

Caracterización de ladrillo de concreto con cal hidratada y plástico PET reciclado

Characterization of concrete brick with hydrated lime and recycled PET plastic

Diana Y. Benavidez Rubio^{1,*}  Claudia E. Benavidez Núñez¹ 

¹Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

*Autor correspondiente [e-mail: diana-ybr@hotmail.com]

RESUMEN

En la actualidad, a la hora de construir se buscan materiales de calidad técnica y económica, de un bajo gasto energético para el ambiente, como respuesta surgieron los ladrillos eco amigables, unidades de albañilería que incluyen en su matriz a materiales reciclados. Se tuvo por objetivo caracterizar al ladrillo sólido de concreto con adición de cal hidratada y plástico PET reciclado en el distrito de Chota. La mezcla para resistencia a compresión ($f'c$)= 175 kg/cm² para 1 m³ de concreto estuvo conformada por 7.76 bls cemento, 0.35 m³ arena, 0.30 m³ confitillo y 0.22 m³ agua; los cuales fueron modificados con cal en 3, 6 y 9% del peso de cemento y con PET reciclado en 3, 6 y 9% del volumen de agregados. Se determinó que todos los diseños disminuyen relativamente la resistencia a compresión, pero presentan superiores resistencia a la compresión del diseño inicial, por tanto, cumplen con las características técnicas para la elaboración de concreto. En lo técnico, económico y ambiental la mejor dosificación de concreto fue con 9% de cal y 9% de PET que presentan mayor resistencia a compresión en unidad (188.75 kg/cm²), mayor resistencia a compresión en pilas (180.32 kg/cm²) y mayor resistencia al corte en muretes (58.79 kg/cm²) que el ladrillo de concreto estándar especificado en la norma E.070.

Palabras clave: unidad de albañilería, resistencia a compresión, absorción, muretes

ABSTRACT

At present, when it comes to building, materials of technical and economic quality are sought, with low energy consumption for the environment, and in response, eco-friendly bricks, masonry units that include recycled materials in their matrix, have emerged. The objective was to characterize the solid concrete brick with the addition of hydrated lime and recycled PET plastic in the district of Chota. The mix for compressive strength ($f'c$)= 175 kg/cm² for 1 m³ of concrete consisted of 7.76 bls cement, 0.35 m³ sand, 0.30 m³ clay and 0.22 m³ water; which were modified with lime in 3, 6 and 9% of the weight of cement and with recycled PET in 3, 6 and 9% of the volume of aggregates. It was determined that all the designs decrease relatively the compressive strength, but present higher

compressive strength than the initial design, therefore, they comply with the technical characteristics for the elaboration of concrete. In technical, economic and environmental terms, the best concrete dosage was with 9% lime and 9% PET, which have higher compressive strength in units (188.75 kg/cm^2), higher compressive strength in piles (180.32 kg/cm^2) and higher shear strength in walls (58.79 kg/cm^2) than the standard concrete brick specified in the E.070 standard.

Keywords: masonry unit, concrete, compressive strength, absorption, walls.

INTRODUCCIÓN

Las unidades de albañilería, también denominados ladrillos, son los elementos sólidos o huecos, más utilizados para el asentado de muros portantes o no portantes en las viviendas del Perú (INEI, 2018), según su resistencia estructural normada en la RNE E.070 (MVCS, 2021). Los ladrillos generalmente tienen como componentes al cemento, agua, arena y confitillo, pero según Caballero et al. (2017), pueden aplicarse materiales residuales, para fabricar unidades de albañilería ecológicas, sin necesidad de alterar sus parámetros físico-mecánicos, por el contrario, mejorando su capacidad mecánica, para evitar el deterioro prematuro en ciudades con condiciones climatológicas adversas, como fuertes precipitaciones pluviales.

La cal, es uno de los materiales de construcción más antiguos (Villarino, 2018), en la actualidad se asocia este material con la bioconstrucción y la rehabilitación de edificaciones (Ortín et al., 2020), mientras que el plástico es un material de difícil degradación, pero que puede ser reciclado (Rika, 2013); en Cajamarca muchas de sus provincias tienen problemas de acumulación de residuos PET y falta de vertederos municipales.

