

## Resistencia de nuevos materiales para sustituir el cemento en concreto

### Strength of new materials to replace the cement in concrete

### Força de novos materiais para substituir o cimento no concreto

Cesar Julián Benites<sup>1</sup>, Luis Segura Terrones<sup>1</sup> y William Jara Fumachi<sup>1</sup>

#### Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar la resistencia en compresión de un concreto; en el cual, el cemento fue sustituido en porcentajes de 5%, 10% y 15%; por separado, para cada uno de los materiales investigados, residuos de *Argopecten purpuratus* "concha de abanico", hojas secas de bambú y, vidrio reciclado. La metodología consistió en triturar la concha de abanico a 0.30 mm, luego calcinarlo a 900°C por 4 horas, y finalmente molerlo por 3 horas hasta 0.15 mm. Las hojas secas del bambú fueron quemados a cielo abierto, luego se requemaron a 600°C durante 2 horas, y se molieron por 3 horas hasta 0.15 mm. El vidrio reciclado fue molido por 8 horas hasta 0.15 mm. Los resultados más prometedores por material y nivel de sustitución correspondieron al 5% para los residuos de la concha de abanico, al 10% para las hojas secas de bambú y, 10% para el vidrio reciclado. Al comparar la resistencia entre los materiales según el nivel de sustitución, el análisis de varianza de un factor, indica que, los valores de las resistencias entre los materiales no son significativas para el 5% de sustitución; pero, si lo son para el 10% y el 15% ( $p \leq 0.05$  y  $0.001$ ).

Palabras clave: *Argopecten purpuratus*, bambú, cemento, resistencia, vidrio.

#### Abstract

The aim of this study was to determine the compressive strength of concrete; in which the cement was replaced in percentages of 5%, 10% and 15%; separately for each of the investigated materials, waste scallop, dried leaves of bamboo and recycled glass. The methodology consisted of crushing the shell to 0.30 mm, then calcining at 900 ° C for 4 hours, and finally grinding for 3 hours to 0.15 mm. Dried bamboo leaves were burned in the open, then they requemaron at 600 ° C for 2 hours, and ground for 3 hours to 0.15 mm. The glass was crushed for 8 hours to 0.15 mm. The most promising for material substitution level results corresponded to 5% for waste scallops, 10% for dried bamboo leaves and 10% recycled glass. By comparing the resistance between the materials according to the level of substitution, the analysis of variance indicate that resistance values between the materials is not significant to 5% substitution; but if you are for 10% and 15% ( $p \leq 0.05$  and  $0.001$ ).

Keywords: *Argopecten purpuratus*, bamboo, cement, glass, strength.

#### Resumo

O objetivo deste estudo foi determinar a resistência à compressão do concreto; em que o cimento foi substituído em percentagens de 5%, 10% e 15%; separadamente para cada um dos materiais investigados, Vieira de resíduos, folhas secas de bambu e vidro reciclado. A metodologia utilizada foi de esmagamento do invólucro a 0,30 mm, de seguida, a calcinação a 900 ° C durante 4 horas, e finalmente moagem durante 3 horas a 0.15 mm. Folhas de bambu secos foram queimados a céu aberto, em seguida, eles requemaron a 600 ° C por 2 horas, e moído por 3 horas a 0,15 mm. O vidro foi esmagado durante 8 horas a 0.15 mm. O mais promissor para os resultados nível de substituição de material correspondia a 5% para vieiras de resíduos, 10% para as folhas de bambu secas e 10% de vidro reciclado. Ao comparar a resistência entre os materiais de acordo com o grau de substituição, a análise de variância indicam que os valores de resistência entre os materiais não é significativo para 5% de substituição; mas se você for para 10% e 15% ( $p \leq 0,05$  e  $0,001$ ).

Palavras chave: *Argopecten purpuratus*, bambu, cement, força, vidro.

