

Concrete blocks for structural masonry homes built in a marine atmosphere zone using tuber waste from the food industry

María Sánchez, Bachiller¹, Karen Olarte, Bachiller¹, José Rodríguez, Doctor², Alexandra Hinojosa, Máster³

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201517208@upc.edu.pe, u201517190@upc.edu.pe

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, jose.rodriguez@upc.pe

³Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, pcipahin@upc.edu.pe

Abstract- The most important pathological manifestations in the concrete blocks of the armed masonry are the efflorescence and the fissures; the former are aesthetic and the latter are structural. These pathologies are caused by the porosity of the block; which facilitates the entry of salts from the sea breeze and salt mist present in the marine atmosphere. These salts, as a result of the wind are dragged and deposited in homes built outside the sea. A solution to this problem is to use a material that minimizes the progress of fissures and cracks, such as sugar beet nanoplatelets (BNP); which are plant residues from the food industry. In the present investigation the study of cracked concrete blocks is approached, studying some mechanical, physical and chemical properties; the results show that with the addition of BNP the compressive strength increases, and the absorption and carbonation decrease when compared to concrete without nanoadditive.

Keywords— Beet nanoplatelets, food waste, marine atmosphere, block fissures, pathologies

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.173>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Bloques de concreto para viviendas de albañilería estructural construidas en zona de atmósfera marina utilizando residuos de tubérculos de la industria alimentaria

Concrete blocks for structural masonry homes built in a marine atmosphere zone using tuber waste from the food industry

María Sánchez, Bachiller¹, Karen Olarte, Bachiller¹, José Rodríguez, Doctor², Alexandra Hinostriza, Máster³

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201517208@upc.edu.pe, u201517190@upc.edu.pe

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, jose.rodriguez@upc.pe

³Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, pcipahin@upc.edu.pe

Resumen- Las manifestaciones patológicas de mayor importancia en los bloques de concreto de la albañilería armada, son las eflorescencias y las fisuras; las primeras son estéticas y las segundas son estructurales. Estas patologías se originan por la porosidad del bloque; la cual facilita el ingreso de las sales procedentes de la brisa marina y niebla salina presentes en la atmósfera marina. Estas sales, por efecto del viento son arrastradas y depositadas en las viviendas construidas fuera del mar. Una solución a este problema, es utilizar un material que minimice el avance de las fisuras y grietas, como son las nanoplaquetas de beterraga azucarera (NPB); las cuales son residuos vegetales procedentes de la industria alimentaria. En la presente investigación se aborda el estudio de los bloques de concreto fisurados, estudiándose para ello algunas propiedades mecánicas, físicas y químicas; los resultados muestran que con la adición de NPB la resistencia a la compresión y flexión aumentan, y la absorción y carbonatación disminuyen cuando se comparan con el concreto sin nanoaditivo.

Palabras claves-- Nanoplaquetas de beterraga, residuos alimentos, atmósfera marina, fisuras bloques, patologías

Abstract- The most important pathological manifestations in the concrete blocks of the armed masonry are the efflorescence and the fissures; the former are aesthetic and the latter are structural. These pathologies are caused by the porosity of the block; which facilitates the entry of salts from the sea breeze and salt mist present in the marine atmosphere. These salts, as a result of the wind are dragged and deposited in homes built outside the sea. A solution to this problem is to use a material that minimizes the progress of fissures and cracks, such as sugar beet nanoplatelets (BNP); which are plant residues from the food industry. In the present investigation the study of cracked concrete blocks is approached, studying some mechanical, physical and chemical properties; the results show that with the addition of BNP the compressive strength increases, and the absorption and carbonation decrease when compared to concrete without nanoadditive.

Keywords— Beet nanoplatelets, food waste, marine atmosphere, block fissures, pathologies

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.173>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

I. INTRODUCCIÓN

La patología del concreto desde el punto de vista de la durabilidad, se entiende como los signos, causas posibles y diagnóstico del deterioro que experimentan las estructuras [1], estando esta durabilidad asociada a su vida útil en servicio una vez expuesta a determinadas condiciones o ambientes [2], siendo la humedad uno de los agentes climáticos influyentes [3].

Uno de los materiales de concreto más utilizados en la albañilería estructural son los bloques de concreto [4], que conjuntamente con el mortero, acero y concreto líquido conforman el sistema constructivo del muro armado; estos bloques tienen la característica de ser porosos [5], con una mayor tendencia para absorber agua, lo que limita su uso, y dependiendo de la cantidad de agua absorbida se define su patología [6]. Siendo la principal de ésta, las fisuras [7, 8], cuyo origen es de tipo químico y se atribuye a los cambios presentados por la hidratación del cemento o a la exposición constante en atmósfera marina; lo que produce en la estructura mayor vulnerabilidad, cuando los bloques de concreto presentan alta permeabilidad [9]. Diferentes tipos de fisuras han sido reportados por [10], para la albañilería estructural con bloques de concreto, siendo éstas las fisuras verticales y horizontales por sobrecarga, por retracción y expansión de la albañilería.

