

Determinación de la resistencia a la compresión de bloques, utilizando para su construcción, una mezcla de cemento, arena y triturados de ladrillos artesanales.

Muñoz Macías Jonathan Andrés, Vera Coox Francisco Manuel, Briones Ponce Angie Nicole,
Ruiz Párraga Wilter Enrique, Guerrero Alcívar María Shirlendy.

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo
jmuno7786@utm.edu.ec, fvera2271@utm.edu.ec, abriones6985@utm.edu.ec, wruiz@utm.edu.ec,
mguerrero@utm.edu.ec.

Resumen — La reutilización de materiales de construcción es importante porque disminuye la cantidad de residuos que se encuentran sin utilidad alguna o que se acumulan y queman en basurales a cielo abierto generando contaminación.

Con el propósito de buscar una solución para la fabricación de hormigones, fundamentados en el reciclado de escombros de construcción y demolición de obras, en particular a la reutilización de los bloques arcilla cocida (ladrillos), se tiene una alternativa que favorece a los procesos constructivos en el desarrollo urbano de las ciudades.

En la presente investigación se estudió el comportamiento del hormigón al sustituir distintos porcentajes de áridos gruesos, por material reciclado como los ladrillos de arcilla provenientes de escombros. Para esto se elaboraron mezclas con distintos porcentajes de material reciclado. En cada probeta ensayada se realizaron los ensayos de resistividad superficial y el ensayo de resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de curado húmedo.

Se realizó la comparación entre el hormigón sin material reciclado y los hormigones que contenían los porcentajes de ladrillos triturados como agregados gruesos. Llegando a la conclusión que los ladrillos provenientes del reciclaje, solo se puede utilizar en porcentajes inferiores al 10% en la fabricación de hormigón, porque al incrementarse este material, se generan decrementos de resistencias a la compresión en el hormigón fabricado.

Términos del índice— *hormigón, ladrillo, resistencia a la compresión, resistividad superficial.*

Abstract — The reuse of construction material is important because it decreases the amount of waste that is without any

utility or that accumulate and burn in open air dumps generating pollution.

With the purpose of finding a solution for the manufacture of concrete, based on the recycling of construction debris and demolition of works, in particular to the re-use of clay blocks (bricks), an alternative that will serve to favor the urban regeneration of the city.

In the present investigation, the behavior of concrete was studied when substituting different percentages of aggregates, for recycled material such as clay bricks coming from debris.

For this, mixtures with different percentages of recycled material were elaborated. Surface resistivity tests and the concrete compressive strength tests after 28 days of wet curing were performed on each test piece.

The comparison between the concrete without recycled material and the concretes that contained the percentages of crushed bricks as coarse aggregates, reaching the conclusion of the bricks coming from the recycling, can only be used in percentages lower than 10% in the manufacture of concrete, because when this material is increased, decrements of compressive strengths in the manufactured concrete are generated.

Index Terms—concrete, brick, compressive strength, surface resistivity.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la cantidad de residuos del ladrillo se ha incrementado debido a las demoliciones provenientes de obras civiles defectuosas. En la actualidad en la ciudad de Portoviejo – Ecuador, aquellos residuos no reciben ninguna clase de tratamiento y simplemente son reutilizados para bacheo de calles y empleados en rellenos de terrenos. Por lo

cual, el interés en buscar nuevas alternativas de aprovechamiento ha desencadenado una serie de investigaciones.

El ladrillo triturado cumple con ciertos parámetros como porosidad, forma y textura, para ser reciclado en comparación a otros productos de residuos inertes, ya que estos dan paso a la producción de un material fragmentado y se lo utiliza como un agregado reciclado en el campo de la construcción. La reutilización de este material contribuye a un aspecto importante, porque da paso al beneficio económico, al ser incorporado como material en los procesos constructivos se adquiere menos cantidad de agregado grueso (piedra) y a su vez genera menor uso de los materiales pétreos procedentes de canteras.

