y 20 %. Se utilizó una regla metálica milimétrica y una regla convencional. Para el caso de las superficies cóncavas, se colocó la regla convencional diagonalmente a la concavidad, para luego medir con la regla metálica. En los casos en que el alabeo era de tipo convexo en superficies, se colocaron las muestras sobre una superficie plana y se midieron las cuatro esquinas con la regla metálica. Para los bordes convexos, se colocó

la regla convencional de extremo a extremo recto y se midió con la regla metálica.

Los ensayos de resistencia a compresión axial se realizaron a los 14 y 28 días, a un total de 210 bloques, con dosificaciones 1:6, 1:7 y 1:8; y porcentajes de adición de las perlas de poliestireno, caucho y aserrín del 10 % y 20 %, además de los bloques de concreto patrón. Los ensayos siguieron el procedimiento establecido por la Norma Técnica Peruana (NTP) 399.613 [25] y los parámetros del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E 0.70 [7], que especifica que la resistencia mínima requerida para un bloque tipo P (bloque usado en la construcción de muros portantes) es de 4,90 MPa.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto con la incorporación de aserrín, poliestireno y caucho. Los ensayos realizados permitieron determinar el impacto de estos materiales en el desempeño y comportamiento de los bloques de concreto en términos de resistencia y sus propiedades físicas.

4.1. Pruebas de Absorción

La absorción obtenida en los bloques de concreto con incorporación de aserrín, perlas de poliestireno y caucho granulado, con porcentajes de adición de 10 % y 20 %, se ha evaluado respecto de la muestra patrón (bloques de concreto sin la adición de perlas de poliestireno, caucho y aserrín).

En la Figura 1 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de absorción de los bloques patrón y bloques con incorporación de

perlas de poliestireno, caucho granulado y aserrín. Se aprecia un incremento en el porcentaje de absorción en relación con las dosificaciones 1:6, 1:7 y 1:8, simultáneamente al incremento del porcentaje de adición de perlas de poliestireno, caucho granulado y aserrín. Como resultado, el bloque patrón con una dosificación de 1:6 obtuvo 4,13 % de absorción. Al incorporar un 10 % y 20 % de poliestireno a la misma dosificación, se alcanzaron absorciones de 4,32 % y 4,46 %, respectivamente.

Para una dosificación de 1:7, el bloque patrón presentó un 4,45 % de absorción; al añadir 10 % y 20 % de poliestireno, las absorciones fueron de 4,66 % y 5,12 %. Finalmente, con la dosificación de 1:8, el bloque patrón presentó 4,75 % de absorción, siendo esta la dosificación con mayor porosidad. Al añadir un 10 % y un 20 % de poliestireno respecto al confitillo, se alcanzaron absorciones de 5,04 % y 5,30 %, respectivamente. Asimismo, para los bloques con adición de caucho granulado y aserrín en un 10 %, se tienen los siguientes resultados: para una dosificación de 1:6, se obtuvieron las absorciones de 6,57 % y 7,81 % respectivamente; para una dosificación de 1:7 se alcanzaron las absorciones de 6,74 % y 8,27 %; y con la dosificación 1:8, se obtuvieron las absorciones de 7,27 % y 8,72 %.

Por otro lado, se tiene a los bloques de concreto con un 20 % de adición de caucho granulado y aserrín, de los cuales, para una dosificación de 1:6 se obtuvieron absorciones de 7,26 % y 10,09 %. Asimismo, para una dosificación de 1:7 las tasas de absorción fueron de 8,27 % y 11,14 %, respectivamente. Finalmente, se alcanzaron absorciones de 8,65 % y 11,97 % para la dosificación 1:8.