Las edificaciones de viviendas ubicadas en zona de atmósfera marina están afectadas por el aerosol marino existente en forma de microscópicas gotas de agua, presentan una concentración salina de cloruros y sulfatos que eventualmente pueden ser mayores que las del agua de mar, debido a la gran dispersión de las gotas y la evaporación parcial de agua, especialmente cuando la temperatura es alta [11, 12].

Una ilustración de esta anomalía se describe en [13, 14] para los edificios de la península del Yucatán, los cuales se hallan ubicados en ambientes marinos extremadamente agresivos con concentraciones altas de cloruros; que producen daños prematuros a los elementos de concreto menores de 30 años de construcción, estando las fisuras y grietas en las paredes de bloques de concreto, las cuales comprometen la durabilidad de las estructuras.

La eflorescencia es otra patología de tipo estético encontrada en los edificios de albañilería estructural de bloques de concreto [15], la cual ha sido observada por décadas en obras de albañilería en diferentes partes de Europa, en especial en las zonas marítimas de Holanda. Esta anomalía se presenta en bloques con mayores poros o texturas abiertas, ya que están expuestas a una mayor humectación que disuelve las sales de calcio del concreto, que reaccionan con el CO₂ del aire y que al evaporarse originan un depósito de material blanco llamado carbonato de calcio [16].

Una de las soluciones más relevantes para minimizar la porosidad del bloque de concreto es utilizar nanopartículas como un aditivo altamente eficiente en la modificación de su composición cementante. Se utilizan en pequeñas concentraciones y sus contribuciones más importantes están relacionadas con la reducción del tiempo de fraguado (de 1–2 h) y la difusividad (en 4–75%), y con el aumento de la fuerza (en 5–25%) y durabilidad térmica (0-30% de incremento en la resistencia residual); estas modificaciones son atribuidas a la reactividad única de las nanopartículas, y a su gran área superficial [17].

Diversas investigaciones han evidenciado que al incluir nanoaditivos carbonosos, como: nanotubos de carbono (NTC), nanofibras de carbono (NFC) y óxido de grafeno (OG) a los materiales cementantes se obtiene una mejora en sus propiedades mecánicas y físicas, alcanzándose una mayor resistencia a la compresión y al ataque de agentes agresivos, y la reducción de la porosidad en el concreto o mortero endurecido [18, 19]. En el caso específico del OG bidimensional (2D), podemos mencionar que es considerado ideal para reforzar materiales cementantes debido a sus diferenciadoras propiedades, entre ellas: gran área específica, alta dispersabilidad en agua y buen comportamiento físico y mecánico [20]. Por otro lado, cabe indicar que la producción a gran escala de NTC, NFC y OG, y sus aplicaciones en materiales cementantes se ha visto obstaculizada por los altos costos, la no escalabilidad, los procesos complejos de fabricación y el impacto en el medio ambiente [21].

La adición de NTC contribuye en la reducción de la absorción del agua por inmersión en el concreto [22]. Por otro lado, [23] luego de estudiar el efecto del NTC sobre el concreto convencional nos indica que existe un aumento en la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción del 11.9%, 17.3% y 15.2% respectivamente.

De estudios estadísticos realizados por [24] se concluye que aproximadamente un tercio de las partes comestibles de los alimentos producidos para el consumo humano, se pierden o se

desperdician en todo el mundo, siendo estas pérdidas consideradas desde la producción agrícola hasta el consumo humano. Una alternativa para disminuir esta problemática es utilizar los residuos vegetales de los alimentos, dentro de ellos la beterraga azucarera en la elaboración del concreto. Son escasas las investigaciones encontradas sobre la utilización de este residuo vegetal alimenticio, pero cabe mencionar la investigación desarrollada por [21] en la que investigó las nanoplaquetas de beterraga azucarera (NPB) en el concreto, concluyendo que con las nanoplaquetas extraídas de las fibras de este tubérculo aumenta la cantidad de silicato hidratado de calcio logrando controlar la resistencia del concreto y detener sus grietas.

El objetivo de este artículo es estudiar el problema de las fisuras de los bloques de concreto fisurados de albañilería armada de las viviendas construidas en atmósfera marina. Para ello, se estudió la resistencia a la compresión, absorción, carbonatación y flexión de los bloques de concreto con la adición de diferentes porcentajes de NPB.