En el 2017 investigadores de Ecuador estudiaron la reutilización de la arcilla cocida (ladrillo) como material de construcción y de acuerdo a los resultados de los ensayos a compresión obtenidos a los 28 días, se pudo establecer que se puede reutilizar los bloques de arcilla cocida (ladrillos), sustituyendo hasta un 5% del cemento con polvo de arcilla en una mezcla de hormigón de tipo estructural., Los residuos estudiados, pueden ser reutilizados en hormigones de tipo no estructural en proporciones del 10 y 15%. (Ruíz Párraga, Chica Párraga, Vega Salazar, & Howland Albear, 2017)

En la investigación realizada por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la universidad Técnica de Ambato, los resultados obtenidos, muestran que, con resistencias cercanas a los 180 kg/cm², elaborados con dos tipos de ladrillo reciclado (prensado y artesanal) estos pueden ser utilizados como hormigones aptos para rellenos o en las construcciones de aceras y bordillos, tratando de aprovechar los escombros de ladrillo dentro de una obra. (Cáceres Sánchez, 2015)

En el trabajo de investigación sobre resistencia a la flexión y tracción en el hormigón, usando ladrillo triturado, se concluye que: La resistencia a la compresión con el 10% de sustitución de agregado grueso reciclado se mantiene en sus valores óptimos y con porcentajes mayores a este, las resistencias disminuyen. Los ladrillos triturados con agregado grueso que tuvieron los valores aceptables, fueron por mejor adherencia entre la pasta cementante y el material, provocado por la mayor capacidad de absorción. (Masías Mogollón, 2018)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. *Materiales.* – Los materiales utilizados para esta investigación fueron: cemento portland tipo GU, los agregados grueso y finos, provenientes de la cantera COPETO C.LTDA de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, y el ladrillo triturado reciclado procede de diferentes escombros de la ciudad de Portoviejo.

1) *Cemento*

“El cemento portland se fabrica comúnmente de materiales minerales calcáreos, tales como caliza, alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza”. En oportunidades se requiere agregar otros productos para optimizar su composición química, tal como el óxido de hierro. (Molina Escobar , 2006)

En esta investigación se trabajó con un cemento tipo GU de peso específico 3150 kg/cm³ es de uso común para todo tipo de construcción.

2) *Agregado fino*

El agregado fino es el conjunto de partículas que es resultado de la descomposición de las rocas o también después de la trituración, los granos obtenidos tienen dimensiones inferiores a los 5mm.

Clasificación de agregado fino:

- Arena fina: granos que pasan por un tamiz de 1mm de diámetro, a su vez retenidos por otro de 0.25mm.
- Arena media: aquella de granos que pasan por tamiz de 2.5mm de diámetro retenidos por otro de 1mm.
- Arena gruesa: partículas que pasan por un tamiz de 5mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5mm. (Compañía Pétreos del Toachi, 2019)

El agregado fino empleado para esta investigación tuvo un módulo de finura de 2.03 y un porcentaje de absorción de agua 3.38%.

3) *Agregado grueso (Piedra)*

El agregado grueso es muy importante para la constitución del hormigón, obtenido por trituración artificial de rocas o gravas que presentan características físicas, químicas y mecánicas. (Compañía Pétreos del Toachi, 2019)

El agregado grueso utilizado en esta investigación tuvo tamaño de 1 pulgada y un porcentaje de absorción de 1.69%.

4) *Agua*

Para la mezcla del hormigón se utilizó agua del acueducto de la ciudad de Portoviejo, Ecuador, por ser agua potable según lo establece la norma NTE INEN 2617 - 2012 no hay que realizar ningún ensayo suponiendo que este cumple las características óptimas para la mezcla de hormigón.

5) *Ladrillo*

En los alrededores de Portoviejo existen aproximadamente 66 ladrilleras que elaboran de manera artesanal sus productos, las materias primas básicamente son: arcilla, agua, aserrín, cascarillas de arroz, obteniendo una mezcla homogénea para luego ser llevando a un proceso de calcinación de aproximadamente de 600 °C.