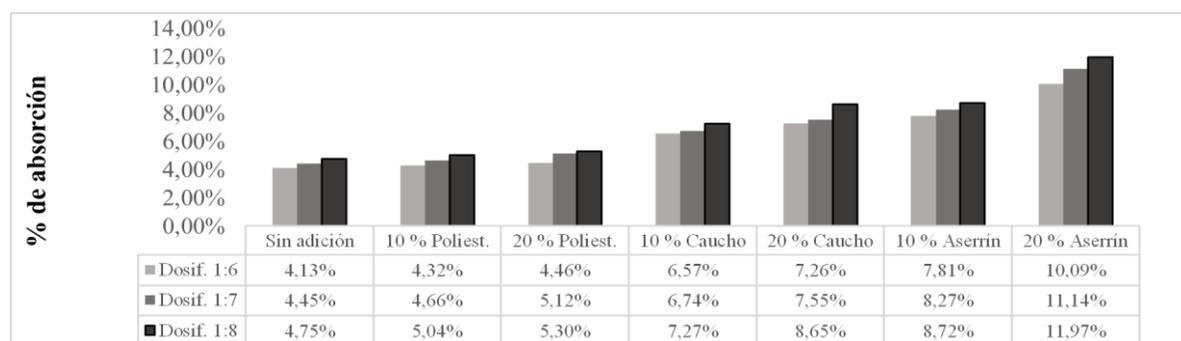


Figura 1. Absorción de bloques de concreto. Fuente: los autores

Se observa un aumento de la absorción en los bloques de concreto a medida que se incrementa el porcentaje de incorporación de perlas de poliestireno, caucho granulado y aserrín. Además, se ha identificado que los bloques de concreto con una adición del 20 % de aserrín y una dosificación de 1:8 son los más porosos, teniendo una variación de 7,22 % de absorción en comparación con los resultados de los bloques patrón. Sin embargo, esto no implica un aumento en la resistencia de los bloques de concreto; no obstante, aumentar los porcentajes moderados proporciona mejores factores de eficacia.

4.2. Pruebas para Variación Dimensional

Por otro lado, se tienen los resultados de los porcentajes máximos obtenidos del ensayo de variación dimensional realizado en los bloques de concreto, respecto de los bloques patrón, cuyas dimensiones de diseño son 12cm x 40cm

x 18cm. Dicho ensayo fue realizado según lo establecido en la Normativa Técnica Peruana (NTP) 399.613 [25]. En la Tabla 2, se observan los valores máximos de variación dimensional de los bloques de concreto fabricados con las dosificaciones 1:6, 1:7 y 1:8 (1 parte de cemento portland tipo I y 6,7,8 partes de confitillo), y con adiciones del 10 % y 20 % de perlas de poliestireno, caucho granulado y aserrín.

De los resultados obtenidos en la Tabla 2, referentes a la variación dimensional, se ha observado que, no se puede establecer una relación directa del incremento o disminución de la variación dimensional con la incorporación de poliestireno, caucho granulado y aserrín, debido a que otros factores como la proporción de la mezcla, las condiciones ambientales, desmoldeo y manipulación, así como el desgaste del molde, también influyen en los resultados.

Tabla 2. Variación dimensional de los bloques de concreto. Fuente: los autores

Máximas variaciones dimensionales de los bloques de concreto			
Bloques con % de adición	Max % V. Ancho	Max % V. Largo	Max % V. Alto
Bloque patrón	-0,67 %	0,50 %	-1,00 %
10 % poliestireno	0,75 %	0,47 %	0,63 %
20 % poliestireno	0,72 %	0,33 %	0,62 %
10 % caucho	-0,47 %	0,60 %	-0,58 %
20 % caucho	-0,87 %	0,75 %	-0,67 %
10 % aserrín	-0,62 %	-0,47 %	0,65 %
20 % aserrín	-0,57 %	-0,42 %	0,58 %

4.3. Pruebas de Alabeo

Para la determinación del alabeo, se ha seguido el procedimiento establecido en la Norma Técnica Peruana (NTP) 399.613 [25]. Para lo cual se tomaron 5 unidades de bloques de concreto con 28 días de curado, con dosificaciones de 1:6, 1:7 y 1:8, y porcentajes de adición de perlas de poliestireno, caucho granulado y aserrín del 10 % y 20 %. Además, se incluyeron bloques de concreto patrón, haciendo un total de 105 muestras, es decir, 21 grupos de 5 muestras cada uno.