II. MATERIALES Y MÉTODO

A. MATERIALES

a. *Cemento*: Se usó Cemento APU Portland Tipo GU, según especificaciones dadas en [25, 26], sus propiedades se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1
PROPIEDADES DEL CEMENTO

Parámetro	Unidad	Cemento APU	Especificaciones [25, 26]
Contenido de aire	%	3.71	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	365	No específica
Densidad	g/ml	3.03	No específica
Resistencia a la compresión			
3 días	Kg/cm ²	272	Mínimo 133
7 días	Kg/cm ²	320	Mínimo 204
28 días	Kg/cm ²	369	Mínimo 285

b. *Agregados*: Los agregados gruesos (confitillo 3/4”) y finos (arena 3/8”) se obtuvieron del distrito de Villa el Salvador, que cumplen con especificaciones de [27, 28], sus características físicas se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Parámetro	Agregado Grueso	Agregado Fino
Tamaño Máximo	1/4”	-
Tamaño Máximo Nominal	3/8”	-
Módulo de Fineza	2.94	3.1
Humedad (%)	4.56%	6.11%
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1460.71	1628.57
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1632.14	1814.29
Absorción (%)	1.16%	0.50%
Peso Específico SSS (g/cm ³)	2.67	23.70
Peso específico Aparente (g/cm ³)	2.72	2.40

En la Fig. 1 y Fig. 2 se muestran las curvas granulométricas del agregado grueso y agregado fino.

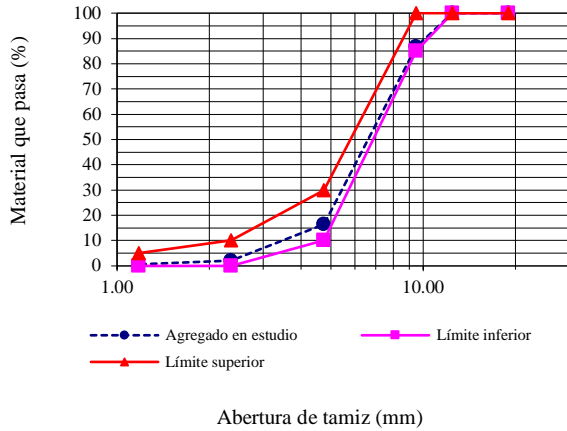


Fig. 1 Curva granulométrica del agregado grueso.

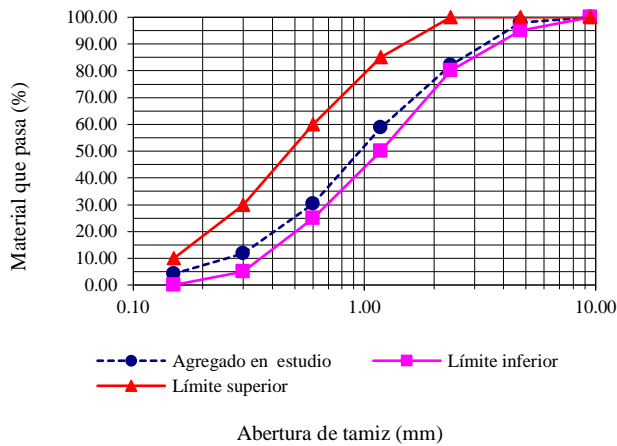


Fig. 2 Curva granulométrica del agregado fino.

c. *Nanoaditivo*: Se utilizó nanoplaquetas de beterraga azucarera (NPB), cuyas propiedades físicas e imagen se muestran en la Tabla 3 y Fig. 3 respectivamente.

d. *Agua*: Para elaborar la mezcla se utilizó agua potable según [29,30].

TABLA 3
PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS NPB

Composición	Plaquetas Celulósicas
Forma	Gránulos
Color	Gris
Contenido activo (%)	20 ± 2
Componente volátil	Agua
PH	4.5 - 7
Viscosidad (cP)	500 - 2000
Densidad (g/cm ³)	1.07



Fig. 3 NPB disuelta al 4% sólida y 96% de agua.

B. Método

Para el diseño de mezclas de los bloques de concreto se utilizó el método descrito en [31] para un $f'_b = 65 \text{ kg/cm}^2$, elaborándose 50 bloques para cada uno de los diseños que se muestran en la Tabla 4, siendo éstos:

- NPB-0, sin adición de NPB (bloque patrón)
- NPB-0.2, con 0.20% de adición de NPB
- NPB-0.4, con 0.40% de adición de NPB
- NPB-0.6, con 0.60% de adición de NPB

TABLA 4
DISEÑO DE MEZCLAS DE LOS BLOQUES

Dosificación	NPB-0	NPB-0.2	NPB-0.4	NPB-0.6
Proporción (C:F:G)	03:02:1	03:02:1	03:02:1	03:02:1
Cemento (Kg)	1.57	1.57	1.57	1.57
Agregado Fino (Kg)	6.57	6.57	6.57	6.57
Agregado Grueso (Kg)	4.55	4.55	4.55	4.55
Agua (Kg)	1.55	1.25	1.25	1.55
NPB (Kg)	0	0.003	0.006	0.009

La elaboración de los bloques de concreto fue manual y se realizó en las instalaciones de la Concretera Famacon sus dimensiones (largo, ancho y alto) fueron de $39 \times 14 \times 19 \text{ cm}$, se empleó una mezcladora tipo trompo con motor 13 HP, un molde metálico y una mesa vibratoria de $1.2 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ con motor trifásico 220V y 60 Hertz para la compactación. El almacenamiento de los bloques fue en ambiente cerrado por 12 horas, periódicamente fueron regados para mantenerlos húmedos, siguiendo lo indicado en [32,33].

