UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**“BLOQUES DE CONCRETO PARA VIVIENDAS DE ALBAÑILERIA
ESTRUCTURAL CONSTRUIDAS EN ZONA DE ATMÓSFERA MARINA
UTILIZANDO RESIDUOS DE TUBÉRCULOS DE LA INDUSTRIA
ALIMENTARIA”**

CASO DE ESTUDIO: DISTRITO DE CHORRILLOS

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Olarte Breña, Karen Gabriela (0000-0001-5877-1156)

Sánchez Riveros, María de los Ángeles (0000-0002-7731-8901)

ASESOR

Hinostroza Aquino, Alexandra (0000-0002-5216-4942)

Lima, 23 de Febrero de 2020

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación es dedicado a nuestra familia, especialmente a nuestros padres, por su apoyo incondicional y constante durante toda nuestra etapa universitaria. A nuestros maestros que inculcaron en nosotras muchas enseñanzas y valores. A nuestros amigos y todas aquellas personas que de alguna forma nos motivaron siempre a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro profundo agradecimiento a nuestra asesora Ing. Alexandra Hinostroza Aquino por su apoyo y orientación en el presente trabajo de investigación. Un agradecimiento especial al laboratorio CelluComp quien nos proporcionó el aditivo de nanoplaquetas de beterraga azucarera.

De igual manera nuestro agradecimiento al laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas y de la Universidad Nacional de Ingeniería, en especial a los técnicos encargados por su paciencia y apoyo en la realización de los ensayos. Finalmente queremos agradecer al Ing. Cristian Sotomayor por su colaboración y orientación.

RESUMEN

La patología del concreto es el estudio sistemático de los procesos y características de los defectos y daños que afecta la durabilidad del concreto. La albañilería armada tiene como material más utilizado los bloques de concreto, estos bloques tienen una mayor tendencia a absorber agua, lo que puede ocasionar su patología. La principal patología en los bloques de concreto son las fisuras, una de las causas importantes de esta patología es el origen químico, atribuido a los cambios derivados por la hidratación del cemento o la exposición en zonas de atmósfera marina que están afectadas por el aerosol marino, donde existe mayor concentración salina de cloruros y sulfatos, primordialmente si los bloques de concreto presentan alta permeabilidad. Otra anomalía encontrada en los bloques de concreto es la eflorescencia, generalmente ocurre en bloques con mayores poros, ya que están expuestas a una mayor humectación, provocando mayor vulnerabilidad en la estructura.

Una de las soluciones más relevantes para reducir la porosidad del bloque de concreto es el uso de nanopartículas idóneos altamente eficientes para la modificación de productos de cementosos. Diferentes estudios han demostrado que al añadir nanoaditivos carbonosos a los materiales cementosos se obtiene una mejora en sus propiedades mecánicas y físicas como mayor resistencia a la compresión y al ataque de agentes agresores, así como a la reducción de la porosidad en el concreto o mortero endurecido. Las nanoplaquetas de remolacha azucarera (BNP) son extraídas de las fibras de este tubérculo que al incluirse a compuestos cementosos, aumentan la cantidad de hidrato de silicato de calcio logrando controlar la resistencia del concreto y detener sus grietas.

En esta investigación, se elaboraron experimentalmente bloques de concreto añadiendo aditivo de nanoplaquetas de remolacha azucarera para realizar los ensayos de absorción, resistencia a la compresión, y carbonatación en estado endurecido. Los resultados experimentales mostraron que al 0.2% del aditivo de nanoplaquetas de remolacha azucarera, se obtuvo un aumento en la resistencia a la compresión, una disminución en la absorción del agua y una mejora en la reducción de profundidad de carbonatación respecto a un bloque patrón.

Palabras claves— bloque de concreto; patologías; fisuras; remolacha azucarera; atmosfera marina.