El alabeo es una propiedad física que puede afectar la resistencia de un bloque de concreto, debido a que un mayor alabeo, concavidad o

convexidad al permisible, conducirá a un espesor de junta mayor. El cual además disminuirá la adherencia con el mortero, por la formación de vacíos en las zonas con alabeo, generando disminución de la resistencia y la fuerza cortante del muro, e incluso se podrían producir fallas de tracción por el flexionamiento de las unidades de albañilería [26], [27].

De la Tabla 3, se verifica que los resultados cumplen con lo establecido en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.070 [7], el cual especifica que para bloques del tipo P (bloque usado en la construcción de muros portantes), el alabeo máximo es de 4mm.

Tabla 3. Promedio de ensayo de alabeo. Fuente: los autores

Muestras	Promedio	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
1:6 (*)	0,62	1,29
1:7 (*)	0,70	1,67
1:8 (*)	0,80	1,44
1:6 P-10 %	1,05	2,09
1:7 P-10 %	1,10	1,17
1:8 P-10 %	0,70	1,54
1:6 P – 20 %	1,35	1,55
1:7 P 20 %	1,15	1,44
1:8 P-20 %	0,90	1,27
1:6 C – 10 %	1,05	1,24
1:7 C – 10 %	1,75	0,62
1:8 C – 10 %	0,95	1,42
1:6 C – 20 %	1,80	1,32
1:7 C – 20 %	0,70	1,95
1:8 C – 20 %	0,30	1,39
1:6 A – 10 %	1,35	1,64
1:7 A – 10 %	0,50	1,32
1:8 A – 10 %	0,90	0,94
1:6 A – 20 %	1,40	1,67
1:7 A – 20 %	1,05	1,62
1:8 A – 20 %	0,52	1,44

Nota:

A: Aserrín P: Poliestireno C: Caucho (*): Bloque patrón

En el caso presentado en la Tabla 3, no se tendrá inconveniente alguno, ya que los valores promedio de alabeo están por debajo del máximo permisible. Además, es importante destacar que la adición de uno u otro material a la mezcla de concreto no tiene una relación directa con el alabeo de las unidades de albañilería.

4.4. Pruebas de Resistencia a la Compresión Axial

La resistencia a la compresión axial es una propiedad mecánica de los bloques de concreto, el cual es necesario determinar, a fin de obtener la resistencia de los elementos estructurales (muros). Se realizó el ensayo de resistencia a compresión axial (f'_b), para el cual se tomaron 210 muestras de bloques de concreto: sin adición y con adición de poliestireno, caucho y aserrín en porcentajes del 10 % y 20 %, y dosificaciones de 1:6, 1:7 y 1:8. Estas muestras fueron distribuidas en dos grupos a fin de evaluar los resultados a los 14 y 28 días de curado (se realizaron 5

muestras por cada combinación de dosificación y porcentaje de adición de los materiales).

En la Tabla 4, se aprecia que los promedios de resistencia alcanzados a los 14 y 28 días en los bloques patrón son mayores que en los bloques con materiales añadidos, en las tres dosificaciones (1:6, 1:7 y 1:8). Además, las resistencias alcanzadas superan el valor establecido en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.070 [7], el cual es de 4,90 MPa.

En la Figura 2, se observa la resistencia a compresión axial de los bloques de concreto con una dosificación 1:6. La mayor resistencia obtenida es de 7,07 MPa con 28 días de curado, el cual corresponde a la muestra patrón. Sin embargo, los bloques con adición de 10 % de caucho, presentaron una resistencia de 6,00 MPa a los 28 días de curado, cumpliendo con la normativa vigente. Por otro lado, se tienen dos promedios de resistencia a compresión con 28 días de curado que cumplen con la resistencia mínima requerida: los bloques con 10 % de adición de poliestireno, con 5,37 MPa, y los bloques con 10 % de adición de aserrín, con 5,35 MPa.