Después de los 28 días de curado en condiciones de humedad, los bloques fueron ensayados a resistencia a la compresión, absorción y carbonatación. A la edad de 28 días se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión, absorción

y carbonatación según las normas indicadas en la Tabla 5. En la Fig. 4 se muestran los bloques elaborados y almacenados.



Fig. 4 Secado y almacenamiento de bloques.

III. RESULTADOS

A. Resistencia a la compresión

En la Fig. 5 se muestra el efecto del porcentaje (bajas cantidades-décimos) de adición de las NPB sobre la resistencia a la compresión a los 28 días. Se aprecia que al aumentar el porcentaje de adición de NPB la resistencia a la compresión sube para NPB-0.2 alcanzando el valor máximo de 90.22 kg/cm², luego la resistencia baja gradualmente para las mezclas NPB-0.4 y NPB-0.6 consiguiéndose las cantidades de 86.03 kg/cm² y de 68.17 kg/cm²; valores que representan un 31.36% y 25.26% más de resistencia y un 0.74% menos con respecto a la mezcla NPB-0 cuyo resultado fue de 68.68 kg/cm².

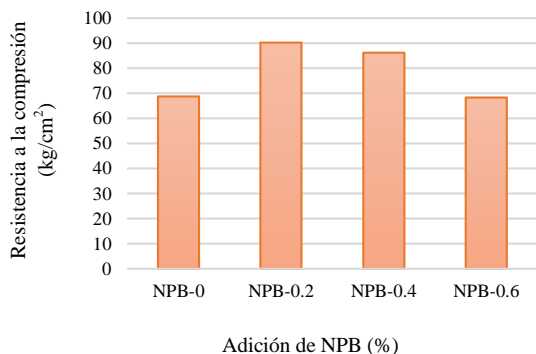


Fig. 5 Efecto de adición de NPB sobre la resistencia a la compresión.

B. Absorción

En la Fig. 6 se muestra el efecto del porcentaje de adición de las NPB sobre la absorción a los 28 días de curado. Se puede ver que al aumentar el porcentaje de adición de NPB la absorción baja para NPB-0.2 hasta el valor de 2.76% y luego sube progresivamente para las mezclas NPB-0.4 y NPB-0.6 alcan-

zándose los valores de 4.47% y 5.12%; cantidades que representan un 50.3%, 19.5% y 7.7% menos con respecto a la mezcla NPB-0 cuyo grado de absorción fue de 5.55%.

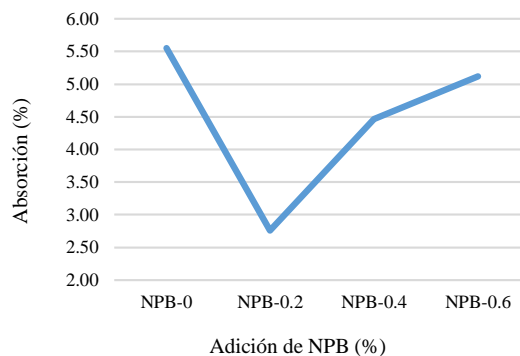


Fig. 6 Efecto de adición de NPB sobre la absorción.

TABLA 5
NORMATIVAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

Ensayo	Normas
Resistencia a la compresión	[34, 35]
Absorción	[36, 37]
Carbonatación	[38]
Resistencia a la flexión	[39, 40]

C. Carbonatación

En la Fig. 7 se presenta el efecto del porcentaje de adición de las NPB sobre la profundidad de carbonatación, para ello los bloques estuvieron sumergidos en una solución de sulfato de magnesio al 4.24% durante un tiempo de exposición de 7 días. El bloque patrón NPB-0 presentó una profundidad de carbonatación de 3 mm y al adicionar NPB la profundidad de carbonatación fue disminuyendo gradualmente a 1.7, 1.0 y 0.6 mm para los bloques NPB-0.2, NPB-0.4 y NPB-0.6 respectivamente, según se muestra en la Fig. 8. En términos generales, estas bajas representan un 43%, 67% y 80%.

