

## Comparación de alternativas sustentables para bloques de concreto en muros divisorios

Comparison of sustainable Alternatives for concrete blocks in non-supporting walls

Ximena Jaqueline Villagómez Tapia<sup>1</sup> y Noe Garcia Sosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra  
xj.villagomezapia@ugto.mx; n.garciasosa@ugto.mx

### Resumen

Esta investigación consiste en analizar las distintas alternativas para la elaboración de ladrillos aptos para albañilería simple y con cargas bajas de compresión axial fabricados a mano con materiales reciclados.

Para obtener los mejores resultados se seleccionaron las tres alternativas con mayor probabilidad de darnos los valores mínimos y máximos aceptables según su método de elaboración. El análisis indica que debemos realizar la comparación entre elementos de Residuos Inorgánicos (RI), Residuos de Construcción (RC) y Residuos Plásticos (RP).

Para determinar el aporte de cada ladrillo, se elaboraron cinco muestras de cada material, se obtuvo la resistencia a la compresión ( $f_c$ ) y el porcentaje de absorción, lo que determina la calidad de un bloque apto para la construcción.

Los resultados muestran que una de las mejores alternativas es la elaboración de este tipo de elementos con Residuos Plásticos debido al desempeño de cada muestra en ambas pruebas realizadas.

**Palabras clave:** residuos inorgánicos; residuos constructivos; alternativas sustentables; ladrillos ecológicos; muros divisorios.

### Introducción

La razón principal que detona la idea de análisis de elementos de construcción sustentable es la de encontrar una alternativa que no sacrifique ninguna característica del ladrillo convencional, por lo tanto, es importante que la comparación entre los tres materiales sea lo más semejante a la realidad y que ningún método de elaboración favorezca más a alguno de los materiales.

Es de alta importancia encontrar las mejores alternativas de elaboración debido a la escasez de recursos con la que contamos actualmente e informar a las personas cuál es la opción más viable. Es por eso por lo que se seleccionan tres de los materiales que se producen con mayor rapidez; en el ámbito de la construcción, suelen ser los residuos constructivos, pero en un ámbito general, son tanto los residuos plásticos como los inorgánicos.

Con la presente investigación se pretende reconocer la mejor característica que aporta cada elemento según el material utilizado en su mezcla, de esta forma, será sencillo para las personas que pretenden utilizar estos ladrillos en algún proyecto o incluso en su elaboración y distribución tener un punto de partida y conocer a grandes rasgos qué características se espera obtener de cada uno.

Al concluir se pretende conocer la resistencia a la compresión ( $f_c$ ) de cada ladrillo con su respectivo método de elaboración y reconocer si cada uno cumple con los requisitos mínimos de calidad con los parámetros obtenidos de las pruebas experimentales y entonces conocer cuál es la mejor alternativa de las tres.

### Metodología

La metodología utilizada fue experimental y cualitativa debido a que es necesario realizar la prueba de la resistencia a la compresión y porcentaje de absorción para obtener las características más relevantes de los ladrillos, pero también es de suma importancia analizar las propiedades de los bloques y compararlos entre sí para poder brindar un análisis más completo.

Las dimensiones seleccionadas son las establecidas por la N-CMT-2-01-001 (2002). El largo debe ser entre 200 y 300 mm, el ancho entre 100 y 300 mm, y la altura para fabricados a mano debe ser entre 60 mm y 85 mm, por lo tanto, las medidas nominales de la muestra quedan como se muestra en la figura 1.

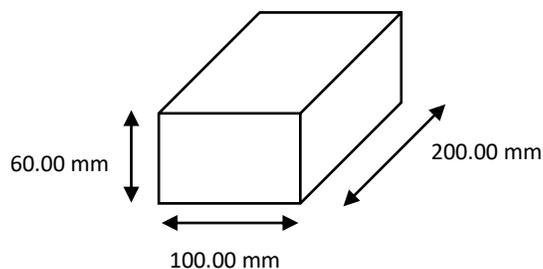


Figura 1. Medidas nominales para cada muestra (autoría propia)

## Materiales y dosificaciones

Las dosificaciones en cada muestra deben ser similares entre sí, por lo tanto, primero es necesario identificar el volumen total presentado en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Volúmenes para cada muestra

Volúmenes	Cantidad (ml)
Volumen de un ladrillo	1,200.00
Volumen de cinco ladrillos	6,000.00
Factor de desperdicio	6,900.00
Factor de abundamiento	10,350.00

Las cantidades se determinaron de esta forma debido a que no conocemos el peso específico de la combinación de residuos que vamos a utilizar, asegurando que todos tengan el mismo porcentaje de residuos respecto al volumen total de la muestra.