<sup>1</sup>Universidad San Pedro, Facultad de Ingeniería, cjulianb@hotmail.com

## Introducción

La industria cementera ha venido incorporando en sus procesos de fabricación significativas cantidades de residuos de procesos industriales (escoria de alto horno, ceniza volante, metacaolín) con propósitos económicos, energéticos y medio ambientales.

En años recientes, por la escasez de recursos o crisis económica se ha originado una nueva línea de investigación orientada a la utilización de residuos ecoeficientes para elaborar cementos parcialmente sustituidos. Desde esta perspectiva hemos investigado los residuos de la concha de abanico, las hojas secas del bambú y el vidrio reciclado.

Según PRODUCE (2013) en el periodo 2010-2011 se produjeron anualmente alrededor de 55156 TM de conchas de abanico. Tomando en cuenta esta producción y el dato reportado por Sakoda et al. (2003) de que el residuo calcáreo de la concha de abanico representa aproximadamente el 50% del peso del molusco, entonces se proyecta para el periodo mencionado, una producción de residuo de concha de abanico del orden de 27000 TM anuales. En relación a una potencial aplicación de estos residuos en el Perú, Julián et al. (2011) lo utilizaron para reemplazar el 5% del cemento en mezclas de concreto; la resistencia en compresión reportada para el cemento sustituido fue de 82.6% respecto a la resistencia de un concreto patrón sin sustitución.

De acuerdo a PERUBAMBU (2012) en el Perú existen aproximadamente 1500,000 ha de bambú en la selva alta y el llano amazónico. En base a la existencia de este recurso y la producción estimada de 25 TM/ha (Scurlock et al., 2000 citado en Frías et al., 2012) se estarían produciendo en nuestro país 37.5 millones de TM de bambú anualmente; los que a su vez, estarían generando un alto volumen de hojas secas como residuo, los mismos que podrían tener potenciales propiedades para ser usados en nuevas aplicaciones. Es así que en el contexto global empiezan a aparecer las primeras publicaciones del uso de estos residuos como el trabajo de Frías et al. (2012) quienes reportan la sustitución del 10% y 20% del cemento en mezclas de mortero con cenizas de hojas de bambú. La activación térmica reportada fue de una calcinación a 600°C durante 1 hora con 12 minutos y una activación mecánica por molienda a una granulación menor a 45  $\mu\text{m}$ ; alcanzando una resistencia a la compresión a los 28 días de 713,7  $\text{kg}/\text{cm}^2$  para ambas sustituciones.

En el caso del vidrio reciclado este es un residuo que ya ha sido activado térmicamente en su fabricación original y que para reutilizarlo solo requiere de una apropiada activación mecánica por molienda. Aun cuando no se han encontrado cifras relacionadas a los volúmenes generados de estos residuos en el país se aprecian en la actualidad que los recicladores tienen una marcada preferencia por este material. En relación al uso del vidrio reciclado, Vijayakumar et al. (2013) reportan el reemplazo del cemento, en concreto, por vidrio reciclado en los porcentajes de 10%, 20%, 40%; habiendo alcanzado para el 10% de sustitución una resistencia a la compresión de 305.77  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

En base a las potencialidades de los residuos antes mencionados y sus correspondientes antecedentes de estudio se planteó la hipótesis de que por calcinación a moderadas temperaturas y moliendas a partículas de granos finos sería posible activar los precursores puzolánicos (cementantes) de *Argopecten purpuratus* "concha de abanico", las hojas secas de bambú y, el vidrio reciclado; a un nivel que, permitirían reemplazar al cemento en el concreto y elevar su resistencia. A fin de comprobarlo planteamos el objetivo de sustituir el 5%, 10% y 15% del cemento en el concreto, por

los residuos activados y por separado para cada material; para después, determinar sus resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días y luego compararlo con la resistencia de un concreto patrón sin sustitución.