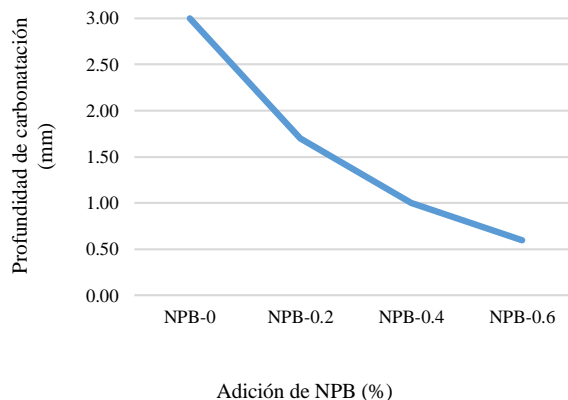


Fig. 7 Efecto de adición de NPB sobre la carbonatación.



Fig. 8 Profundidad de carbonatación en los bloques.

D. Resistencia a la flexión

En la Fig. 9 se muestra el efecto del porcentaje (bajas cantidades-décimos) de adición de las NPB sobre la resistencia a la flexión a los 28 días. Se aprecia que al aumentar el porcentaje de adición de NPB la resistencia a la flexión sube para NPB-0.2 alcanzando el valor máximo de 12.33 kg/cm², luego la resistencia a la flexión baja gradualmente para las mezclas NPB-0.4 y NPB-0.6 a 11.45 kg/cm² y 10.02 kg/cm²; estos valores representan un incremento de 17.32% y 8.94% y una reducción de 4.66% para la adición de 0.6 con respecto a la mezcla NPB-0 cuyo valor es 10.51 kg/cm².

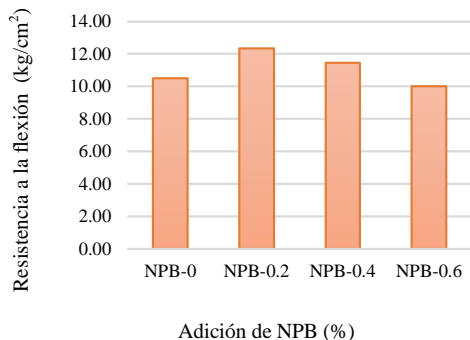


Fig. 9 Efecto de adición de NPB sobre la resistencia a la flexión.

IV. ANÁLISIS

A. Resistencia a la compresión

Ref. [41] estudia el efecto de las nanopartículas de óxido de grafeno (OG) en la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, para las mezclas con mínimas y bajas cantidades (centésimos y décimos) de adición: 0.01%, 0.05% y 0.1%; obteniendo para las adiciones en centésimos que la resistencia sube hasta alcanzar la cantidad máxima de resistencia de 57.9 kg/cm², para luego bajar a 56.6 kg/cm², valores que representan un 6.8% y 4.5% más que la mezcla sin adición de OG que alcanzó la cantidad de 54.2 kg/cm²; posteriormente el comportamiento de la resistencia para la mezcla con adición en décimos tiende a subir a la cantidad de 84.5 kg/cm², que representa un aumento del 55.8% con relación a la mezcla sin adición de OG.

Ref. [42] también estudia el efecto de la adición de la nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, para las mezclas con baja y alta cantidad (décimo y entero) para los porcentajes de 0.5% y 2%, obteniendo que para la adición en centésimo la resistencia sube alcanzando la cantidad máxima de resistencia de 79.8 kg/cm² para luego bajar para la mezcla con adición en entero hasta la cantidad de 74.9 kg/cm², valores que representan un 20% y 12.6% más que la muestra sin nanosílice que alcanzó una resistencia de 66.5 kg/cm².

Los resultados mostrados presentan una tendencia de crecimiento hasta alcanzar un valor máximo y una tendencia de disminución de la resistencia, similar a la estudiada; estos comportamientos de mejora en la resistencia, para el primer caso, considerando la adición de OG en la mezcla se debe a la influencia del tamaño de la nanopartícula y al mayor grado de hidratación del cemento, lo cual facilita la transferencia de carga y resistencia inicial a las grietas de la matriz de cemento, generando una microestructura mejorada y más densa para la mezcla a nivel micro y, por lo tanto, una mayor resistencia a nivel macro [41]. También esta mejora en las propiedades mecánicas puede atribuirse al mayor contenido de C-S-H y una mayor densidad de la mezcla [21]. Para el segundo caso, el comportamiento de disminución de la resistencia, considerando la adición de NPB en la mezcla se debe probablemente, por un lado, a que el reapilamiento de las láminas de NPB forman aglomerados rígidos que debilitan la matriz haciendo que los compuestos de cemento fallen de una manera quebradiza con propiedades mecánicas más bajas y, por otro, que el alto contenido de cristales de Ca(OH)₂ de los compuestos cementantes son frágiles por naturaleza y debilitan la matriz de cemento haciéndola altamente susceptible a una fractura frágil, con la consecuente disminución de sus propiedades mecánicas [21].