Una vez que obtenido el volumen total, se define el porcentaje de los cuatro materiales que vamos a utilizar para cada tipo de muestra. Según las investigaciones, la opción más favorable para obtener resultados óptimos es necesario utilizar un valor menor al 5% de residuos reciclados, de esta forma aseguramos que todos los ladrillos se encuentren dentro del límite aceptado. La cantidad de agua, cemento y arena fue propuesta con la misma metodología y se especifica de manera detallada en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Dosificaciones de cada material para cinco muestras

Materiales	Cantidad (ml)	Porcentaje (%)
Residuos	518.00	5.00
Agua	1,552.00	15.00
Cemento	1,035.00	10.00
Arena	7,245.00	70.00
Total	10,350.00	100.00

Además, el porcentaje de residuos utilizados en cada muestra fue diferente, sin embargo, el porcentaje del 5% se mantiene constante en todas las muestras, como se especifica en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Porcentaje de residuos reciclados utilizados en cada muestra

Tipo de residuo	Tipo de muestra		
	RP	RI	RC
Polietileno tereftalato (PET)	5.0%	2.0%	0.0%
Polietileno de baja densidad (PEBD)	0.0%	0.5%	0.0%
Polipropileno (PP)	0.0%	0.5%	0.0%
Poliestireno (PS)	0.0%	2.0%	0.0%
Residuos de Concreto	0.0%	0.0%	2.5%
Residuos de Ladrillo	0.0%	0.0%	2.5%

## Resultados y discusión

Comenzamos obteniendo los resultados de la prueba de porcentaje de absorción. Para esto sólo es necesario tener los valores de peso seco y peso húmedo en kilogramos, los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 4.** Porcentaje de residuos reciclados utilizados en cada muestra

Tipo de muestra	Nombre de muestra	Peso seco (kg)	Peso húmedo (kg)	Absorción (%)
Valor nominal	-	-	-	24.00
RI	RI1	2.34	2.52	7.69
	RI2	2.30	2.48	7.83
	RI3	2.34	2.52	7.69
	RI4	2.32	2.5	7.76
	RI5	2.28	2.48	8.77
RC	RC1	2.24	2.48	10.71
	RC2	2.20	2.4	9.09
	RC3	2.22	2.46	10.81
	RC4	2.26	2.48	9.73
	RC5	2.10	2.3	9.52
RP	RP1	2.34	2.51	7.26
	RP2	2.26	2.44	7.96
	RP3	2.50	2.69	7.60
	RP4	2.48	2.67	7.66
	RP5	2.54	2.72	7.09

Finalmente, en la Tabla 5, se presentan los resultados obtenidos de la prueba de  $f_c$  para cada muestra.

**Tabla 5. Resultados de prueba de resistencia a la compresión simple**

Tipo de muestra	Número de muestra	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Valor nominal	-	4,000.00	200.00	2.000
RI	RI1	9,469.00	199.00	4.758
	RI2	9,068.00	199.00	4.557
	RI3	9,487.00	199.00	4.767
	RI4	9,075.00	197.01	4.606
	RI5	9,231.00	200.00	4.616
RC	RC1	6,987.00	202.00	3.459
	RC2	7,911.00	202.01	3.916
	RC3	6,769.00	204.00	3.318
	RC4	7,833.00	202.00	3.878
	RC5	7,400.00	202.00	3.663
RP	RP1	11,089.00	206.04	5.382
	RP2	9,612.00	205.03	4.688
	RP3	11,125.00	203.00	5.480
	RP4	9,894.00	204.02	4.850
	RP5	12,150.00	208.08	5.839

Respetando los valores nominales establecidos en la N-CMT-2-01-001 (2002) se puede concluir que los tres tipos de ladrillos cumplen con el rango establecido.

En promedio, el porcentaje de absorción es menor en aproximadamente 65% del límite máximo establecido por la normativa. Este es un excelente indicador para todos los ladrillos.

Además, el promedio de los valores de  $f'c$  obtenidos supera al límite mínimo establecido en la N-CMT-2-01-001 (2002) en aproximadamente un 126%, esto quiere decir que resisten más de 45 kg/cm<sup>2</sup> en total.