Desde esta perspectiva nuestra propuesta explora la alternativa de desarrollar materiales cementantes de alto rendimiento y de menores costos que incluya a un amplio sector de nuestra población marginados del uso del cemento convencional por sus altos costos. La relevancia de nuestra propuesta es que se usarían residuos renovables que a la fecha no tiene una utilidad práctica en nuestra país, lo mismos que para su activación requieren de menos consumo de energía y por lo tanto generan menos contaminación ambiental.

### **Material y métodos**

Los residuos calcáreos de *Argopecten purpuratus* “concha de abanico”, se obtuvieron en el mercado de peces “La Sirena” del centro de Chimbote. Estas muestras se limpiaron, lavaron y secaron a la sombra por 48 horas. La activación mecánica se inició con su trituración en un batán hasta alcanzar la granulometría de 300  $\mu\text{m}$ . El material triturado fue calcinado usando una mufla de los Laboratorios de Cerámicos de la Universidad Nacional de Trujillo (LC-UNT), durante 04 horas a una temperatura de 900 °C. Usando el molino de bolas del LC-UNT, el material calcinado fue sometido a molienda durante 03 horas, hasta alcanzar un tamaño de grano de 150  $\mu\text{m}$ .

Las hojas secas de bambú se obtuvieron del distrito de Copallín, provincia de Bagua-Departamento de Amazonas. Estas hojas inicialmente se sometieron a un quemado al aire libre y luego en una mufla del LC-UNT, se calcinaron a 600 °C de temperatura durante 02 horas. Las cenizas de las hojas del bambú así obtenida, se sometió a molienda en un molino de bolas del LC-UNT, durante 03 horas, hasta alcanzar un tamaño de grano de 150  $\mu\text{m}$ .

El vidrio reciclado se obtuvo de la recicladora “Rosita”, ubicada en el sector Villa María, en el distrito de Nuevo Chimbote, el tamaño de partícula del vidrio adquirido fue de 12.5 mm, el mismo que fue sometido a un lavado en agua corriente y un secado a la sombra. Para continuar con el proceso de trituración del vidrio hasta un nivel de 2mm, se utilizaron los servicios del taller artesanal “Sanchez” en la ciudad de Huaraz. Para culminar su activación mecánica, el vidrio de 2mm se sometió a una molienda de 08 horas en un molino de bolas del LC-UNT, hasta alcanzar un tamaño de grano de 150  $\mu\text{m}$ .

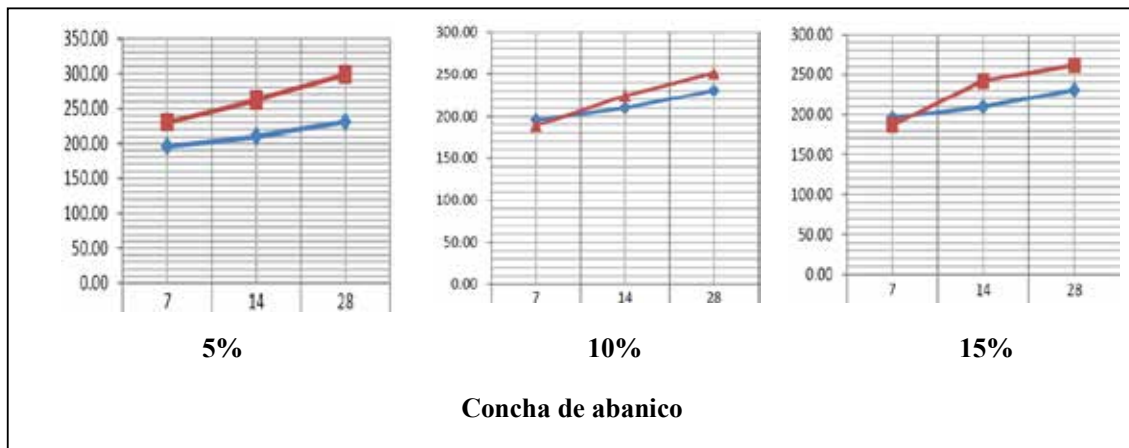
El cemento Portland tipo I, de la marca Pacasmayo, fue adquirido de la ferretería “Contreras”, ubicado en el Sector Trapecio (Chimbote), con especificaciones del productor de un tamaño de partícula de 75  $\mu\text{m}$ .