ABSTRACT

The pathology of concrete is the systematic study of the processes and characteristics of defects and damages that affect the durability of the concrete. The reinforced masonry has the most commonly used concrete blocks, these blocks have a greater tendency to absorb water, which can cause their pathology. The main pathology in the concrete blocks are the fissures, one of the important causes of this pathology is the chemical origin, attributed to the changes derived from the hydration of the cement or the exposure in areas of marine atmosphere that are affected by the marine spray, where there is a higher concentration of chlorides and sulfates, especially if the concrete blocks have high permeability. Another anomaly found in concrete blocks is efflorescence, usually occurring in blocks with larger pores, since they are exposed to greater wetting, causing greater vulnerability in the structure.

One of the most relevant solutions to reduce the porosity of the concrete block is the use of highly efficient suitable nanoparticles for the modification of cementitious products. Different studies have shown that adding carbonaceous nanoadditives to cementitious materials results in an improvement in their mechanical and physical properties, such as greater resistance to compression and attack of aggressive agents, as well as to the reduction of porosity in hardened concrete or mortar. . The sugar beet nanoplates (BNP) are extracted from the fibers of this tuber that, when included in cementitious compounds, increase the amount of calcium silicate hydrate, controlling the resistance of the concrete and stopping its cracks.

In this investigation, concrete blocks were experimentally made by adding sugar beet nanoplate additive to perform absorption, compression resistance, and carbonation in the hardened state. The experimental results showed that at 0.2% of the sugar beet nanoplatelet additive, an increase in compressive strength, a decrease in water absorption and an improvement in carbonation depth reduction with respect to a standard block was obtained.

Keywords— concrete block, pathologies, fissures, sugar beets, marine atmosphere

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODO	3
2.1. MATERIALES	3
<i>a. Cemento.....</i>	<i>3</i>
<i>b. Agregados.....</i>	<i>3</i>
<i>c. Nano aditivo.....</i>	<i>5</i>
<i>d. Agua.....</i>	<i>6</i>
2.2. MÉTODO	6
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	7
3.1. Resistencia a la compresión.....	7
3.2. Porcentaje de Absorción.....	9
3.3. Ensayo de Carbonatación	9
4. CONCLUSIONES	11
5. REFERENCIAS	13

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del cemento	3
Tabla 2 Características físicas de los agregados.....	4
Tabla 3 Propiedades físicas de BNP.....	5
Tabla 4 Diseño de mezclas de los bloques	6
Tabla 5 Normativas de los ensayos realizados	7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva granulométrica del agregado grueso	4
Figura 2 Curva granulométrica del agregado fino	5
Figura 3 BNP disuelta al 4% sólida y 96% de agua.....	5
Figura 4 Secado y almacenamiento de los bloques	6
Figura 5 Realización del ensayo de compresión	7
Figura 6 Efecto del porcentaje de adición de BNP sobre la resistencia a la compresión.....	8
Figura 7 Efecto del porcentaje de adición de BNP sobre el porcentaje de absorción.....	10
Figura 8 Efecto de adición de BNP profundidad de absorción.....	11

1. 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]. La principal patología en este tipo de albañilería son 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 de mar, 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, provocando fisuras y grietas en las paredes hechas con bloques de concreto, lo que compromete 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 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. Este nanoaditivo se emplea en pequeñas concentraciones y realiza importantes contribuciones en la reducción del tiempo de fraguado (de 1–2 h) y la difusividad (en 4–75%), y en 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, a su menor tamaño y gran área superficial [17].

Diversas investigaciones han evidenciado que al incluir nanoaditivos carbonosos, como: nanotubos de carbono (CNT), nanofibras de carbono (NF) y óxido de grafeno (GO) 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 GO bidimensional (2D), podemos mencionar que es considerado como un nanoaditivo 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 CNT, NF y GO, 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 CNT 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 CNT 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 éstas 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 los tubérculos de las industrias

alimentarias, como 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 (BNP) en el concreto, concluyendo que con las nanoplaquetas extraídas de las fibras de este tubérculo se aumenta la cantidad de hidrato de silicato de calcio logrando controlar la resistencia del concreto y detener sus grietas.