En la ciudad de Chota, Cajamarca, generalmente se utiliza el ladrillo industrial de arcilla, por ser este el material de mayor demanda, pero tiene costo adicional para su traslado desde otras ciudades próximas. El

ladrillo sólido de concreto puede llegar a convertirse en una opción técnica, económica y ambiental para la construcción; sin embargo, es necesario verificar información técnica científica de investigaciones internacionales. Haque (2019), Bijnemula y Noolu (2020) y, Ortiz y Riesco (2015) afirman que el ladrillo sólido elaborado con adición de cal hidratada y plástico PET presente mejores características que un ladrillo convencional. ¿Cómo validar tal afirmación, si las características de los agregados locales presentan diferentes características de gradación, peso, absorción y humedad que los agregados utilizados en otras investigaciones? Resultando necesario realizar investigaciones científicas que analicen las características del ladrillo de concreto elaborado con agregados locales, cal y plástico PET reciclado. En este sentido, se tuvo como objetivo, caracterizar al ladrillo sólido de concreto con adición de cal hidratada y plástico PET reciclado en el distrito de Chota, Cajamarca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la ciudad de Chota, situada geográficamente en las coordenadas: $6^{\circ}33'31''$ latitud sur, $78^{\circ}38'51''$ longitud oeste, a 2388 msnm (MPCH, 2018). En la Figura 1, se observa la ubicación de los distritos de Chota y Conchán de donde fueron extraídos el agregado grueso (confitillo) y el agregado fino (arena), de sus respectivas canteras descritas en la Tabla 1. Las evaluaciones se realizaron en 11 meses,

iniciando en agosto del 2019, pero siendo interrumpido el proceso en los meses marzo a agosto del 2021, por la pandemia de la covid-19, retomando en los meses de septiembre del 2020

a marzo del 2021. Durante el periodo de ejecución las variaciones de temperatura fueron entre 12.6 a 26.6°C con una precipitación promedio de 115.05 mm/mes (SENAMHI, 2020).

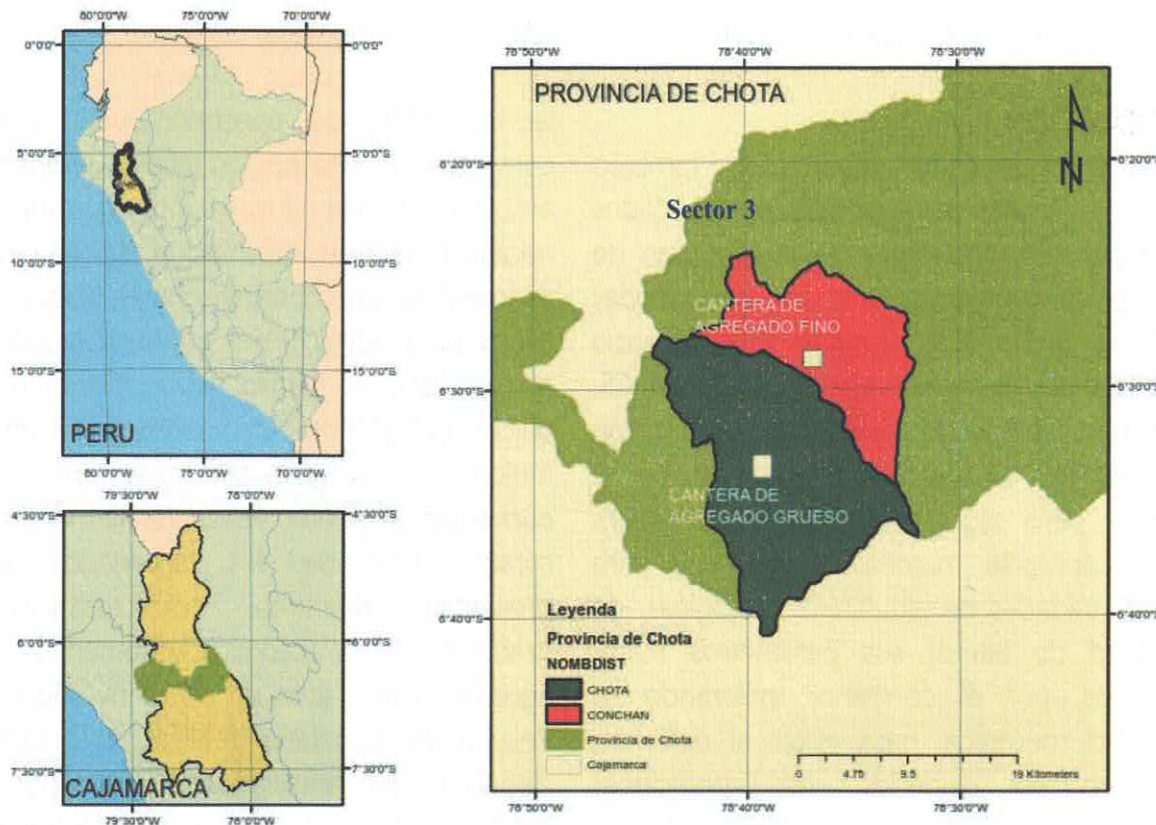


Figura 1. Ubicación geográfica de los distritos de Chota y Conchán, donde se ubicaron las canteras de agregados para la elaboración de los ladrillos solidos de concreto.