B. Absorción

Ref. [22] investiga la absorción del concreto a los 28 días para una adición de 0.30% de Nanotubos de Carbono (NTC), utiliza probetas cilíndricas de Ø 10 x 20 cm y elabora 1 mezcla de concreto convencional, 1 mezcla SD con NTC en polvo sin pre dispersión y 1 mezcla CD con NTC en polvo y aditivo con dispersión previa en agua; los resultados encontrados para la absorción son de 4.8%, 4.1% y 3.7% que representan una baja de 14.6% para la serie SD y 22.9% para la serie CD en comparación con la mezcla de concreto convencional.

B. Absorción

Ref. [43] utilizando prismas de concreto de 10x10x10 cm a los 28 días de curado e inmersión de 7 días en agua, realiza el ensayo de absorción en un prisma estándar sin aditivo y tres prismas adicionados con grafeno (0.2%, 0.4% y 0.6%). Para el

prisma estándar se obtuvo 100 cm de profundidad, para las adiciones de 0.2%, 0.4% y 0.6% se obtuvieron las profundidades de 43, 25 y 20 cm respectivamente, representando éstas reducciones con respecto a la muestra estándar de 40%, 75% y 80%.

Este comportamiento de disminución de la absorción se debe a que los nanoaditivos pueden llenar los nano y microporos de la matriz de concreto y acelerar la hidratación de los compuestos del cemento, reduciendo la absorción [43]. Otro autor [22] menciona que este comportamiento puede estar relacionado con la mejor distribución de los poros, traduciéndose en la reducción de la macroporosidad, además; estos hallazgos sugieren que la mejor distribución para los cristales de hidratación C-S-H y la gran superficie del grafeno forman una red más densa de cristales de cemento entrelazados que no solo aumenta las propiedades mecánicas del concreto sino que también actúa como una barrera de infiltración de agua y disminuye drásticamente la cantidad de agua que puede penetrar en la matriz de concreto a través de poros.

C. Carbonatación

Ref. [44] realiza el ensayo de carbonatación en moldes cilíndricos de 10 cm de diámetro curados durante 28 días, utiliza una mezcla de control sin OG (CM) y una mezcla con OG en una concentración de 4mg/ml (GM) almacenada en la cámara de carbonatación durante 3 meses. Los resultados muestran que la profundidad de carbonatación de GM era de 1-2 mm y para CM de 5 mm, representando una reducción del 60% respecto a la muestra de control. Este comportamiento según el autor puede atribuirse a la influencia del enclavamiento del OG a diferentes iones aniónicos y catiónicos.

Ref. [45] también realiza la prueba de carbonatación a los 28 días en bloques patrón y aditivos adicionados con nanosílice en proporciones de 1%, 2%, 3%, 4% y 5%; obteniendo una profundidad de carbonatación de 5.5 mm, 7.8 mm, 9.0mm y 9.3mm respectivamente. El autor concluye que hasta un 3% disminuye la profundidad de carbonatación siendo ésta entre 46.47% y 17.42% comparada con el bloque patrón. Este comportamiento indicado por el autor se debe a que el exceso de hidróxido de calcio reacciona con el gel de sílice C-H-S obteniendo una matriz densa obtenida con el 3% y mayores porcentajes adicionales no influyen en la densidad del concreto.

Estas tendencias de disminución son similares a la estudiada, pudiendo su comportamiento deberse a que la adición de BNP incide sobre la formación de silicatos y aluminatos de calcio hidratados produciendo nuevos geles de sílice C-S-H y alúmina C-A-H [45].

D. Resistencia a la flexión

Ref. [21] realiza el ensayo de flexión en prismas de concreto, de 40mm x 40mm x 160mm, a los 28 días de su elaboración. La mezcla se modificó con NPB a concentraciones de 0,20, 0,40 y 0,60% en peso. La adición se usó en la proporción

de 4% de sólidos y 96% de agua. El bloque patrón sin adición obtuvo una resistencia a la flexión de 11.77 kg/cm² mientras que los bloques adicionados obtuvieron las resistencias de 16.60 kg/cm², 13.72 kg/cm² y 11.76 kg/cm² para las adiciones de 0.2, 0.4 y 0.6 de NPB. Primero se presentó un comportamiento creciente alcanzando una mejora máxima de 75% y 50% para las concentraciones de 0.2 y 0.4 respectivamente, luego con la adición de 0.6 se obtuvo una reducción en la resistencia de 0.1%.

Ref. [46] también realiza el ensayo de resistencia a la flexión, las mediciones de la resistencia a flexión. Se estudió un bloque patrón y luego con adición de grafeno (0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04% y 0.05% por peso de cemento). El bloque patrón tuvo una resistencia de 8.84 kg/cm² y los bloques adicionados las resistencias de 13.41 kg/cm², 11.75 kg/cm², 14.21 kg/cm², 11.54 kg/cm² y 11.51 kg/cm². Los resultados indicaron que la resistencia a la flexión aumentaron al aumentar la dosificación de grafeno hasta el 0.03%.