En este artículo, se aborda el problema de las fisuras de los bloques de concreto de albañilería armada de las viviendas ubicadas en atmósfera marina. Para ello, se estudió la resistencia a la compresión, absorción y carbonatación de los bloques.

2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Materiales

a. Cemento: Se utilizó Cemento APU Portland Tipo GU, sus propiedades se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Propiedades del cemento

Parámetro	Unidad	Cemento Apu	Requisitos NTP 334-082 [22] Astm C-1157 [23]
Contenido de aire	%	3.71	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	365	No especifica
Densidad	g/ml	3.03	No especifica
Resistencia a la compresión			
A los 3 días	Kg/cm ²	272	Mínimo 133
A los 7 días	Kg/cm ²	320	Mínimo 204
A los 28 días	Kg/cm ²	369	Mínimo 285

b. Agregados: Los agregados gruesos (confitillo ¾”) y finos (arena 3/8”) se obtuvieron del distrito de Villa el Salvador, 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
Porcentaje de Humedad	4.56%	6.11%
Peso Unitario Suelto	1460.71 kg/m ³	1628.57 kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1632.14 kg/m ³	1814.29 kg/m ³
Porcentaje de absorción	1.16%	0.50%
Peso Específico SSS	2.67 g/cm ³	23.70 gr/cm ³
Peso específico Aparente	2.72 g/cm ³	g/cm ³

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

Figura 1 Curva granulométrica del agregado grueso

Figura 2 Curva granulométrica del agregado fino

c. *Nano aditivo*: Se utilizó nanoplaquetas de beterraga azucarera (BNP), cuyas propiedades físicas e imagen se muestran en la Tabla 3 y Figura 3 respectivamente.

Tabla 3. Propiedades físicas de BNP

Composición	Plaquetas celulósicas
Forma	Gránulos
Color	Gris
Contenido activo	$20 \pm 2\%$
Componente volátil	Agua
PH	4.5 – 7
Viscosidad	500 - 2000c
Densidad	1.07

Figura 3 BNP disuelta al 4% sólida y 96% de agua.

d. *Agua*: Para la elaboración de la mezcla se utilizó agua potable según [24].

2.2. Método

Para el diseño de mezclas de los bloques de concreto se utilizó el método ACI [25] para un $f'_b = 65 \text{ kg/cm}^2$, elaborándose 3 bloques para cada uno de los diseños que se muestran en la Tabla 3, siendo éstos:

BNP-0, sin adición de BNP (bloque patrón)

BNP-0.2, con 0.20% de adición de BNP

BNP-0.4, con 0.40% de adición de BNP

BNP-0.6, con 0.60% de adición de BNP

Tabla 4 Diseño de mezclas de los bloques

DOSIFICACIÓN	BNP - 0	BNP - 0.2	BNP - 0.4	BNP - 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
BNP (Kg)	0	0.003	0.006	0.009

La segunda etapa consistió en la elaboración de los bloques como tal. Las dimensiones de los bloques fueron de $39 \times 14 \times 19 \text{ cm}$ (largo, ancho y alto). La elaboración se realizó en instalaciones de la Concretera Famacon. La elaboración se desarrolló de forma manual, se utilizó un mezclador tipo trompo con motor 13 HP, un molde metálico con las medidas correspondientes y para la compactación se hizo uso de una mesa vibratoria de $1.2 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$, motor trifásico 220V y 60 hertz. Para el proceso de fraguado los bloques permanecieron en un ambiente cerrado, amplio durante 12 horas, periódicamente se tuvo que regar los bloques de concreto para mantenerlos húmedos. Finalmente el almacenamiento de los bloques de concreto se realizó en un ambiente cerrado, amplio que cumpla con los requisitos para preservar la calidad de las muestras [26], [27].

En la Figura 4 se muestran los bloques elaborados y almacenados.

Figura 4 Secado y almacenamiento de los bloques

En la tercera etapa, cumplidos los 28 días de elaborados los bloques, se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión, absorción y carbonatación de las unidades. A la edad de 28 días se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión, absorción y carbonatación de los bloques siguiendo las normas indicadas en la Tabla 3.