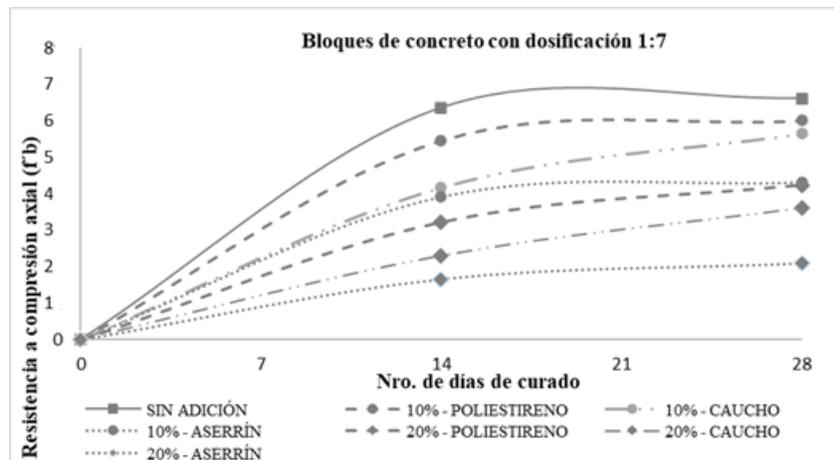


Figura 2. Resistencia a la compresión $f'c$ (MPa) dosificación 1:7. Fuente: los autores

En la Figura 3, se aprecia las resistencias obtenidas por porcentaje de adición de poliestireno, caucho y aserrín para una dosificación de 1:7. De lo cual se verifica que la mayor resistencia promedio obtenida corresponde a la muestra patrón con 28 días de curado, con un resultado de 6,49 MPa. Así mismo, de los bloques con adición, la mayor resistencia obtenida se encuentra en los bloques con 10 % de adición de poliestireno, el cual es de 5,89 MPa. Además, para el promedio de los bloques con 10 % de adición de caucho, se tiene una resistencia de 5,54

MPa (detalle en Tabla N° 4), lo cual también cumple con los límites permisibles.

En la Figura 4, se aprecia la misma condición que en las dosificaciones 1:6 y 1:7, donde la mayor resistencia promedio corresponde a la muestra patrón, con un valor de 6,29 MPa. Por otro lado, los bloques con adición que tienen mayor resistencia a los 28 días de curado corresponden a los bloques con 10 % de adición de poliestireno, con una resistencia de 6,29 MPa. Asimismo, el promedio de resistencia de los bloques con 10 % de adición de caucho es de 5,04 MPa (detalle en Tabla N° 4).

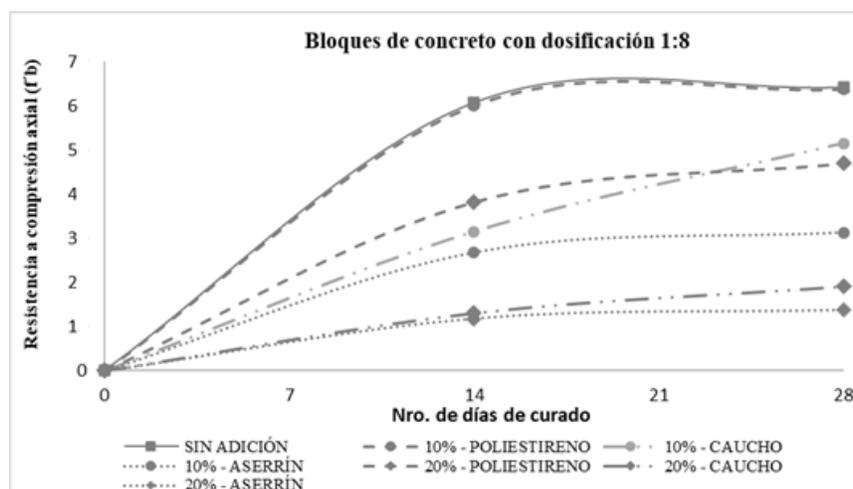


Figura 3. Resistencia a la compresión $f'c$ (MPa) dosificación 1:7. Fuente: los autores

En la Figura 4, se aprecia la misma condición que en las dosificaciones 1:6 y 1:7, donde la mayor resistencia promedio corresponde a la muestra patrón, con un valor de 6,29 MPa. Por otro lado, los bloques con adición que tienen

mayor resistencia a los 28 días de curado corresponden a los bloques con 10 % de adición de poliestireno, con una resistencia de 6,25 MPa. Asimismo, el promedio de resistencia de los bloques con 10 % de adición

de caucho es de 5,04 MPa (detalle en Tabla N° 4).