Para determinar cuál es el mejor ladrillo se tiene que evaluar cada una de estas características individualmente, comenzando por el peso seco específico mostrado en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Peso seco específico promedio de cada material

Tipo de muestra	Número de muestra	yd (kg/m3)	yd promedio (kg/m3)
RI	RI1	1930	1874
	RI2	1890	
	RI3	1840	
	RI4	1900	
	RI5	1810	
RC	RC1	1820	1796
	RC2	1790	
	RC3	1810	
	RC4	1830	
	RC5	1730	
RP	RP1	1750	1818
	RP2	1700	
	RP3	1890	
	RP4	1870	
	RP5	1880	

En este caso, es sencillo demostrar que el ladrillo elaborado con RC es el más ligero, lo cual es una característica muy importante para realizar construcciones más ligeras, pero con las mismas características mecánicas.

En la Figura 2 se muestra que el ladrillo de RC es un 4.11% más ligero que el de RI, y un 1.12% más ligero que el de RP.

Siendo esto una característica importante para destacar.

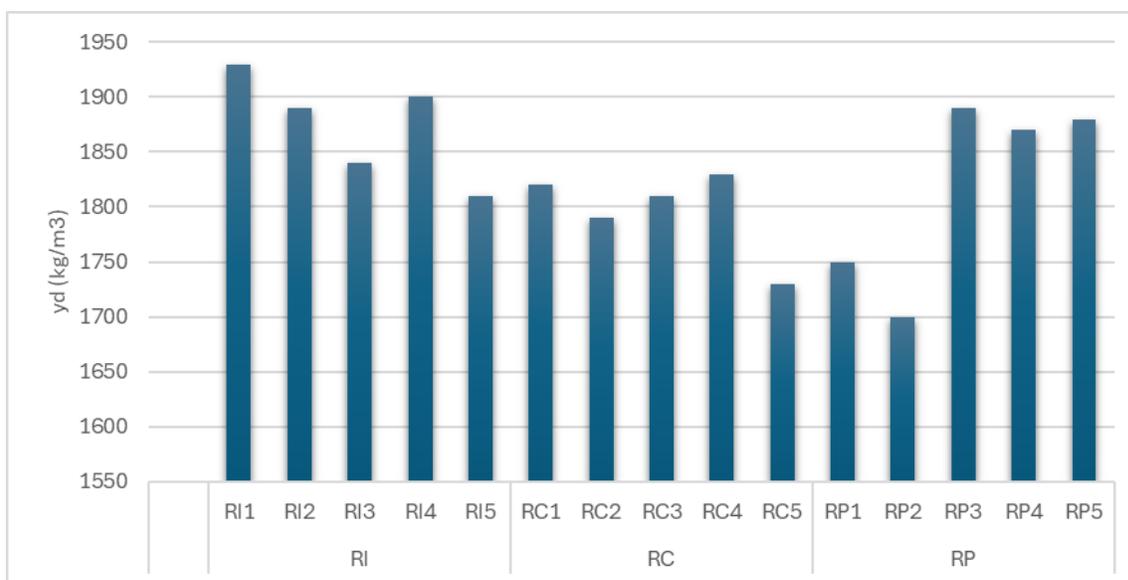


Figura 2. Peso específico seco para cada muestra (autoría propia).

El siguiente indicativo para evaluar es el porcentaje de absorción. Es uno de los más importantes, debido a que gracias a este podemos determinar la durabilidad de los elementos, y, por lo tanto, de la construcción.

El porcentaje de absorción máxima de agua, establecido por la N-CMT-2-01-001 (2002), es de 24%. Si observamos la Tabla 4, podemos determinar que el menor porcentaje de absorción lo tienen los ladrillos de RP, mientras que el mayor lo tienen los de RC. Esto significa que los ladrillos elaborados con RC solamente son ligeros porque son demasiado porosos.