6) *Aditivo*

El aditivo empleado para este es de tipo líquido polímero tipo dispersión a base de melanina formaldehído, color café,

compuesto por resinas sintéticas. Superplastificante, reductor de agua de alto poder y economizador de cemento. No contiene cloruros. Su densidad es de aproximadamente 1,22 kg/l. (Sika, 2014)

Se usó este aditivo como superplastificante para mejorar la trabajabilidad de la mezcla, ya que, al no tener el ladrillo saturado, este absorbe gran cantidad de agua

B. Métodos

Se ejecutaron algunos ensayos a los materiales arena, ripio y ladrillo artesanal reciclado triturado como agregado grueso, para así, poder conocer sus propiedades y obtener un resultado favorable.

Los ensayos realizados a estos materiales según lo establecen las Normas Técnicas del Ecuador (NTE), tantos a los agregados finos y gruesos con la finalidad de determinar la calidad y establecer si cumplen con estas normas establecidas para la elaboración del hormigón, se realizaron los ensayos de: Contenido de Humedad (NTE INEN 0862, 2011); Granulometría (NTE INEN 0696, 2011); Gravedad específica y absorción del árido fino (NTE INEN 0856, 2010); Gravedad específica y absorción del árido grueso (NTE INEN 0857, 2010); Peso unitario saturado y compactado (NTE INEN 0858, 2010).

Es de consideración fundamental la ejecución de ensayos al concreto en estado fresco con los que se busca asegurar el cumplimiento de las especificaciones en estado endurecido establecidas en las Normas Técnicas del Ecuador (NTE), que son las siguientes: Determinación del asentamiento (NTE INEN 1578, 2010); Elaboración de cilindros de hormigón (NTE INEN 1576, 2011); Resistividad superficial del hormigón (AASHTO TP 95-11, 2011); Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón (NTE INEN 1573, 2010)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la elaboración de los cilindros se planteó un diseño de mezcla modelo de un hormigón convencional de resistencia a la compresión de 21 MPa, partiendo como base para la comparación de las mezclas con los distintos porcentajes de ladrillo triturado, basados en el criterio de diseño que establece el código ACI 211.1.

En la dosificación se consideró los ensayos de agregados y ladrillos triturados reciclados con la finalidad de determinar cómo afecta a la resistencia a la compresión del hormigón luego de ser sustituidos en diferentes porcentajes de peso con relación al agregado grueso, manteniendo constantemente el valor de la relación agua/cemento.

En la tabla 1 se expresan los porcentajes de peso de los materiales para 1m³ de hormigón como resultado del diseño

para dosificación.

TABLA 1
DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CON PROPORCIONES DE
REEMPLAZO DE LADRILLO TRITURADO RESPECTO AL
AGREGADO GRUESO EN KG/M³

Material	Sustitución 0% de ladrillo triturado
Cemento	397.78
Agua	172.60
Piedra	707.28
Arena	608.82
Ladrillo	-
Material	Sustitución 5% de ladrillo triturado
Cemento	397.78
Agua	172.60
Piedra	671.92
Arena	608.82
Ladrillo	35.36
Material	Sustitución 10% de ladrillo triturado
Cemento	397.78
Agua	172.60
Piedra	636.56
Arena	608.82
Ladrillo	70.73
Material	Sustitución 15% de ladrillo triturado
Cemento	397.78
Agua	172.60
Piedra	601.19
Arena	608.82
Ladrillo	106.09

Las diferentes mezclas de hormigón mencionadas en la tabla 1, fueron obtenidas con la ayuda de la máquina hormigonera estacionaria, para así poder proceder a realizar el ensayo de asentamiento a cada una de las mezclas, y posteriormente ejecutar la elaboración de los cilindros los cuales se utilizó moldes de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura según lo establece la norma (NTE INEN 1576, 2011).