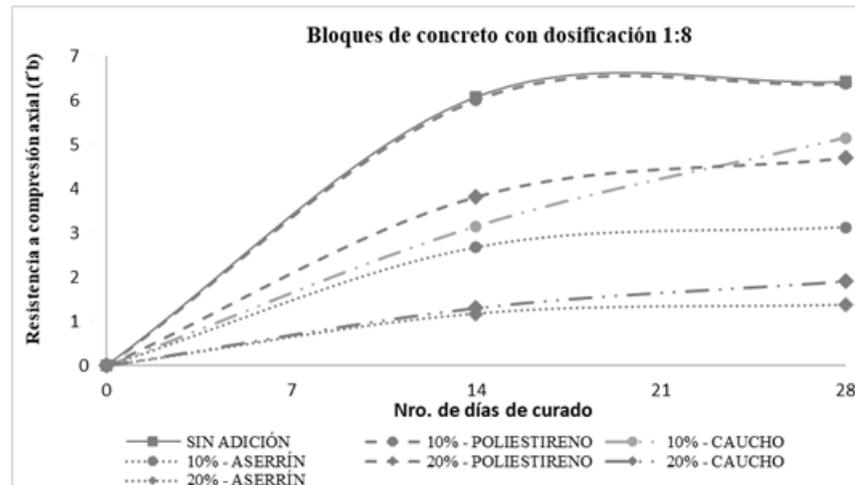


Figura 4. Resistencia a la compresión $f'c$ (MPa) dosificación 1:8. Fuente: los autores

En la Tabla 4, se observa un incremento en la resistencia promedio de los bloques con adición de poliestireno, ante el aumento de dosificación de 1:6, 1:7 y 1:8, según el porcentaje de adición. Es decir, la resistencia de los bloques con 10 % de adición de poliestireno aumenta paralelamente al incremento de dosificación, las resistencias promedio de cada dosificación cumplen con la

resistencia mínima requerida. Al igual que los bloques con 20 % de adición las resistencias promedio de cada dosificación no cumplen con la resistencia mínima requerida. Situación que no se observa en las resistencias promedio de los bloques con adición de caucho y aserrín, ya que la resistencia tiene a disminuir paralelamente al incremento de dosificación.

Tabla 4. Resumen de $f'c$ máximos (28 días de curado). Fuente: los autores

Dosificación	% de adición	Material	Días		
			0	14	28
Prom. $f'c$ (valores máximos) (MPa)					
1:6	Sin adición	-	0	6,54	7,07
	10 %	Poliestireno	0	4,94	5,37
		Caucho	0	5,07	6,00
		Aserrín	0	4,66	4,96
1:7	Sin adición	-	0	6,23	6,49
	10 %	Poliestireno	0	5,35	5,89
1:8		Caucho	0	4,09	5,54
	Sin adición	-	0	5,89	6,29
	10 %	Poliestireno	0	5,89	6,25
		Caucho	0	3,09	5,04

En la Tabla 5, se muestran los valores máximos de resistencia a la compresión axial obtenidos después de 28 días de curado, los cuales se resumen a continuación:

- Los bloques patrón compuestos por agua, cemento y confitillo produjeron valores de resistencia a la compresión axial superior al mínimo establecido en el Reglamento

Nacional de Edificaciones (RNE) E.070 [7], con las dosificaciones 1:6, 1:7 y 1:8.

- Se tiene que la resistencia a la compresión axial de los bloques de concreto con adición de poliestireno aumenta paralelamente al incremento de dosificación. A diferencia de los bloques de concreto con incorporación de caucho

- y aserrín, la resistencia disminuye ante el incremento de dosificación.
- Los bloques que cumplen con la resistencia mínima requerida son los que tienen un porcentaje de adición de 10 % de otro material. Es decir, cumplen con la resistencia mínima requerida los bloques con un 10 % de incorporación de poliestireno y caucho para las dosificaciones 1:6, 1:7 y 1:8.
 - Para los bloques con incorporación de 10 % de aserrín, solo cumplen los que tienen

una dosificación 1:6.