Tabla 1. Ubicación de las canteras de los agregados y materiales, en la provincia de Chota, Cajamarca.

Agregado y/o materiales	Cantera	UTM	
		Este	Norte
Agregado Fino (Arena)	Conchán	760490	9288131
Agregado Grueso (Confitillo)	Los Peroles	763928	9269923
Cal Hidratada	Negropamapa	762097	9269065

Inicialmente se recolectaron las muestras de agregados y materiales para determinar su gradación, peso específico, peso unitario suelto y compactado, a fin de que estos datos sirvan para el diseño de mezclas para un concreto $f'c = 142.76 \text{ kg/cm}^2$ (ladrillo Tipo 17). Todos los

ensayos en los agregados y materiales se realizaron en el laboratorio de mecánica de materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota.

El análisis granulométrico de los agregados se realizó mediante el proceso de tamizado, en el agregado fino se usó una muestra de 1 kg mediante el método de cuarteo; para tamices de 3/8", números 4, 8, 16, 30, 50 y 100, con cazoleta para el material más fino. En el agregado grueso, se usó tres muestras secas de 1 kg por el método de cuarteo, para tamices de 1/2", 3/8", números 4, 8, 16, 30, 50, y 100, con cazoleta para el material más fino. Para el plástico PET reciclado se usó 5.00 kg, para ser tamizadas según la NTP 400.012 (2018). El proceso de tamizado se efectuó tres veces consecutivas.

Para el ensayo de peso unitario suelto las muestras de agregado fino y grueso se colocaron y pesaron en el molde metálico cilíndrico; para el peso unitario compactado se colocó el agregado al molde metálico cilíndrico en tres capas, cada capa de material fue apisonada con 25 golpes por una varilla de acero y luego se pesó. El ensayo se ejecutó por tres veces consecutivas (NTP 400.017)

Para la prueba de peso específico y absorción se saturó el material por 24 horas, luego se seleccionó por el método de cuarteo una muestra de 1 kg que cumplió con la prueba del cono de absorción de arena, posteriormente se colocó a un picnómetro y se le añadió agua agitándolo para que la muestra pierda los vacíos y finalmente se pesó (NTP 400.022, 2002).

El ensayo de contenido de humedad se ha realizado a una muestra de agregado fino de 1kg y una muestra de 1.5 kg de agregado grueso en estado natural, luego se colocó las muestras al horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, se sacaron las muestras del horno y se dejaron por un tiempo a temperatura ambiente para que las muestras enfríen; finalmente se pesaron (NTP 339.185, 2018).

Determinadas las propiedades físico – mecánicas de los agregados, se realizó el diseño de mezclas del concreto por el método ACI, luego se elaboraron los especímenes de ensayo con la proporción 7.76 bls cemento, 0.35 m^3 arena, 0.30 m^3 confitillo y 0.22 m^3 agua, se elaboraron nueve especímenes con la mezcla de concreto patrón y 54 especímenes modificados con cal hidratada como remplazo al 3, 6y 9% del peso del cemento, y con plástico PET reciclado como remplazo del 3, 6 y 9% del volumen del agregado fino y agregado grueso por separado, para ensayos a compresión a los 7, 14 y 28 días.

El ensayo de asentamiento de concreto se realizó según la NTP 339.035, es una de las propiedades que mide el estado de fluidez del concreto, de acuerdo con el diseño de mezcla de concreto el asentamiento puede variar entre 1" y 2". El contenido de aire en el concreto para el agregado grueso analizado fue de 3%.

Para el ensayo de resistencia se elaboraron especímenes de 15 x 30 cm, los cuales fueron sometidos a carga axial en la máquina de compresión. Este fue un factor importante en la selección del diseño optimo del concreto, la resistencia va variando conforme se adicionó cal hidratada y plástico PET reciclado al concreto. Lo que se buscó fue que con los porcentajes de adición el concreto llegue a la resistencia especificada en la norma para un tipo de ladrillo tipo 17.

Determinada las características del concreto con cal hidratada y PET por separado, se procedió a plantear el diseño de mezclas en conjunto con 9% de cal hidratada como remplazo en peso del cemento y 9% de plástico PET como remplazo en volumen del agregado fino y agregado grueso, para elaborar 63 ladrillos.