Para mayores dosificaciones de grafeno, la resistencia a la flexión disminuyó ligeramente. La resistencia a la flexión de las probetas con 0.03% de grafeno aumentó en 60.7%, en relación a las probetas sin grafeno. Las características del grafeno es difícil de transmitir de forma exacta a los compuestos de cemento y hormigones, principalmente por las dificultades que presentan en su dispersión. Por ello, los datos obtenidos en distintos estudios muestran resultados muy variables. Los materiales de menor escala son más eficientes, puesto que son necesarias cantidades sustancialmente menores para obtener resultados mejores en cuanto a propiedades mecánicas [46].

V. CONCLUSIONES

Las fisuras en los bloques de concreto se minimizan con la adición de NPB garantizando una buena durabilidad de las viviendas de albañilería armada en atmósfera marina.

El aumento de la resistencia a la compresión garantiza la mayor solidez de los bloques ante deterioros prematuros por efecto de las sobrecargas.

El aumento de la absorción evidencia un bloque menos poroso con la consiguiente mayor resistencia a la profundidad de penetración del agua.

La disminución de la carbonatación aumenta la resistencia a la exposición de agentes agresivos del ambiente contribuyendo con la mayor vida útil del bloque de concreto.

El aumento de la resistencia a la flexión garantiza un mejor comportamiento del bloque frente a los esfuerzos a los que estará expuesto.