La elaboración del concreto patrón correspondió a un diseño de mezcla de resistencia a la compresión de 210  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , el cual fue curado y, ensayado de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas, en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología del Concreto de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Pedro (LMSTC-USP). Respecto al cemento sustituido, se emplearon sustituciones por separado de concha de abanico, hojas secas de bambú y vidrio reciclado en los niveles de 5%, 10% y 15%; utilizando la prensa de compresión del LMSTC-USP, se determinó sus correspondientes resistencias a las edades de 07, 14 y 28 días.

## Resultados

Se elaboraron 9 probetas por cada nivel de sustitución (5%, 10% y 15%), lo que significó la elaboración de 27 probetas para cada material. Tomando en cuenta los tres materiales a investigar, sumaron 81 probetas experimentales; más 9 probetas patrón. En el diseño de mezcla de estas probetas la razón agua cemento fue de 0.56 y las dimensiones de los moldes fueron de 15×30 cm, de acuerdo a la norma NTP 339.034.

La resistencia de las probetas experimentales se evaluó en términos de su tiempo de curado a los 7, 14 y 28 días y se compararon con la resistencia patrón para estas mismas edades. En las figuras 1, 2 y 3 se presentan las resistencias a la compresión de los materiales ensayados.



**Figura 1.** Resistencia en función de las edades y nivel de sustitución de las conchas de abanico.



**Figura 2.** Resistencia en función de las edades y nivel de sustitución de las hojas secas de bambú.

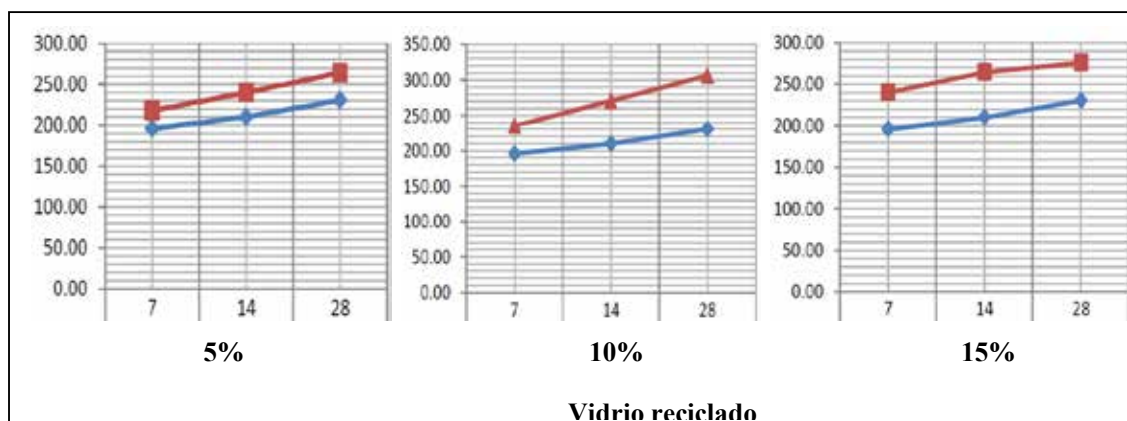


Figura 3. Resistencia en función de las edades y nivel de sustitución del vidrio reciclado.

Tabla 1. Comparación de las resistencias a los 28 días por nivel de sustitución y material.