Los ladrillos fueron ensayados a contenido de humedad, peso específico, resistencia a la compresión en unidad (NTP 399.601, 2015), resistencia axial en pilas (NTP 399.604, 2015) y resistencia al corte diagonal en muretes (NTP 399.621, 2004). Las dimensiones adoptadas para el diseño del ladrillo son las más usadas en el mercado actual, 24x14x9 cm, de largo, ancho y altura respectivamente; aptas para edificaciones con asientos de cabeza, canto y de sogá. Los ensayos en unidad se realizaron en el laboratorio GSE de Chota, mientras que los ensayos en muros de albañilería se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

La dosificación de mezcla se determinó según el análisis técnico (ensayos de mecánica de materiales), análisis económico (según el costo unitario del m³ del concreto) y análisis ambiental. Para la evaluación de impactos ambientales y sociales se utilizó la matriz de Conesa et al. (2010), identificando aspectos ambientales del proyecto que pueden ser susceptibles de causar impactos, factores ambientales que pueden ser impactados y la interacción entre estos; luego se utilizaron atributos para determinar la importancia de los impactos. A continuación, se describen los atributos en la ecuación (ec. 1). Finalmente, para asignar valores a cada atributo se obtuvo el índice de significancia "I" el cual tomará valores entre 13 y 100 (Tabla 1)

$$I = \pm(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RE) \text{ ec. 1}$$

Donde: I- índice de significancia, IN- intensidad, EX- extensión, MO- momento, PE- persistencia, RV- reversibilidad, SI- sinergia, AC- acumulación, EF- efecto, PR- periodicidad y RE- recuperabilidad.

Tabla 1. Índice de impacto ambiental o índice de significancia (I)

I	Valor
Bajo	IM < 25
Moderado (medio)	25 ≤ IM < 50
alto	50 ≤ IM < 75
Muy alto	IM ≥ 75

En procesamiento de análisis de datos se utilizó estadística descriptiva, mediante el uso del software Microsoft Excel 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2, se observa que el tamaño máximo de la arena seleccionada de la cantera de Conchán fue 3/8" y su TMN fue N°4; la arena no tuvo más del 45% entre dos mallas consecutivas, por lo tanto, cumple con lo establecido en la NTP 400.037. Así mismo según la curva granulométrica, el porcentaje del material que pasa por las mallas 30 y 50 no cumple con los porcentajes establecidos en la norma; es decir, en estas mallas se retiene más arena. El módulo de finura fue 2.17, este no cumple con lo que establece la norma NTP 400.037, ya que este valor está por debajo del límite inferior 2.3, en cambio la arena analizada por Caballero et al. (2017) y, Martín-Morales et al. (2017) presentaron un módulo de finura dentro del rango normativo, estos autores establecen que módulos de finura menores se deben al amplió proceso de erosión generado por los fuertes vientos en el área donde se ubica la cantera, así mismo, el porcentaje que pasa por la malla 200 fue superior al límite (5%) en 0.32%, por lo que se verifica que el agregado fino en su mayoría no cumple con los estándares de la norma NTP 400.037, pero a pesar de ello puede ser utilizado en la elaboración del concreto.

Tabla 2. Propiedades físicas del agregado fino de la cantera, valor medio y rango según NTP 400.037

Propiedades físicas	Media	Rango
Módulo de finura	2.17	2.3 a 3.1
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.35	-
Absorción (%)	1.09	-
Peso unitario suelto seco (gr/cm ³)	1.45	-
Peso unitario compactado seco (gr/cm ³)	1.56	-
Contenido de humedad (%)	0.87	-
Porcentaje que pasa por la malla #200(%)	5.32	5.00

En la Tabla 3, el tamaño máximo del confitillo fue de 1/2" (12.7 mm) y su TMN fue de 3/8" (9.51 mm) ya que en esta malla se observa su primer peso retenido. En la curva granulométrica se verifica que los porcentajes de material que pasan cumplen con los estándares de la Norma E.070, a excepción del material que pasa por la malla 3/8" debido a que el porcentaje que pasa es de 83% y los límites están entre 85% y 100%, por lo cual, con un tamizado simple, se solucionaría esta dificultad. El porcentaje que pasa por la malla 200 cumple con los estándares de la norma NTP 400.037. En tanto que el

porcentaje de abrasión nos indica la calidad del material, donde el confitillo tuvo un porcentaje de 24.35%, por lo tanto, indica buena resistencia al desgaste. El peso específico de masa, peso unitario suelto y peso unitario compactado alcanzaron valores de 2.60, 1.39 y 1.50 gr/cm³, respectivamente. Similares resultados obtuvieron Martin-Morales et al. (2017), por lo que utilizaron productos mineralógicos "Confitillo" provienen de canteras de cerro. Por último, se puede aseverar que el confitillo cumple con los estándares de la norma NTP 400.037.