El ensayo de asentamiento según lo establece la (NTE INEN 1578, 2010) se utilizó el cono de Abrams al compactar 3 capas de hormigón con 25 golpes respectivamente y enrasando en la parte superior del cono con una varilla lisa, una vez lleno se los retira en un lapso de 5 segundos aproximadamente para medir su asentamiento.

En la elaboración de los cilindros de hormigón se optó por moldes de 10 por 20 cm, llenándose en 2 capas iguales y se compactó cada capa a 25 golpes uniformemente con una varilla de punta redondeada, posteriormente se dejó fraguar las mezclas de hormigón, por un periodo de 24 horas, una vez transcurrido este tiempo, se desencofró y se los ubicó cuidadosamente en un estanque de curado el cual contiene agua potable saturada con cal, tal como lo indica (NTE INEN 2528, 2010)

En la figura 1 se observa el número total de cilindros, los cuales fueron desencofrados 24 horas después de fraguado para posterior a ello llevarlo a la piscina de curado.



Figura 1: cilindros de hormigón

Los especímenes permanecieron un periodo de 28 días de curado húmedo, para posterior a ello realizar los ensayos de resistividad superficial y de resistencia a la compresión, como lo establecen las normas.

A. Resistividad superficial

Mediante el ensayo de resistividad superficial realizado a través del dispositivo Giatec Surf que sirve para medir la resistividad eléctrica superficial de los cilindros de hormigón endurecido, utilizando la técnica de la medición de ocho electrodos, estandarizada por (AASHTO TP 95-11, 2011). Se obtiene los resultados de la tabla 2.

TABLA 2

RESISTIVIDAD SUPERFICIAL PROMEDIO EN UN PERIODO DE CURADO DE 28 DÍAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS DE HORMIGÓN

Hormigón con sustituciones parciales de ladrillo triturado %	Resistividad superficial a los 28 días (KΩ.cm)
0%	14.88
5%	13.30
10%	11.84
15%	10.97