Nivel de Sustitución	Material	N	Media	Descripción Típica	Resistencia
5 %	Concha	3	298.63	8.582	+++
	Bambú	3	280.14	15.380	++
	Vidrio	3	263.82	22.708	+
	Total	9	280.86	20.833	
10 %	Concha	3	250.93	17.908	+
	Bambú	3	343.50	8.653	+++
	Vidrio	3	306.43	.416	++
	Total	9	300.29	41.556	
15 %	Concha	3	261.59	9.496	+
	Bambú	3	339.08	5.356	+++
	Vidrio	3	276.03	13.013	++
	Total	9	292.23	36.681	

Leyenda: (+++) alta; (++) mediana; (+) baja

Tabla 2. Análisis de la varianza de la resistencia por nivel de sustitución y edad.

Nivel. Sust.	Edad	F	Sig.
5 %	7	4.532	0.63
	14	2.045	0.210
	28	3.306	0.108

## Discusión

En la figura 1, se observa que el desarrollo de la resistencia a la compresión para los tres niveles de sustitución de la concha de abanico, el concreto sustituido supera al patrón. Este resultado se sustenta en la temperatura de calcinación de 900 °C al que fue sometido el material, que le permitió convertir su contenido de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en su fase activa de óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), los mismos que al ser mezclado con el cemento y el agua dentro de la mezcla del concreto, le aportaron los elementos puzolánicos de Hidróxido de Calcio [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ]. Estos compuestos puzolánicos al reaccionar con los óxidos del silicio del cemento conformaron el compuesto coloidal cementante de Hidratos de Silicatos de calcio Hidratados (CHS). El mejor resultado para el nivel de sustitución al 5 % refleja que para este nivel los CHS estarían favoreciendo el fraguado del concreto y, favoreciendo el de desarrollo de su resistencia.

Para los porcentajes superiores de 10 % y 15 % su contribución estaría saturando el componente de  $\text{CaO}$  dentro de la mezcla y contribuyendo a frenar el desarrollo de la resistencia del concreto. Al 5 %, nuestros resultados fueron superiores a los reportados por Julián et al. (2011), básicamente, porque la temperatura de calcinación se incrementó de 800 °C a 900 °C, lo que favoreció el porcentaje de conversión del componente activo de  $\text{CaO}$ ; pero además, el tamaño de grano final disminuyó de 450  $\mu\text{m}$  para el trabajo anterior, a 150  $\mu\text{m}$  para el trabajo actual, lo que incrementó el área específica de este último material.

En la figura 2, se observa que para los tres niveles de sustitución de las hojas secas del bambú, la resistencia experimental supera al patrón y alcanza sus mejores valores para los niveles de sustitución al 10 % y 15 %. Estos resultados se sustentan en razón de que los altos contenidos de silicio y aluminio provenientes de la biomineralización de las hojas del bambú que tan solo requirieron de 600 °C de calcinación para convertirse en sus respectivas fases hidráulicas de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Estas fases al mezclarse con el componente de  $\text{CaO}$  contenido en el cemento desarrollan los compuestos cementantes activos de CHS. El hecho de que las resistencias más favorables corresponden al 10 % y 15 % es porque los altos contenidos del cemento que son del orden del 63 % de  $\text{CaO}$  están soportando las contribuciones de los óxidos de silicio y aluminio de las hojas secas del bambú.

Al relacionar el mejor resultado de nuestra resistencia de 343.50  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , a los 28 días y 10 % de sustitución con la reportada por Frías et al. (2013) de 630  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , para la misma edad y nivel de sustitución observamos que la muestra es menor; pero esta mayor resistencia lo obtuvieron para mezcla en mortero; mientras que, la nuestra corresponde a una mezcla de concreto. Un aspecto adicional de la diferencia de esta similitud es que el tamaño de grano alcanzado en el resultado reportado fue de 45  $\mu\text{m}$ , mientras que el nuestro, por limitaciones de equipo solo alcanzo 150  $\mu\text{m}$ .