Tabla 3. Propiedades físico-mecánicas del confitillo, valor medio y rango normado según NTP 400.037

Propiedades	Media	Rango
Módulo de finura	5.91	-
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.60	-
Absorción (%)	1.20	-
Peso unitario suelto seco (gr/cm ³)	1.39	-
Peso unitario compactado seco (gr/cm ³)	1.50	-
Abrasión (%)	24.35	50.00
Contenido de humedad (%)	0.30	-
Porcentaje que pasa por la malla #200(%)	0.63	1.00

En la Tabla 4, el tamaño máximo del plástico PET reciclado seleccionado fue de 1/2" (12.7 mm) y su tamaño máximo nominal fue 3/8" (9.51 mm). El módulo de finura fue mayor al de la arena en

102.3%, pero menor al confitillo en 82.69%, no obstante, este módulo no está dentro del rango entre 2.3 a 3.1 dado en la NTP 400.037 para agregado fino, Caballero et al. (2017)

determinaron que el plástico PET triturado que utilizaron llegaba a cumplir con el módulo de finura pero en el límite máximo, es decir 3.1, esto se debe a la finalidad de remplazo, es decir, si se busca que el residuo PET remplace al agregado fino, se buscaran gradaciones más finas; sin embargo, si se busca remplazar al agregado grueso se tendrán hojuelas de mayores dimensiones. En esta investigación el agregado PET utilizado fue utilizado como remplazó del agregado fino y agregado grueso por separado,

por tanto, se ha tratado que cumpla con los estándares de un agregado global para el cual no se requiere un módulo de finura específico según la NTP 400.037, cumpliendo con las especificaciones de la normatividad, tal como lo específica Haque (2019), Martín-Morales et al. (2017), Ingrao et al. (2014), entre otros.

El peso específico de masa, peso unitario suelto y peso unitario compactado fue menor que el agregado fino y confitillo analizado (Tabla 4).

Tabla 4. Propiedades físicas del plástico PET reciclado, valor medio y variaciones respecto al agregado fino (AF) y agregado grueso (AG).

Propiedades	media	Variación (%)	
		AF	AG
Módulo de finura	4.39	102.30	-82.69
Peso específico de masa (gr/cm ³)	1.36	-42.13	-116.20
Peso unitario suelto seco (gr/cm ³)	0.46	-68.28	-149.12
Peso unitario compactado seco (gr/cm ³)	0.52	-66.67	-114.44

En la Tabla 5, se muestra la mezcla base para $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ (modificada). Debido a la densidad menor del plástico PET se ha adicionado volumen y no en peso (Caballero et al., 2017), siendo una solución amigable para la construcción de viviendas en Municipios rurales (Haque, 2019).

Los porcentajes de adición de PET reciclado, fueron mayores en otras investigaciones, pues buscaban elaborar ladrillos de concreto para la construcción específica de muros no portantes, dando mayor relevancia al aporte ambiental, no obstante, mientras más porcentaje de PET se agrega al concreto este presenta menor resistencia a la compresión; lo mismo ocurre al

adicionar 3% de cal hidratada, sin embargo, a pesar de que los valores disminuyen siguen siendo aceptables para la resistencia de diseño $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y para la resistencia de 142.67 kg/cm^2 , de un ladrillo tipo 17 dada en la NTP 399.601.

La resistencia a compresión de los especímenes disminuye con los materiales adicionantes debido a la falta de adherencia con los agregados locales (Bijivermula y Noolu, 2020; Caballero et al., 2017). Sin embargo, a pesar que la resistencia a la compresión del concreto va disminuyendo al adicionar cal hidratada o plástico PET reciclado, se mantiene la resistencia de diseño (Tabla 6).

Tabla 5. Cantidad de materiales en kg para la elaboración de 1 m³ de concreto modificado con adición de cal hidratada o plástico PET reciclado

Concreto	Cemento	Arena	Confitillo	Agua	Cal hidratada	PET reciclado
kg/m ³			lt/m ³kg/m ³	
Testigo	329.62	835.02	785.55	224.15	0.00	0.00
3% PET	329.62	820.53	761.98	224.15	0.00	26.78
6% PET	329.62	806.13	760.86	224.15	0.00	53.50
9% PET	329.62	791.55	748.68	224.15	0.00	80.25
3% cal	319.81	835.11	785.55	224.12	9.89	0.00
6% cal	309.86	835.11	785.55	224.12	19.78	0.00
9% cal	299.92	835.11	785.55	224.12	29.67	0.00

Tabla 6. Resistencia a la compresión del concreto modificado con adición de cal hidratada o plástico PET reciclado

Diseño	Proporción	7 días	14 días	28 días
	kg/cm ²		
Diseño base	1:2.53:2.38+ 0% PET	192.11	211.87	225.23
3% PET	1:2.49:2.31 + 3% PET	189.73	209.17	214.17
6% PET	1:2.45:2.3 + 6% PET	166.2	188.6	202.3
9% PET	1:2.40:2.27 + 9% PET	159.03	170.07	182.23
3% cal	0.97:2.53:2.38 + 3% cal	205.7	214.83	230.17
6% cal	0.94:0.53:2.38 + 6% cal	181	200.6	213.67
9% cal	0.91:2.53:2.38+ 9% cal	178.5	191.97	206.63