Tabla 5 Normativas de los ensayos realizados

ENSAYO	NTP	ASTM
Resistencia a la compresión	399.602 [28]	C90-01[29]
Absorción	399.604 [30]	C140 [31]
Succión	399.602 [32]	C90-01 [33]

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Resistencia a la compresión

Figura 5 Realización del ensayo de compresión en uno de los bloques (Máquina HUMBOLT)

Figura 6 Efecto del porcentaje de adición de BNP sobre la resistencia a la compresión.

En la Figura 6 se muestra el efecto del porcentaje (bajas cantidades-décimos) de adición de las nanoplaquetas de beterraga azucarera sobre la resistencia a la compresión a los 28 días. Se aprecia que al aumentar el porcentaje de adición de BNP la resistencia a la compresión sube para BNP-0.2 alcanzando el valor máximo de 90.22 kg/cm², luego la resistencia baja gradualmente para las mezclas BNP-0.4 y BNP-0.6 consiguiéndose las cantidades de 86.03 kg/cm² y de 70.17 kg/cm²; valores que representan un 31.31% y 25.26% más de resistencia y un 0.74% menos con respecto a la mezcla BNP-0.

El autor [34] estudia el efecto de las nanopartículas de óxido de grafeno (GO) 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 GO 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 GO.

Otro autor [35] estudia el efecto de la adición de la nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, empleando la nanosílice por peso en los porcentajes de 0.5% y 2%, alcanzando los valores de resistencia de 79.8 kg/cm² y 74.9 kg/cm², el comportamiento observado en esta investigación es que primero existe un aumento y posteriormente una disminución de la resistencia a la compresión, los resultados mejoran en 20% y 12.6% comparados con la muestra sin nanosílice que alcanzó una resistencia de 66.5 kg/cm².

Las mejoras en cuanto a resistencia se debe al mayor grado de hidratación del cemento y a la influencia del tamaño de las nanopartículas del GO en la mezcla, lo cual facilita la transferencia de carga y su resistencia al inicio de grietas en la matriz de cemento, produciendo una microestructura más densa y mejorada para la mezcla a nivel micro y, por lo tanto, una mayor resistencia a nivel macro [36]. Además La mejora de las propiedades mecánicas puede atribuirse a un mayor contenido de C-S-H y una mejor densidad de la mezcla [37].

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 GO 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 [38]. También esta mejora en las propiedades mecánicas puede atribuirse al mayor contenido de C-S-H y una mayor densidad de la mezcla [39]. Para el segundo caso, el comportamiento de disminución de la resistencia, considerando la adición de BNP en la mezcla se debe probablemente, por un lado, a que el reapilamiento de las láminas de BNP 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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 [39].

3.2. Porcentaje de Absorción

En la figura 7 se muestra el efecto del porcentaje de adición de las nanoplaquetas de beterraga azucarera sobre la absorción a los 28 días. Se puede ver que al aumentar el porcentaje de adición de BNP la absorción baja para BNP-0.2 hasta el valor de 2.76% y luego sube progresivamente para las mezclas BNP-0.4 y BNP-0.6 alcanzándose 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 BNP-0.

Figura 7 Efecto de adición de BNP sobre la absorción

El autor [40] realizó una investigación experimental adicionando Nanotubos de Carbono en concreto, se fijó una muestra de referencia, REF (sin la adición de NTCs), para permitir la comparación de ésta con los concretos con adición de NTCs: SD (mezcla conteniendo NTCs en polvo sin la pre dispersión) y CD (mezcla con la incorporación de los NTCs y aditivo con la dispersión previa en agua). El rango de NTC en relación al peso del cemento fue mantenido en 0,3% para todas las dosificaciones. Esta delimitación fue hecha basándose en estudios de Melo et al (2011), que indican que el contenido optimo es de 0,3% del peso del cemento. Fueron preparadas 6 probetas cilíndricas de Ø 10 x 20 cm para cada mezcla. Se obtuvieron los porcentajes de absorción de 4.8%, 4.1% y 3.7% para REF, SD y CD respectivamente en las probetas ensayadas a los 28 días. Se evidenció la tendencia de reducción de absorción provocada por la adición de Nanotubos de Carbono, representaron una reducción de 14.6% para la serie SD y 22.9% para la serie CD en comparación a la probeta sin adición de NTCs.