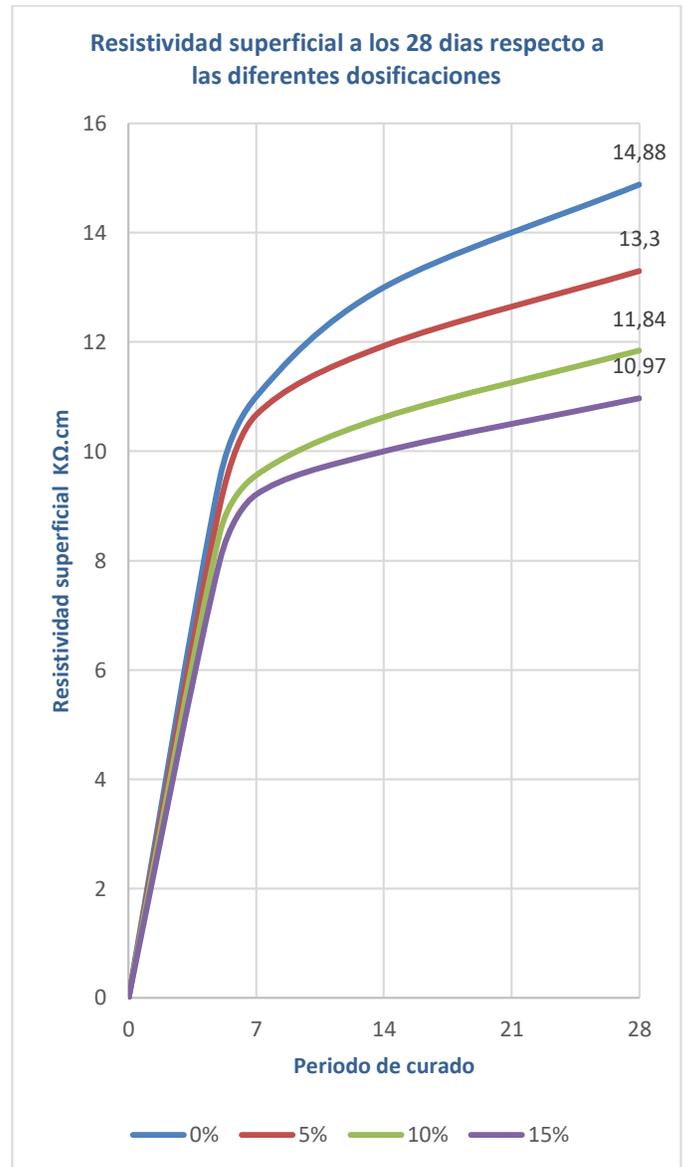


Figura 2: Curva de resistividad superficial a los 28 días respecto a las diferentes dosificaciones

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos del hormigón convencional y hormigones con porcentajes de sustitución (ladrillo artesanal triturado) del agregado grueso del 5% , 10% y 15%, los cuales muestran condiciones favorables al encontrarse dentro del rango de moderado según los parámetros establecidos en la tabla de la (AASHTO TP 95-11, 2011)

B. Resistencia a la compresión

El ensayo a la resistencia a la compresión permite determinar la resistencia que tiene el hormigón en un periodo de curado húmedo de 28 días. En la tabla 3, se presentan los resultados obtenidos en el hormigón convencional y hormigones con porcentajes de sustitución (ladrillo artesanal triturado) del agregado grueso del 5% y 10% y 15%

TABLA 3

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LA EDAD DE 28 DÍAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS DE HORMIGÓN PARA LOS CILINDROS

Hormigón con sustituciones parciales de ladrillo triturado %	Resistencia a la compresión 28 días (kg/cm ²)
0%	280.78
5%	258.00
10%	235.00
15%	208.22

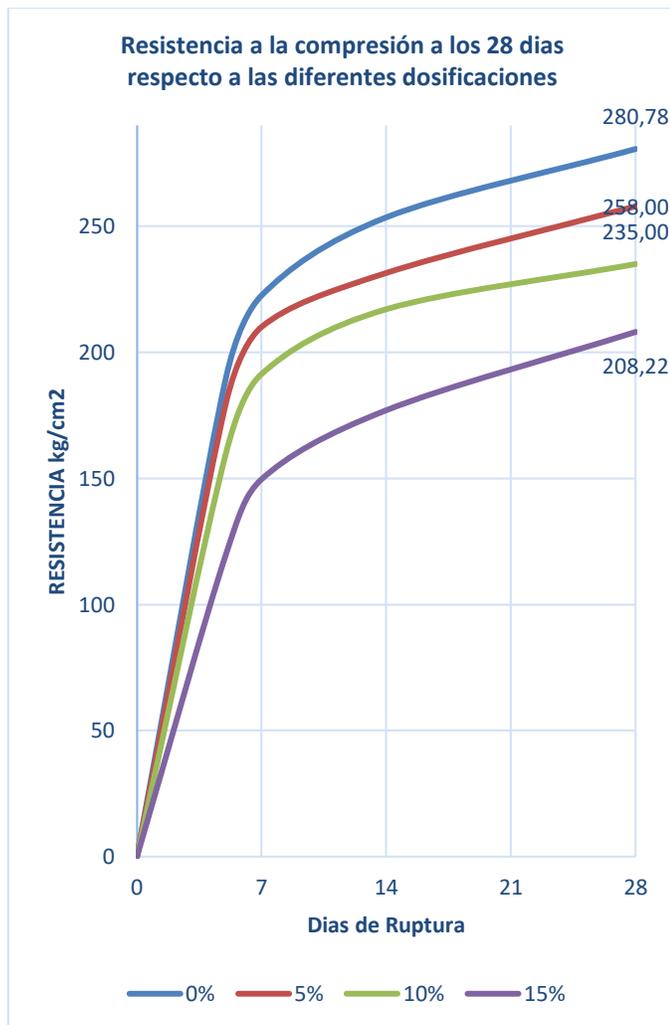


Figura 3: Resultados de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días respecto a las diferentes dosificaciones

En la figura 2, se observa que la resistencia de las mezclas que conllevan reemplazos de ladrillo artesanal triturado como agregado grueso en un 15% disminuye en el 25% de resistencia con respecto al hormigón de control, según los resultados obtenidos se determina que las mezclas con el 5% y 10% de sustitución de ladrillo triturado alcanzan los valores de

resistencia media (236 kg/cm²), por lo cual se encuentran aptas para ser utilizadas como hormigón estructural, mientras que, de la dosificación con el 15% de sustitución de ladrillo triturado muestra resistencia media inferior a la calculada.