Técnicamente se pueden utilizar cualquier combinación de PET reciclado y cal hidratada para la elaboración de ladrillos de concreto manteniendo su resistencia estructural, cumpliendo así con la norma NTP 399.604. El costo del concreto convencional equivale a s/. 211.87 soles. El costo del concreto por m³ con adición de plástico PET reciclado se incrementa al adicionar mayor porcentaje de PET, alcanzando valores de s/. 216.27, 220.60 y 224.94 soles para 3, 6 y 9%, respectivamente, por tanto, la diferencia máxima en el costo fue 13.07 soles, en contra de los constructores. El costo del concreto por m³ con adición de cal hidratada disminuye al adicionar mayor porcentaje de cal

hidratada, alcanzando valores de s/. 208.33, 205.02 y 201.48 soles para 3, 6 y 9%, respectivamente, por tanto, la diferencia máxima en el costo fue 10.39 soles, a favor de los constructores. Según los resultados se puede compensar los costos al adicionar PET reciclado y cal hidratada juntos a la vez, obteniendo un incremento en el costo de tan solo 2.68 soles, sobre el precio del concreto patrón (Fig. 2). Después de realizar la evaluación de impactos ambientales generados durante el proceso de fabricación de ladrillos adicionando plástico PET se obtuvo impactos moderados e impactos alto de naturaleza positivos (Tabla 7). En base a los resultados se ha definido que los bloques de

concreto con 9% de cal hidratada y 9% de plástico PET reciclado son favorables técnica, económica y ambientalmente, para su uso en la elaboración de ladrillos tipo 17, según la NTP 399.601.

Tabla 7. Matriz de Conesa et al. (2010) para estudio de impacto ambiental, en la fabricación de ladrillo con valores de intensidad (IN), extensión (EX), momento (MO), periodicidad, (PE), reversibilidad (RV), acumulación (AC), efecto (EF), reversibilidad (PR), recuperabilidad (RE), Índice de significancia (I).

Impactos ambientales	±	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	RE	I	Calificación
Reducción de la contaminación del suelo producido por el arrojado de residuos sólidos (plástico PET).	+1	4	4	2	4	1	1	4	4	1	1	+38	Moderado (medio)
Disminución de contaminación de agua producto de los lixiviados producidos por la descomposición de residuos sólidos (plástico PET)	+1	8	4	2	4	1	1	4	4	1	1	+50	Moderado (medio)
Disminución de gases producto de la descomposición de residuos sólidos (plástico)	+1	2	2	2	4	1	1	1	4	1	1	+25	Moderado (medio)
Disminución de muerte de los animales pesqueros producto de atrapamiento por residuos sólidos en el mar	+1	8	4	4	4	1	1	4	4	1	1	+52	Alto
Valorización de residuos sólidos (plástico PET)	+1	4	2	4	4	1	1	1	4	4	1	+36	Moderado (medio)
Generación de puestos de trabajo en la fabricación de ladrillos	+1	4	2	4	4	1	1	4	4	4	1	+39	Moderado (medio)

Tabla 8. Características técnicas del ladrillo de concreto con 9% de PET como sustituto en volumen de los agregados y 9% de cal hidratada como sustituto en peso del cemento

Características	Ladrillo de concreto	
	con 9% PET y 9% cal	NTP 399.604
Densidad (kg/m ³)	2117.55	2200
Absorción (%)	5.81	12.00
Resistencia a la compresión en unidad (kg/cm ²)	188.75	142.67
Resistencia en pilas (kg/cm ²)	180.32	120.00
Resistencia en muretes (kg/cm ²)	58.79	10.90

En la Tabla 8, los ladrillos de concreto elaboradas con 9% de plástico PET reciclado triturado y 9% de cal hidratada presentan características particulares distintas a las de un ladrillo de concreto convencional, pero dentro del rango normativo de la E.070 (MVCS, 2021) y la NTP 399.604. La densidad y la absorción de

agua están dentro del límite, sin exceder del 12%. Bijivermula y Noolu (2020) manifiestan que es importante garantizar que los bloques de concreto tengan una menor absorción, más aún en climas fríos donde las precipitaciones son constantes, ya que esto ayudará a que la unidad, este protegido frente a la humedad,