En otra investigación [41] en la que se incorporó grafeno a prismas de concreto de 10x10x10 cm, y se realizó el ensayo después de 7 días de curado. Se demostró visualmente, que en las muestra que contenían grafeno el porcentaje de absorción fue disminuyendo (la longitud sobre la cual se infiltra el agua disminuye al aumentar la concentración de grafeno, una concentración de 0.8 G/L disminuye el porcentaje de absorción hasta en 400% aproximadamente).

El posible mecanismo que hace que los nanoaditivos reduzcan el porcentaje de absorción es que pueden llenar los nano y microporos de la matriz de concreto. Además, la adición de estos acelera la hidratación de los compuestos de cemento, refinando la microestructura al reducir la porosidad total [42]. En [38] se menciona que este comportamiento puede estar

relacionado con una mejor distribución de los poros, traduciéndose en reducción de la macroporosidad, además; estos hallazgos sugieren que la formación mejorada de sitios de formación 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.

3.3. Ensayo de Carbonatación

En la Figura 8 se observa los resultados del ensayo de carbonatación, para ello los bloques estuvieron sumergidos en una solución de sulfato de magnesio al 4.24% durante un tiempo de exposición total de 7 días. El bloque patrón BNP – 0 presentó una profundidad de carbonatación de 3 mm y al adicionar BNP la profundidad de carbonatación fue disminuyendo gradualmente a 1.7, 1.0 y 0.6 mm para los bloques BNP - 0.2, BNP - 0.4 y BNP - 0.6 respectivamente. En términos generales, estas reducciones representan un 43%, 67% y 80%.

Figura 8 Efecto de adición de BNP profundidad de absorción

Una investigación en Colombia, en la que se estudió el efecto de los nanotubos de carbono en materiales cementosos ante la carbonatación. El ensayo se realizó en tres muestras de mortero cúbico después de 28 días de curado a una concentración de 4% de CO₂. El perfil de carbonatación del mortero S1 (que se considera la muestra de control, presentó un perfil de carbonatación homogéneo que aumentó en profundidad con el tiempo de exposición debido a la penetración de CO₂). Para el mortero S2 (muestra adicionada con 0.2% Nanotubos de Carbono), se encontró que la profundidad de carbonatación era menor que la encontrada en el mortero S1, debido a una mayor porosidad [39].

En [40] se realizó la prueba de carbonatación en bloques patrón y aditivos adicionados con nanosílice en proporciones de 1%, 2%, 3%, 4% y 5% después de 28 días de curado. Se obtuvieron los resultados aproximados de 5.5 mm, 7.8 mm, 9.0mm y 9.3mm respectivamente

A partir de la prueba se concluyó que la inclusión de nano sílice hasta un 3% disminuye la profundidad de carbonatación, la inclusión adicional de nanosílice aumenta ligeramente la profundidad de carbonatación con el período de exposición. Período de exposición de 7 a 70 días, la profundidad de carbonatación del 3% de concreto de nanosílice disminuyó en el rango de 46.47% a 17.42% en comparación con el concreto normal.

Este comportamiento puede observarse debido a que el exceso de hidróxido de calcio se hace reaccionar con un gel de sílice C-H-S y una matriz densa obtenida en nanosílice del 3% y la inclusión adicional del contenido de nanosílice no desempeña ningún papel para hacer concreto más denso [41].

4. CONCLUSIONES

Las fisuras en los bloques de concreto se minimizan con la adición de nano plaquetas de remolacha azucarera 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.