El comportamiento de la resistencia del vidrio reciclado que se observa en la Figura 3, se explica en términos de que este material contiene altos porcentajes de  $\text{SiO}_2$ , considerables porcentajes de  $\text{CaO}$  y, mínimos porcentajes de  $\text{A}_2\text{O}_3$ . Estos componentes que fueron activados en la fabricación original del vidrio, al ser sometidos a molienda hasta alcanzar un tamaño de grano de 150  $\mu\text{m}$ , incrementaron su área efectiva de reacción, la cual al mezclarse con los contenidos de óxidos de calcio, silicio y aluminio que contiene el cemento, potenciaron su reacción y contribuye a incrementar la resistencia del concreto. Al comparar nuestra mejor resistencia de 306.43  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , a los

28 días para una sustitución del 10 %; con los reportados por Vijayakumar et al. (2013) de 305.7 kg/cm<sup>2</sup> son muy próximos y ambos se realizaron para mezclas de concreto, para la misma edad y nivel de sustitución; confirman que nuestros procesos de activación de este material fueron los correctos.

El análisis estadístico de las resistencias de nuestros resultados, que se presenta en la tabla 1, corroboran los mejores comportamientos al 5 % de sustitución de las conchas de abanico, y del 10 % para la sustitución para las hojas secas del bambú y el vidrio reciclado. Además la tabla 2, nos confirma que los resultados de las resistencias obtenidas al 10% y 15% para los tres materiales investigados son significativos; es decir que son reproducibles, con un margen de error de  $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0.001$ .

## Conclusiones

Los tres materiales investigados, en sustituciones por separados para cada material, a los niveles de 5 %, 10 % y 15 % han superado la resistencia patrón. Los resultados al 10 % y 15 % muestran una significancia estadística que confirma nuestra hipótesis.

En las sustituciones por separado, las mejores resistencias correspondieron al 5 % de sustitución para los residuos de las conchas de abanico; y al 10 %, para las hojas secas del bambú y el vidrio reciclado.

Al haberse comprobado la actividad puzolánica de los tres materiales actuando por separado; el próximo paso, en esta línea de trabajo será, investigarlos combinados como un material compuesto, y en porcentajes superiores a los aquí reportados; profundizando además, en la composición química, estructural y morfológica del compuesto.

## Referencias bibliográficas

- Frias, M., Savastano, H., Villar, E., Sánchez de Rojas, M., Santos, S. (2012). *Characterization and properties of blended cement matrices containing activated bamboo leaf waste*. Recuperado de: <http://prpg.usp.br/dcms/uploads/arquivos/biosmat/antigo%201.pdf>
- Julián, C., Manrique, C., Lizaraburo, L., Hermosa, M., Campos, S., Zegarra, L. (2011). Sustitución parcial del cemento por residuos calcáreos de conchas de abanico en mezclas de concreto. *Conocimiento para el Desarrollo*, 2(1-8).
- PERUBAMBU. (2013). *Promoción de la rehabilitación, manejo y uso sostenible de los bosques tropicales de bambú en la región noroccidental del Perú*. Recuperado de : [http://perubambu.org.pe/Proyectos\\_Actividades.php](http://perubambu.org.pe/Proyectos_Actividades.php)
- PRODUCE. (2013). *Cosecha de recursos hidrobiológicos procedentes de la actividad de acuicultura según especie y ámbito*. Recuperado de: <http://www.produce.gob.pe/index.php/estadisticaacuicultura>

Sakoda, S., Watanabe, S., Ishiyama, N., Saito, H. (2003). *Effective Utilization of Scallop Shell with Shrinkage- Compensate Cement*. JCA Proceedings of cement concrete (Japan Cement Asociacion). Recuperado de : [http:// science links-jp/j-cast/ article/200409/0000200409004a0262197.pdf](http://science.links-jp/j-cast/article/200409/0000200409004a0262197.pdf)

Vijayakumar, G.,Vishaling, H., Govindarajuli, D. (2013). *Studies on Glass Powder as Partial Replacement of cement in concrete Production*. Recuperado de : [http:// www.ijetae.com/files/volume 3Issue 2/IJETAE 0213 25.pdf](http://www.ijetae.com/files/volume 3Issue 2/IJETAE 0213 25.pdf)