**Tabla 7.** Resistencia a la compresión promedio de cada residuo reciclado

Tipo de muestra	Número de muestra	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
Valor nominal	-	4,000.00	200.00	2.000	-
RI	RI1	9,469.00	199.00	4.758	4.661
	RI2	9,068.00	199.00	4.557	
	RI3	9,487.00	199.00	4.767	
	RI4	9,075.00	197.01	4.606	
	RI5	9,231.00	200.00	4.616	
RC	RC1	6,987.00	202.00	3.459	3.647
	RC2	7,911.00	202.01	3.916	
	RC3	6,769.00	204.00	3.318	
	RC4	7,833.00	202.00	3.878	
	RC5	7,400.00	202.00	3.663	
RP	RP1	11,089.00	206.04	5.382	5.248
	RP2	9,612.00	205.03	4.688	
	RP3	11,125.00	203.00	5.480	
	RP4	9,894.00	204.02	4.850	
	RP5	12,150.00	208.08	5.839	

Podemos observar que el ladrillo con mayor  $f_c$  es el de residuos plásticos, siendo el que presenta mayor peso volumétrico. El que resiste menos de los tres materiales es el de RC, debido a lo que se menciona antes de la porosidad.

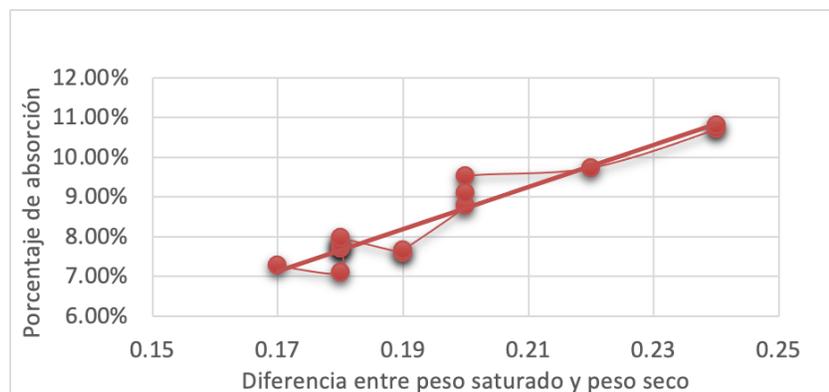


Figura 3. Relación entre pesos y porcentaje de absorción (autoría propia)

Es importante realizar el análisis de cómo es que el peso seco, el peso saturado, el porcentaje de absorción y la resistencia a la compresión simple están estrechamente relacionados y son dependientes entre sí.

La primera comparación, presentada en la Figura 3, que podemos hacer es que entre mayor sea la diferencia de peso seco y peso húmedo, mayor será su porcentaje de absorción. Además, entre mayor sea el porcentaje de absorción, menor será la durabilidad, ya que existe un mayor número de poros, lo que hace al elemento más frágil. Sin embargo, es importante mencionar que el mayor porcentaje obtenido de absorción sigue siendo mucho menor que el límite máximo permitido por la N-CMT-2-01-001 (2002) por lo que sigue siendo una opción viable.

En los tres casos, es decir los bloques de RP, RI y los de RC, es posible obtener una resistencia similar al de un bloque convencional, capaz de competir con las propiedades físicas y de costo, recalcando un valor y el más importante el cual es el ecológico, debido a que parte de su composición es la presencia de material reciclado que además contribuye en mejorar el porcentaje de absorción de agua, que es menor en los tres casos de bloques en relación con un bloque convencional.

Después, debemos hacer la comparación entre el porcentaje de absorción y de la resistencia a la compresión, para saber qué tan relacionado se encuentra, en la Figura 3 se observa con claridad la relación entre estos dos aspectos.

La relación es concisa; mientras mayor sea el porcentaje de absorción menor será la resistencia a la compresión. En la Figura 4, podemos observar que la muestra número 8, que corresponde a RC3, es la de mayor porcentaje de absorción y es la de menor resistencia, con un valor de 3.318 MPa.

Además, la muestra número 15, que corresponde a RP5 es la de menor porcentaje de absorción, y, por lo tanto, la de mayor resistencia, con un valor de 5.839 MPa.