5. REFERENCIAS

- [1] Gonzales, J. (2017). La prevención: arma contra la patología. *México: Construcción y tecnología en concreto*, 6 (12), 14-15
- [2] Aguirre, A.M., & Mejía, R. (2013). Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. *Materiales de Construcción*, 63(309) ,7-38. doi: 10.3989/mc.2013.00313.
- [3] Freitas, E. (2004). *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 Ingenieria. Puerto Alegre: Brasil). Recuperado de <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10135/000521582.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consulta: 11 de febrero 2020].
- [4] Kunrath, J., Camargo, J. y Zimmer, A. (2016). A Permeabilidade em Blocos de Concreto. *Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul*, 1, 1-7. Recuperado de <https://eventos.ifrs.edu.br/index.php/Salao/SPG2016/paper/view/969> [Consulta: 15 de febrero de 2020].
- [5] Fouad, Ghomari (2003). Chapter 6. Pathologie des Maçonneries. Universite Aboubekr Kelkaid. Departement de Genie Civil. p. 1-25
- [6] Hattge, A. (2004). *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 Ingenieria Civil. Puerto Alegre: Brasil). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10183/5610> [Consulta: 11 de febrero 2020].
- [7] Dos Santos, J. y Cardoso Bianca (2017). Patologias em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. *Projectus*, 2(4), 134-146.
- [8] Bauer, José (2005). Patologias em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Caderno técnico alvenaria estrutural CT-5. *Prisma*,, 33-38.
- [9] Toirac, J. (2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención . *Ciencia y Sociedad*, 29(1),72-114.

- [10] Thomaz, E. (1989). Trincas em edifícios: causas prevenção e recuperação. São Paulo: PINI. 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] Domínguez Gutiérrez, Jacqueline, & González Pajaro, Abel. (2015). Valoración técnica del deterioro de las edificaciones en la zona costera de Santa Fe. *Arquitectura y Urbanismo*, 36(1), 48-61. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982015000100005&lng=es&tling=es [Consulta: 12 de febrero 2020].
- [12] Chico, B., Otero, E., Mariaca, L., & Morcillo, M. (1998). La corrosión en atmósferas marinas. Efecto de la distancia a la costa. *Revista de Metalurgia*, 34(Extra), 71-74. doi: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1998.v34.iExtra.711>
- [13] Moreno, E., Solís, R. y Márquez R. (2014). Corrosion of beach Concrete Housing in the Yucatan Peninsula. *International Journal of Electrochemical Science*, 9 (3), 1355-1365.
- [14] Solís G., Moreno E., Castro P., Jiménez F. y Márquez, R. (2018). Behavior of coastal concrete housings against environmental loading in the Caribbean. *International Corrosion Conference Series*
- [15] Bauer, L.F. (2000). *Materiales de construcción* [Vol. 1 Ed. 5] Río de Janeiro: LTC.
- [16] Brocken H. y Nijland T.(2004). White efflorescence on brick masonry and concrete masonry blocks, with special emphasis on sulfate efflorescence on concrete blocks. *Construction and Building Materials*, 18(5), 315-323.
- [17] Reches, Y. (2018). Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives, *Constr. Construction and Building Materials*. 175, 483–495.
- [18] Tyson, B.M., Abu Al-Rub, R.K., Yazdanbakhsh, A. y Grasley, Z. (2011). Carbon nanotubes and carbon nanofibers for enhancing the mechanical properties of nanocomposite cementitious materials, *Journal of Materials in Civil Engineering*. 23 (7), 1028.
- [19] Cwirzen, A., Habermehl, Z., Nasibulin, A., Kaupinen, E, Mudimela, P. y Penttala V. (2009). SEM/AFM studies of cementitious binder modified by MWCNT and nano-sized Fe needles, *Materials Characterization*. 60 (7) . 735–740. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2008.11.001>