garantizando así que no vaya a presentar fallas por eflorescencia. Haque (2019) resalta que el plástico brinda resistencia a la absorción del ladrillo de concreto, haciendo que su capacidad para captar agua disminuya, esta capacidad también es un buen aislante térmico y acústico (Odero, 2016). La densidad también disminuye con la adición de plástico PET y cal, lo que facilita su manipulación durante el asentado de muros de albañilería (Bijivermula y Noolu, 2020). La resistencia a la compresión en unidad es mayor a la especificada en la NTP 399.604, pero no se puede eludir que a mayor cantidad de plástico PET y cal hidráulica se tenga menores resistencias en la mezcla de concreto (Bijivermula y Noolu, 2020). Sin embargo, Caballero et al. (2017) determinaron que la resistencia aumenta al adicionar PET, debido a la adherencia de los agregados; no obstante, se logra obtener ladrillos con buenas características técnicas en unidad, como también lo demuestran otros (Martin-Morales et al., 2017; Odero, 2016; Lourenço et al., 2010).

La resistencia a compresión de pilas construidas con ladrillos de concreto con 9% de plástico PET reciclado y 9% de cal hidratada, y asentadas con mortero de cemento-arena que cumple las especificaciones normativas, supera en 39.68 kg/cm² a la resistencia mínima especificada por la norma E.070 (MVCS, 2021) para ladrillos de concreto, esta resistencia también fue mayor a la alcanzada por Lourenço et al. (2010) que analizó ladrillos de concreto artesanales, alcanzando una resistencia en pilas de tan solo 61.50 kg/cm², pero los resultados dados por el ladrillo de concreto PET – cal hidratada, siguen siendo superiores.

La resistencia a compresión diagonal de los muretes construidos con ladrillos de concreto con 9% de plástico PET reciclado y 9% de cal hidratada, supera en 47.89 kg/cm² a la resistencia estipulada en la norma E.070 (MVCS, 2021), siendo superior a otras investigaciones (Lourenço et al., 2010; Daniel et al., 2021, Barreto et al, 2019).

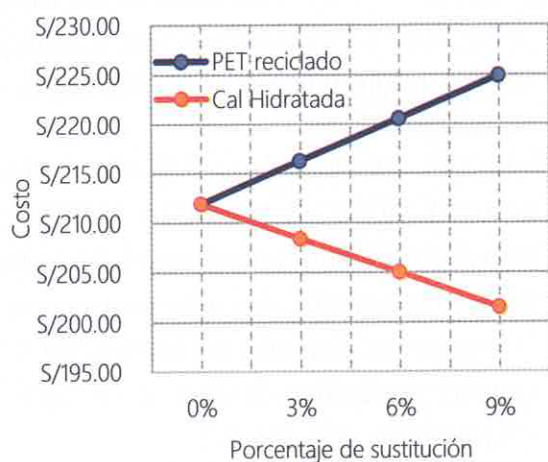


Figura 2. Costo por 1 m³ del concreto elaborado con PET reciclado como sustituto de los agregados en volumen y del concreto elaborado con cal hidratada como sustituto del cemento en peso.

CONCLUSIONES

Los agregados finos, grueso y residuos de plástico PET, presentan características físico-mecánicas diferentes. El agregado fino no cumple con la gradación, módulo de finura y porcentaje que pasa la malla 200 estipulada en la NTP 400.037, en cambio el agregado grueso cumple con todos los estándares normativos presentando una resistencia al desgaste menor al 50%. Los residuos de plástico PET no tienen una norma de revisión, pero presentan características de gradación acorde a los límites dados para confitillo en la norma E.070, así mismo su peso unitario y específico fue menor que el de otros agregados.

La mezcla base $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ para 1 m³ de concreto al ser modificada con la adición de cal

hidratada o plástico PET reciclado, presenta un incremento en su asentamiento, pero una disminución relativa en la resistencia a la compresión de 225.23 kg/cm² a 203.63 y 182.23 kg/cm², respectivamente para cal y PET. Sin embargo, siguen manteniendo resistencias características superiores a la resistencia de diseño.

La dosificación de concreto con cal hidratada y plástico PET reciclado para utilizarlo en la elaboración de ladrillos tipo 17, que presenta mejores características técnicas con un $f'c > 142.67$ kg/cm², económica un costo similar al del concreto base y ambientalmente positiva, fue la mezcla con 9% de cal hidratada y 9% de plástico PET reciclado.

Los ladrillos de concreto con adición de 9% de cal hidratada y 9% de plástico PET reciclado, presentan mayor resistencia a compresión en unidad, mayor resistencia a compresión en pilas y mayor resistencia al corte en muretes que el ladrillo de concreto estándar especificado en la NTP 399.604 y la RNE E.070.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de Chota, por intermedio de la Vicepresidencia de Investigación por el financiamiento de la presente investigación.