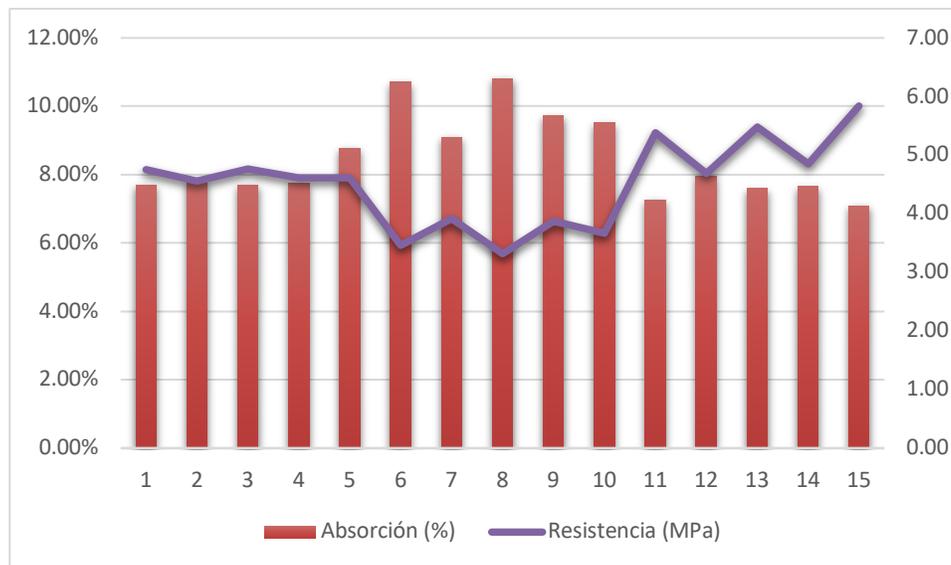


Figura 4. Relación entre porcentaje de absorción y resistencia a compresión simple (autoría propia).

Por último, debemos revisar los valores de tolerancia máxima y las medidas nominales.

**Tabla 8.** Tolerancia de medidas reales respecto a las nominales

Tipo de muestra	Número de muestra	Largo (cm)	Tolerancia	Ancho (cm)	Tolerancia	Altura (cm)	Tolerancia
Valor nominal	-	20.00	<5%	10.00	<5%	6.00	<5%
RI	RI1	19.90	0.5%	10.00	0.0%	6.10	1.7%
	RI2	20.00	0.0%	9.95	0.5%	6.10	1.7%
	RI3	20.00	0.0%	9.95	0.5%	6.40	6.7%
	RI4	19.90	0.5%	9.90	1.0%	6.20	3.3%
	RI5	20.00	0.0%	10.00	0.0%	6.30	5.0%
RC	RC1	20.00	0.0%	10.10	1.0%	6.10	1.7%
	RC2	20.10	0.5%	10.05	0.5%	6.10	1.7%
	RC3	20.00	0.0%	10.20	2.0%	6.00	0.0%
	RC4	20.00	0.0%	10.10	1.0%	6.10	1.7%
	RC5	20.00	0.0%	10.10	1.0%	6.00	0.0%
RP	RP1	20.20	1.0%	10.20	2.0%	6.50	8.3%
	RP2	20.20	1.0%	10.15	1.5%	6.50	8.3%
	RP3	20.30	1.5%	10.00	0.0%	6.50	8.3%
	RP4	20.20	1.0%	10.10	1.0%	6.50	8.3%
	RP5	20.40	2.0%	10.20	2.0%	6.50	8.3%

En la Tabla 8 se demuestra que algunas medidas sobrepasan los límites establecidos en la N-CMT-2-01-001 (2002). Esto se puede interpretar como un fallo en el llenado de los moldes o un porcentaje de expansión elevado, ya sea por aumento de temperatura o por contenido de humedad.

En la N-CMT-2-01-001 (2002) se establece que, cuando se realizan las pruebas de absorción, el material no debe desprenderse antes de las cuatro horas debido al agua, si el agua se pone turbia es un mal indicativo, en este caso no se desprendió antes de las cuatro horas, por lo que se considera correcto.

Otro aspecto físico que debe cumplirse según la N-CMT-2-01-001 (2002). es que el color y la textura de los ladrillos será uniforme. El color observado fue uniforme en todos los ladrillos, pero la superficie se presenta un poco rugosa. También se presentan fisuras leves pero, en general, es firme.

En la Figura 5 se puede apreciar cómo es que se obtuvo el  $f'c$  para cada ladrillo. Se hizo el cabeceo de cada muestra con azufre para brindar una correcta distribución de la carga en el área total de la muestra, además se utilizaron placas de aluminio por la misma razón.



Figura 5. Prueba a espécimen (autoría propia)

## Conclusiones

Conforme a las características obtenidas se demuestra que la mejor alternativa es la elaboración de ladrillos con residuos plásticos, debido a que presenta tres de las características más importantes en su mejor valor, aunque la variación entre sus medidas nominales y reales demuestran que se requiere un cuidado extra en su elaboración, cuidado que no se necesita en las otras dos alternativas.