- [20] Xu, Y., Zeng, J., Chen, W., Jin, R., Li, B. y Pan, Z. (2018). A holistic review of cement composites reinforced with graphene oxide, *Construction and Building Materials*. 171, 291–302. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.147>
- [21] Hasan, H., Huang, B., Saafi, M., Sun, J., Chi, Y., Whale, Hepworth, E. y Ye. J. (2019) “Novel engineered high performance sugar beetroot 2D nanoplatelet- cementitious composites” , *Construction and Building Materials*. 202, 546– 562, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.019>.
- [22] Marcondes, C. G. N., Medeiros, M. H. F., Marques Filho, J., & Helene, P.. (2015). Nanotubos de carbono en concreto de cemento Portland. Influencia de la dispersión en las propiedades mecánicas y en la absorción de agua. *Revista ALCONPAT*, 5(2), 97-114. Recuperado en 10 de febrero de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352015000200097&lng=es&tlng=es.
- [23] Wang, Y. F., Hu, H., & Rong, C. Q. (2017). The Effect of the Diameter of Carbon Nanotube on the Mechanical and Electrical Properties of Cement Mortar. *Key Engineering Materials*, 730, 479–485. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.730.479>
- [24] Gustavsson J, et al. (2011). Global food losses and food waste. Food and Agriculture Organization of the United States. p. 1-29
- [25] Normas Técnicas Peruana. (NTP). (2005). Cementos. Cementos portland. Especificación de la performance. (NTP 334-082).
- [26] American Society of Testing Materials. (ASTM). (2018). Historical Standard: Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico. (ASTM C1157-08)
- [27] Normas Técnicas Peruana. (NTP). (2008). HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. (NTP 339.088).
- [28] American Concrete Institute (ACI).(2007).Diseño de Mezcla de Concreto (ACI 211.1)
- [29] Arrieta J., Peñaherrera E. “Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora” Universidad Nacional de Ingeniería.(2001)

- [30] American Society of Testing Materials. (ASTM). (2014). Práctica estándar para la mezcla mecánica de pastas hidráulicas de cemento y morteros de consistencia plástica (ASTM C305).
- [31] Normas Tecnicas Peruana. (NTP). (2002). UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos. (NTP 399.602).
- [32] American Society of Testing Materials. (ASTM). (2002). Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units. (ASTM C90-01).
- [33] Normas Tecnicas Peruana. (NTP). (2002). UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. (NTP 399.604).
- [34] American Society of Testing Materials. (ASTM). (2002)..Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units (ASTM C140)
- [35] Du. S, Tang. Z, Zhong. J, Ge. Y and Shi. X. “Effect of admixing graphene oxide on abrasion resistance of ordinary portland cement concrete”, AIP Advances (2019) 105-110, <https://doi.org/10.1063/1.5124388>
- [36] Labaj, M., Válek, J., Jarolim, T., Osuska, I., “Nanoadditives- Future of high performance concrete”, Materials Science Forum 908 (2017) 83-87, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.908.83>
- [37] H. Hasan, B. Huang, M. Saafi, J. Sun, Y. Chi, E. Whale, D. Hepworth, J. Ye. “Novel engineered high performance sugar beetroot 2D nanoplatelet- cementitious composites” , Construction and Building Materials 202 (2019) 546– 562, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.019>.
- [38] N. Narcondes, M. Medeiros, J. Marquez, P. Helene. “Nanotubos de carbono en concreto de cemento Portland. Influencia de la dispersión en las propiedades mecánicas y en la absorción del agua”, Alconpat 5 (2015) 96-113, <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v5i2.802>
- [39] Dimov, D., Amit, I., Gorrie, O., Barnes, M. D., Townsend, N. J., Neves, A. , Craciun, M., “Ultrahigh Performance Nanoengineered Graphene– Concrete Composites for Multifunctional Applications”, Advanced Functional Materials (2018) 1-12, <https://doi.org/10.1002/adfm.201705183>
- [40] B.Rodrigues., E.Correa., Y.Arias., J. Calderón., O.Mendoza. “Carbonation study in a cement matrix with carbon nanotubes”. Journal of Physics 1247 (2019) 20-24 doi:10.1088/1742-6596/1247/1/012024

- [41] Kumar, S., Kumar, A., & Kujur, J., “Influence of nanosilica on mechanical and durability properties of concrete”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings (2018) 1-27 doi: 10.1680/jstbu.18.00080