Habiendo efectuado el análisis respectivo de los resultados de los ensayos de las propiedades físicas: ensayo de absorción, variación dimensional y alabeo; y propiedades mecánicas: ensayo de resistencia a la compresión axial, se concluye que los bloques de concreto para las resistencias obtenidas a los 28 días de curado, que cumplen con lo establecido en el RNE E.070 ítem. “clasificación para fines estructurales” [7], son los siguientes:

Tabla 5. Clasificación de los bloques de concreto para fines estructurales según RNE E .070. Fuente: los autores

Bloque Prom. (dosificación y % de adición)	Material adicionado	F ^b Prom. (MPa)	Variación dimensional – promedio			Alabeo – promedio		Clasificación para fines estructurales
			Ancho (%)	Largo (%)	Alto (%)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	
1:6	Sin Adición	7,07	-0,50 %	0,42 %	-1,00 %	0,62	1,29	Bloque P
1:7		6,49	-0,58 %	0,43 %	-0,92 %	0,7	1,67	
1:8		6,29	-0,67 %	0,50 %	-0,67 %	0,8	1,44	
1:6-10 %	Poliestireno	5,37	0,75 %	0,47 %	0,63 %	1,05	2,09	
1:7 -10 %		5,89	0,67 %	0,43 %	0,45 %	1,1	1,17	
1:8 -10 %		6,25	0,57 %	0,30 %	0,28 %	0,7	1,54	
1:6-10 %	Caucho	6,00	-0,42 %	0,47 %	-0,45 %	1,05	1,24	
1:7 -10 %		5,54	-0,40 %	0,58 %	-0,50 %	1,75	0,62	
1:8 -10 %		5,04	-0,47 %	0,60 %	-0,58 %	0,95	1,42	
1:6 -10 %	Aserrín	4,96	-0,62 %	-0,25 %	0,40 %	1,35	1,64	

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los ensayos realizados para la obtención de las propiedades mecánicas: resistencia a la compresión axial. Y físicas: absorción, variación dimensional y alabeo de los bloques de concreto patrón y de los bloques con porcentaje de incorporación de materiales adicionales tales como aserrín, poliestireno y caucho, se pudo concluir lo siguiente:

Los bloques de concreto con incorporación de perlas de poliestireno, aserrín y caucho granulado en porcentajes del 10 % y 20 %, utilizando dosificaciones de 1:6, 1:7 y 1:8 para su fabricación, y curados a los 14 y 28 días, no superaron la resistencia a compresión axial de los bloques patrón. La resistencia a compresión axial más elevada se obtuvo con la adición del 10 % de poliestireno en la dosificación 1:8 (cemento y confitillo), con una resistencia promedio de $f^b = 5,89$ MPa a los 14 días de curado y $f^b = 6,25$ MPa a los 28

días de curado. En comparación, el bloque patrón tuvo una resistencia promedio de $f^b = 6,53$ MPa a los 14 días de curado y $f^b = 7,07$ MPa a los 28 días de curado con una dosificación de 1:6 (cemento y confitillo).

Con los resultados de los ensayos realizados, se llevó a cabo la clasificación de los bloques de concreto para fines estructurales, conforme a lo establecido en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.070 [7]. Este reglamento especifica que los parámetros de clasificación se basan en la variación dimensional, la resistencia a la compresión axial y el alabeo. De las 210 muestras de bloques de concreto sometidas a ensayos de resistencia a compresión axial, variación dimensional y alabeo, se determinó que los bloques con adición de 10 % de poliestireno y caucho, en las dosificaciones 1:6, 1:7 y 1:8, alcanzaron el esfuerzo mínimo requerido de 50 kg/cm² establecido en el RNE E.070 [7].

Por lo tanto, estos bloques fueron clasificados como tipo P, aptos para la construcción de muros portantes. Sin embargo, entre los bloques con adición de 10 % de aserrín, solo los que tuvieron la dosificación 1:6 alcanzaron el esfuerzo mínimo requerido. Finalmente, se concluyó que, aunque los bloques de concreto que cumplieron con la resistencia mínima establecida en el RNE E.070 [7] no superaron la resistencia a compresión axial de la muestra patrón, sí cumplieron con los parámetros de variación dimensional y alabeo establecidos en dicho reglamento.