Los ladrillos elaborados con Residuos Inorgánicos presentan cuatro aspectos en un valor medio entre las otras dos alternativas, el único inconveniente es que es el más pesado de los tres.

Los bloques elaborados con Residuos Constructivos tienen una característica muy buena que es el menor peso específico de las tres muestras, pero se considera que es el menos viable debido a que tres de los aspectos más importantes son los más bajos de las tres alternativas estudiadas. Otra ventaja es que el porcentaje de variación entre medidas nominales y medidas reales es el más bajo de los tres, lo cual es una gran ventaja porque significa que es más sencillo elaborarlo y no requiere tanto cuidado en su proceso de elaboración.

Es importante mencionar que, los tres presentan ventajas y desventajas, por lo tanto, la elección del material atenderá las necesidades específicas de cada construcción.

Por otro lado, la creación de los ladrillos ecológicos sin duda es una excelente opción de construcción sostenible, no sólo a nivel regional sino a nivel mundial. Ya que considerando que los materiales con los que se elaboraran tienen un bajo costo, los podemos conseguir fácilmente y son accesibles a todo el mundo.

Los objetivos fueron alcanzados ya que logramos definir cuáles fueron las características más importantes a considerar en la elaboración de cada ladrillo, identificando cuál es la mejor alternativa en la actualidad.

También fue posible identificar cuál es el aporte de cada tipo de material a la elaboración de estos elementos y qué es lo que mejoran y qué es lo que no, por lo que los nosotros como autores tanto como los lectores tendrán una mejor comprensión de cada característica.

La hipótesis propuesta se rechaza, ya que propusimos que el ladrillo de residuos constructivos sería el más resistente. Sin embargo, no consideramos un factor muy importante, que fue el del aumento de la porosidad por los materiales utilizados, lo cual haría que el elemento fuera más frágil de lo esperado.

## Agradecimientos

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento al M.I. Arturo Tosky Juárez por su invaluable colaboración en la realización de las pruebas de laboratorio y por su constante apoyo en la resolución de los desafíos que surgieron a lo largo de esta investigación. Su experiencia y compromiso fueron esenciales para el éxito de este proyecto.

De igual manera, extendemos nuestro sincero agradecimiento a la Mtra. Karla Judith Kantún Hernández, cuya orientación en la planeación y ejecución del cronograma de actividades, así como su meticulosa supervisión, aseguraron que nuestro trabajo siguiera los más altos estándares metodológicos de investigación. Su guía fue fundamental para el desarrollo del proyecto.

## Referencias bibliográficas

- Ampuero Antazu, A. A., & Romero Bueno, P. L. (2020). Parámetros físicos y mecánicos de ladrillos ecológicos hechos a base de material reciclado (plástico PET) para Construcción: <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/9e0cb383-5ec8-462a-82d5-49614b121d84>
- Cemento Storices. (s.f.). Ladrillo ecológico: qué es, ventajas y cómo se hace. Recuperado de <https://cementostorices.com/blog/construccion/ladrillo-ecologico/>
- Gareca, M., Andrade, M., Pool, D., Barrón, F., & Villarpando, H. (2020). Nuevo material sustentable: ladrillos ecológicos a base de residuos inorgánicos. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 18(21), 25-61. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2225-87872020000100003](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872020000100003)
- Herrera, P. P. M. (2023). Producción de materiales ecológicos reciclados con escombros de construcción. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9085628>
- M-MMP-2-01-001. Manual Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales. Materiales para concreto hidraulico.
- M-MMP-2-01-002. Manual Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales. Finura del cemento por el método del tamiz.
- M-MMP-2-01-003. Manual Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales. Recubrimiento de estructuras.
- N-CMT-2-01-001/02. Norma características de los materiales. Materiales para estructuras. Materiales para mampostería. ladrillos y bloques cerámicos.
- N-CMT-2-01-002/02. Norma características de los materiales. Materiales para estructuras. Materiales para mampostería. Bloques de cemento, tabiques y tabicones.
- NMX-C-010-1986. Norma Mexicana. Industria de la construcción. Cementos hidráulicos. Determinación de la resistencia a la compresión de pastas de cementos hidráulicos.
- NMX-C-037-ONNCCE-2005. Norma Mexicana. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación. bloques, tabiques o ladrillos y adoquines de concreto especificaciones y métodos de prueba.