REFERENCIAS

- [1] J. Gonzales, La prevención: arma contra la patología, *Construcción y tecnología en concreto*, vol. 6, no. 12, pp. 14-15, 2017.
- [2] A. Aguirre, y R. Mejía, Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas, *Materiales de Construcción*, vol. 63, no. 309, pp. 7-38, 2013. doi: 10.3989/mc.2013.00313
- [3] E. Freitas, *Fissuras em alvenaria: Configurações típicas e levantamento de incidentes no estado de Rio Grande Do Sul*. (Tesis de Maestría, Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Escuela de Ingeniería. Puerto Alegre: Brasil), 2004. Recuperado de <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10135/000521582.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consulta: 11 de febrero 2020].
- [4] J. Kunrath, J. Camargo, y A. Zimmer, A Permeabilidade em Blocos de Concreto, *Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul*, vol. 1, pp. 1-7, 2016. Recuperado de <https://eventos.ifrs.edu.br/index.php/Salao/SPG2016/paper/view/969> [Consulta: 15 de febrero de 2020].
- [5] G. Fouad, Chapter 6. *Pathologie des Maçonneries*. Université Aboubekr Kerkaid, Departement de Genie Civil, pp. 1-25, 2004.
- [6] A. Hattge, *Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias de blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto*. (Tesis de Maestría, Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Escuela de Ingeniería Civil. Puerto Alegre: Brasil), 2004. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10183/5610> [Consulta: 11 de febrero 2020].
- [7] J. Dos Santos, y B. Cardoso, Patologias em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, *Projectus*, vol. 2, no. 4, pp. 134-146, 2004.
- [8] J. Bauer, Patologias em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Caderno técnico alvenaria estrutural CT-5, *Prisma*, pp. 33-38, 2005.
- [9] J. Toirac, Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención, *Ciencia y Sociedad*, vol. 29, no. 1, pp. 72-114, 2004.
- [10] E. Thomaz, *Trincas em edifícios: causas prevenção e recuperação*. São Paulo: PINI, 1989. Recuperado de <https://www.passeidireto.com/arquivo/41806228/trincas-e-edificios-causas-prevencao-e-recuperacao-eng-ercio-thomaz-102> [Consulta: 11 de febrero 2020].
- [11] J. Domínguez, y A. González, Valoración técnica del deterioro de las edificaciones en la zona costera de Santa Fe, *Arquitectura y Urbanismo*, vol. 36, no. 1, pp. 48-61, 2015. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982015000100005&lng=es&tlng=es [Consulta: 12 de febrero 2020].
- [12] B. Chico, et al, La corrosión en atmósferas marinas. Efecto de la distancia a la costa, *Revista de Metalurgia*, vol. 34, pp. 71-74, 1998. doi: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1998.v34.iExtra.711>
- [13] E. Moreno, R. Solís, and R. Márquez, Corrosion of beach Concrete Housing in the Yucatan Peninsula, *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 9, no. 3, pp. 1355- 1365, 2014.
- [14] R. Solís, et al, Behavior of coastal concrete housings against environmental loading in the Caribbean, *International Corrosion Conference Series*, 2018.
- [15] L. Bauer, *Materiales de construcción*, vol. 1, ed. 5, Río de Janeiro: LTC, 2000.
- [16] H. Brocken, and T. Nijland, White efflorescence on brick masonry and concrete masonry blocks, with special emphasis on sulfate efflorescence on concrete blocks, *Construction and Building Materials*, vol. 18, no. 5, pp. 315-323, 2004.
- [17] Y. Reches, Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives, *Constr. Construction and Building Materials*, vol. 175, no. , pp. 483–495, 2018.
- [18] B. Tyson, et al, Carbon nanotubes and carbon nanofibers for enhancing the mechanical properties of nanocomposite cementitious materials, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 23, no. 7, pp. 10-28, 2011.
- [19] A. Cwirzen, et al, SEM/AFM studies of cementitious binder modified by MWCNT and nano-sized Fe needles, *Materials Characterization*, vol. 60, no. 7, pp. 735–740, 2009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2008.11.001>
- [20] Y. Xu, et al, A holistic review of cement composites reinforced with graphene oxide, *Construction and Building Materials*, vol. 171, pp. 291–302, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.147>
- [21] H. Hasan, et al, Novel engineeres high performance sugar beetroot 2D nanoplatelet- cementitious composites, *Construction and Building Materials*, vol. 202, pp. 546– 562, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.019>
- [22] C. Marcondes, et al, Nanotubos de carbono en concreto de cemento Portland. Influencia de la dispersión en las propiedades mecánicas y en la absorción de agua, *Alconpar*, vol. 5, no. 2, pp. 97-114, 2015. doi: <https://doi.org/10.21041/ra.v5i2.80>
- [23] Y. Wang and C. Rong, The Effect of the Diameter of Carbon Nanotube on the Mechanical and Electrical Properties of Cement Mortar, *Key Engineering Materials*, vol. 730, pp. 479–485, 2017. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.730.479>
- [24] J. Gustavsson, et al., *Global food losses and food waste*, Food and Agriculture Organization of the United States, pp. 1-29, 2011.
- [25] Norma Técnica Peruana (NTP), Cementos, Cementos portland. Especificación de la performance, NTP 334-082, 2005.
- [26] American Society of Testing Materials (ASTM), Historical Standard: Standard Performance Specification for Hydraulic Cement, ASTM C1157, 2018.
- [27] Norma Técnica Peruana NTP, Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto, NTP 400.037, 2014.
- [28] American Society of Testing Materials (ASTM), Historical Standard: Standard Specification of Aggregates for Concrete, ASTM C33, 2018.
- [29] Norma Técnica Peruana (NTP), Hormión (Concreto). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos, NTP 339.088, 2008.
- [30] American Society of Testing Materials (ASTM), Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, ASTM C1602, 2018.
- [31] American Concrete Institute (ACI), Diseño de Mezcla de Concreto, ACI 211.1, 2007.
- [32] J. Arrieta, y E. Peñaherrera, Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2001. Recuperado de <http://www.cismid.uni.edu.pe/wp-content/uploads/2019/12/E01A.pdf> [Consulta: 15 de febrero de 2020]
- [33] American Society of Testing Materials. (ASTM), Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency, ASTM C305, 2014.
- [34] Norma Técnica Peruana (NTP), Unidades de Albañilería. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos, NTP 399.602, 2002.
- [35] American Society of Testing Materials. (ASTM), Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units, ASTM C90, 2002.
- [36] Norma Técnica Peruana (NTP), Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. NTP 399.604, 2002.
- [37] American Society of Testing Materials. (ASTM), Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units, ASTM C140, 2002.
- [38] Una Norma Española (UNE), Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio. UNE 112011, 2011.
- [39] Norma Técnica Peruana (NTP), Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo, NTP 399.078, 2012.
- [40] American Society of Testing Materials (ASTM), Historical Standard: Standardized test method for the determination of the flexural strength of concrete, ASTM C78, 2012.
- [41] S. Du, et al., Effect of admixing graphene oxide on abrasion resistance of ordinary portland cement concrete, *AIP Advances*, vol. 9, no 1, pp. 105-110, 2019. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5124388>
- [42] M. Labaj, et al, Nanoadditives- Future of high performance concrete, *Materials Science Forum*, vol. 908, pp. 83-87, 2017, doi <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.908.83>
- [43] D. Dimov, et al, Ultrahigh Performance Nanoengineered Graphene–Concrete Composites for Multifunctional Applications, *Advanced*

- Functional Materials*, vol. 28, no. 23, pp. 1-12, 2018, doi <https://doi.org/10.1002/adfm.201705183>
- [44] A. Mohamed, J. Sanjayan, G. Nazari & A. Saadi, The role of graphene oxide in limited long-term carbonation of cement-based matrix, *Construction and building materials*, vol. 128, pp. 858-866, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.082>
- [45] S. Kumar, A. Kumar, and J. Kujur, Influence of nanosilica on mechanical and durability properties of concrete, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, vol. 172, no. 11, pp. 1-27, 2018, doi: <https://doi.org/10.1680/jstbu.18.00080>
- [46] M. Ursúa, Mechanical properties of cement mortars with additions of carbon fibres, carbon nanotubes and graphene, *Anales de Edificación*, vol. 3, no. 3, pp. 12-19, 2017, doi: [10.20868/ade.2017.3674](https://doi.org/10.20868/ade.2017.3674)