El bloque con el mayor porcentaje de absorción fue el que contenía un 20 % de aserrín y tenía una dosificación de 1:8, alcanzando un porcentaje de absorción de 11,97 %. Por otro lado, los bloques con adición de 20 % de poliestireno y caucho, en una dosificación de 1:8, presentaron absorciones máximas de 5.30 % y 8.65 %, respectivamente. Todos los bloques evaluados cumplen con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.070 [7], que establece un porcentaje máximo de absorción del 12 % para bloques de clase P (estructural).

El porcentaje de adición óptimo es el 10 % con una dosificación de 1:6, ya que esta combinación cumple con el esfuerzo mínimo requerido de 4,90 MPa a los 28 días de curado para los tres materiales evaluados: aserrín, perlas de poliestireno y caucho granulado. Por otro lado, se tiene que las dosificaciones 1:7 y 1:8 con un 10 % de adición de poliestireno y caucho también cumplen con el requisito mínimo de resistencia. Sin embargo, para el aserrín, estas dosificaciones no cumplen con el esfuerzo mínimo requerido.

La incorporación de poliestireno, caucho y aserrín como materiales reutilizables, en la fabricación de los 315 bloques de concreto, no solo permitió desarrollar el objetivo de la investigación (evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los bloques con incorporación de dichos materiales), sino también contribuyó a la sostenibilidad ambiental y al cuidado de la población expuesta a estos materiales contaminantes.

6. RECOMENDACIONES

Basado en los resultados de esta investigación, si se pretende realizar un concreto con la adición de los materiales estudiados, ya sea por razones ambientales, conseguir un concreto ligero y económico para la fabricación de bloques, lo más recomendable es optar por las dosificaciones 1:6, 1:7 y 1:8 con un porcentaje de 10 % de adición de poliestireno o caucho, ya que cumplen con la resistencia mínima requerida de 4,90 MPa a los 28 días de curado.

Para obtener bloques de concreto que cumplan con las tolerancias dimensionales y permitan un desmolde inmediato, es necesario controlar que los agregados no contengan un exceso de material fino y que la dosificación del agua sea la adecuada. Esto es fundamental para evitar la rotura de los bloques al desmoldar las unidades. Así mismo, se debe prestar especial atención a la duración del vibrado, ya que un bloque que no esté adecuadamente consolidado tiende a romperse con mayor facilidad. De igual manera, a fin de lograr una mezcla homogénea se recomienda el uso de una mezcladora tipo batea automática de tres a cinco minutos.

7. FINANCIAMIENTO

Propio de los autores.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa INGEODINÁMICA E.I.R.L. por brindar el espacio y los recursos necesarios para la realización de los ensayos de laboratorio en los agregados, así como por su contribución en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto.

9. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

10. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

LCP planteamiento del problema; LLPS y YDHV pruebas de laboratorio, toma de muestra; LCP, LLPS YDHV análisis y redacción.