IV. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos a través de los ensayos a compresión expresan que la resistencia del hormigón disminuye con respecto a la resistencia media (236kg/cm²) una vez el porcentaje de sustitución (ladrillo artesanal triturado) supera el 10%.

El uso del ladrillo artesanal triturado en el hormigón como sustituto del agregado grueso en porcentajes del 5% y 10% son viables estructuralmente ya que su resistencia a la compresión se encuentra por encima de la resistencia media, además de mejorar las condiciones ambientales y económicas al disminuir el uso de materia prima.

Las mezclas estudiadas con el 15% de sustitución (ladrillo artesanal triturado), a pesar de no cumplir con la resistencia deseada pueden ser utilizadas como hormigón de tipo no estructural.

Los cilindros de hormigón con porcentajes de sustitución de ladrillo artesanal triturado del 0%, 5%, 10% y 15% del agregado grueso sometidas a la medición de la resistividad eléctrica superficial, presentaron características propicias dentro del rango moderado según lo estipula la tabla de la (AASHTO TP 95-11, 2011).

V. REFERENCIAS

- AASHTO TP 95-11. (2011). AASHTO LFRD Bridge Desing Specifications. En *Método estándar de prueba para la resistencia de la superficie Indicación de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro*.
- Cáceres Sánchez, A. D. (2015). *Estudio del hormigón simple elaborado con ladrillo reciclado y su incidencia en el peso específico y resistencia a compresión (Tesis de grado)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil.
- Compañía Pétreos del Toachi. (2019). *COPETO C. LTDA*. Obtenido de <http://www.copeto.com.ec/>
- Masías Mogollón, K. A. (2018). *Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso (Tesis de grado)*. Piura, Perú: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Molina Escobar , K. A. (2006). *Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno (Tesis de grado)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.

NTE INEN 0696. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Aridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito.

NTE INEN 0856. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Aridos. determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Quito.

NTE INEN 0857. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Aridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito.

NTE INEN 0858. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Aridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumetrico) y el porcentaje de vacios*. Quito.

NTE INEN 0862. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Aridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*. Quito.

NTE INEN 1573. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. Quito.

NTE INEN 1576. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo*. Quito.

NTE INEN 1578. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento*. Quito.

NTE INEN 2528. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón. Requisitos*. Quito.

NTE INEN 2617. (2012). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En *Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos*. Quito.

Ruíz Párraga, W. E., Chica Párraga, M., Vega Salazar, M. J., & Howland Albear, J. J. (2017). Reusing the Coconut Clay (Brick) as Construction Material. *Thomson Reuters*, 98.

Sika. (2014). *Sikament - N 100*. Obtenido de <http://www.ecu.sika.com>



Muñoz Macías J.A. Estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.



Vera Coox F.M. Estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.



Briones Ponce A.N. Estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.



Ruiz Párraga W.E. Máster en Docencia e Investigación Educativa, Máster en Ingeniería Civil, mención Tecnología de los Materiales de construcción, Profesor Titular en la Universidad Técnica de Manabí, en la carrera de Ingeniería Civil, Especialista en materiales de construcción. Escritor de varios

artículos indexados.



Guerrero Alcívar M.S. Master en Educación Desarrollo Social, Master en Ingeniería Ambiental, Profesor Principal Tiempo Completo en la Universidad Técnica de Manabí, en la Carrera de Ingeniería Civil, Especialista en Fiscalización de Obras, Escritor de varios artículos indexados.