REFERENCIAS

- BARRETO, J. M. L., COSTA, H. N. D., CÂNDIDO, L. F., & CORREIO, A. E. B. C. (2019). Analysis of physical and mechanical properties of pressed concrete blocks without structural purposes with additions of recycled PET. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 24(2).
- BIJIVEMULA, S. K. R., & NOOLU, V. (2020). Analysis of mechanical and durability properties of alkali activated blocks using PET flakes and Fly-ash. *Materials Today: Proceedings*, 43(2), 1093-1097.
- CABALLERO, B., FLOREZ, O., & ALVAREZ, J. L. A. (2017). *Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietileno-Tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción*. [Doctoral dissertation, Universidad de Cartagena].
- CONESA RIPOLL, V., CONESA RIPOLL, L. A., & ROS GARRO, V. (2010). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental, 4^a ed. Mundi-Prensa, 864p.
- DANIEL, J. J., BASORO, D., & GEBRIE, M. (2021). An engineered alternative brick masonry unit for the poor inhabitants at Hawassa village, Ethiopia. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 8(79), 717.
- HAQUE, M. S. (2019). Sustainable use of plastic brick from waste PET plastic bottle as building block in Rohingya refugee camp: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(36), 36163-36183.
- INEI. (2018). *Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares Acceso a servicios básicos*. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- INGRAO, C., GIUDICE, A. L., TRICASE, C., RANA, R., MBOHWA, C., & SIRACUSA, V. (2014). Recycled-PET fibre based panels for building thermal insulation: Environmental impact and improvement potential assessment for a greener production. *Science of the Total Environment*, 493, 914-929.
- LOURENÇO, P. B., FERNANDES, F. M., & CASTRO, F. (2010). Handmade clay bricks: chemical, physical and mechanical properties. *International Journal of Architectural Heritage*, 4(1), 38-58.

- MARTIN-MORALES, M., CUENCA-MOYANO, G. M., VALVERDE-ESPINOSA, I., & VALVERDE-PALACIOS, I. (2017). Effect of recycled aggregate on physical-mechanical properties and durability of vibro-compacted dry-mixed concrete hollow blocks. *Construction and Building Materials*, 145, 303-310.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2021). Reglamento Nacional de Edificaciones. MVCS.
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHOTA. (MPCH, 2018). Plan de desarrollo urbano PDU de la ciudad de Chota. MPCH.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 399.605. (2013). *Unidades de albañilería. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería*. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 400.017. (2011). *Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados*. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 400.018. (2013). *Método de ensayo normalizado para materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N°200= por lavado en agregados*. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 339.185. (2018). *Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 400.022. (2013). *Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino*. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 400.021. (2018). *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*. Vol. 3a Edición. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 400.019. (2014). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 400.012. (2018). *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global 3ra Ed*. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 399.601. (2015). *Unidades de albañilería. Ladrillos de concreto. Requisitos*. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 399.621. (2004). *Unidades de albañilería. Métodos de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería*. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 400.037. (2018). *Agregados para concreto. Requisitos*. INACAL.
- NORMA TÉCNICA PERUANA 399.604. (2015). *Unidades de albañilería métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. INACAL.
- ORTÍN RULL, G., LLEAL, J., VALDIVIESO COCA, E., & SALA, D. (2020). Protección e impermeabilización con cal en la restauración de edificios de albañilería. *Revista CONTART*, 1(1), 1-12.
- ORTIZ, C. L., & RIESCO, J. M. (2015). Proceso de conversión de residuos plásticos en combustible. *Jóvenes en la ciencia*, 1(2), 1869-1873.
<http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/437/pdf>
1
- ODERO, B. J. (2016). *Physical and Mechanical Properties of Normal Concrete with Recycled Clay Products and the Plastic Fibres as Coarse*

Benavidez y Benavidez (2021). Caracterización de ladrillo...

Aggregates (Doctoral dissertation, JKUAT (SABS)).
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E
HIDROLOGÍA. (SENAMHI, 2020). Pronóstico
del tiempo para Chota (Cajamarca).
SENAMHI.

[https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-
detalle&dp=06&localidad=0033](https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=06&localidad=0033)

RIKA, J. K. (2013). *A study of variables
contributing to quantities of solid waste*

*generated by businesses located within
anniversary towers high rise building in the
Nairobi central business district-Kenya.*
[Doctoral dissertation, University of Nairobi].
<http://erepository.uonbi.ac.ke:8080/xmlui/handle/123456789/59265>

VILLARINO, A. (2009). *Ciencia y Tecnología de
los Materiales* (pp. 20–33). Universidad de
Salamanca.

<https://gredos.usal.es/handle/10366/83438>

Recibido: 17-08-2021 Aceptado: 28-08-2021 Publicado: 22-09-2021