11. REFERENCIAS

- [1] F. Peña Aedo y J. F. Tufino Alvarado, "Análisis comparativo de la influencia de la geometría y la rugosidad de las fibras para concreto en las capacidades mecánicas del concreto y propuesta de empleo de fibras en zigzag y rugosas de PET reciclado" Repositorio académico UPC, Lima, 2023.
- [2] M. Farfán y E. Leonardo, "Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante" *Ingeniería de Construcción*, vol. 33, n° 3, pp. 241-250, 2018.
- [3] Congreso de la República del Perú, "gop.pe," 19 diciembre 2018. Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/1122664-30884>.
- [4] L. Arthuz López y W. Pérez Mora, "Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial" *Informador Técnico*, vol. 83, n° 2, pp. 209-2019, 2019.
- [5] E. J. Lara Guerrero, D. P. Guerrero Cuasapaz y B. I. Altamirano Leon, "Influencia de las partículas de caucho en la resistencia a la compresión de bloques de concreto/Influence of rubber particles on the compressive strength of concrete blocks" *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*. Universidad del Zulia, pp. 134-141, 2020.
- [6] H. M. Amasifuén Polo, "Diseño De Bloques de Concreto Ligero con la Aplicación de Perlas de Poliestireno, Distrito De Tarapoto, San Martín – 2018", Tarapoto, Universidad César Vallejo, Perú, 2018.
- [7] C. y. S. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, "RNE NORMA E.070 ALBAÑILERIA", LIMA, Perú, 2019.
- [8] Instituto Nacional de Calidad, "NTP 399.602: Unidades de albañilería. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos" INACAL, 2002.
- [9] C. N. Sánchez García, "Comportamiento del aserrín sobre la resistencia a la compresión, absorción, densidad y asentamiento del concreto para bloques en la construcción", Repositorio de la Universidad Privada del Norte, Perú, 2017.
- [10] ASTM International, "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM D422-63" West Conshohocken, PA, EUA, 2007.
- [11] American Association of State Highway and Transportation Officials, "Standard Method of Test for Materials Finer Than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, AASHTO T 11" Washington, DC, EUA, 2022.
- [12] American Association of State Highway and Transportation Officials, "Standard Method of Test for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, AASHTO T 27" Washington, D.C., EUA, 2014.
- [13] American Association of State Highway and Transportation Officials, "Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils, AASHTO T 88" Washington, D.C., EUA, 2013.
- [14] American Association of State Highway and Transportation Officials, "Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate, AASHTO T 84" Washington, D.C., EUA, 2013.
- [15] American Association of State Highway and Transportation Officials, "Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, AASHTO T 85" Washington, D.C., EUA, 2014.
- [16] ASTM International, "Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate, ASTM C29/C29M-17" West Conshohocken, PA, EUA, 2017.
- [17] American Association of State Highway

- and Transportation Officials, “*Standard Method of Test for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate, AASHTO T 19*” Washington, D.C., EUA, 2014.
- [18] Instituto Nacional de Calidad (INACAL), «*Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido total de humedad evaporable en agregados por secado, NTP 339.185*” 2ª ed., Lima, Perú, 2013.
- [19] ASTM International, “*Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation, ASTM C578-92*” West Conshohocken, PA, EUA, 1992.
- [20] Industrias Isotex, “*¿Qué es el EPS? Poliestireno Expandido*”, Disponible en: <https://grupoisotex.com/que-es-el-poliestireno-expandido-eps/>, 2024
- [21] M. Sócrates, V. José, A. James y G. Roberth, “Uso del caucho de neumáticos triturados y aplicados al concreto: Una revisión literaria” *Investigación Talentos*, vol. 8, nº 1, pp. 36-51, 2021.
- [22] J. Pineda Pineda, F. Sánchez del Castillo, A. Ramírez Arias, A. M. Castillo González, L. A. Valdés Aguilar y E. d. C. Moreno Pérez, “Aserrín de pino como sustrato hidropónico.I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo”» *Chapingo Serie Horticultura*, vol. 18, nº 1, pp. 95-111, 2012.
- [23] J. Arrieta Freyre y E. Peñaherrera Deza, “*Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora*” Centro Peruano Japonés de Investigación Sísmica y Mitigación de Desastres, Lima. Perú, 2001.
- [24] Instituto Nacional de Calidad (INACAL), “*Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, NTP 399.604*” Lima, Perú, 2002.
- [25] Instituto Nacional de Calidad (INACAL), “*Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería, NTP 399.613*” 2ª ed., Lima, Perú, 2018.
- [26] R. C. Seminario, “*Variabilidad de las propiedades de los ladrillos industriales de 18 huecos en la Piura*” Repositorio Institucional PIRHUA, Perú, 2013.
- [27] W. T. Champi Ccorimanya y H. A. Cuevas Callo, “*Determinación de las propiedades físico mecánicas de unidades de albañilería fabricados a base de concreto liviano con adición de perlas de poliestireno expandido, en porcentajes de 10%, 15% Y 20% en función al volumen del agregado fino*” Repositorio UCA, Cusco, Perú, 2020.