



Factibilidad del uso del BTC, en la parroquia Cojitambo; del cantón Azogues

Feasibility of the use of terrocement
block, in the Cojitambo parish; of the
Azogues canton



Miriam Camila Beltrán Rodríguez

Universidad Católica de Cuenca
Azogues, 030102, Ecuador
camilabeltran29@gmail.com

Andrés Oswaldo Venegas Tomalá

Universidad de Cuenca
Cuenca, 010202, Ecuador
Universidad Católica de Cuenca
Azogues, 030102, Ecuador
andres.venegas@ucacue.edu.ec



DOI

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo comprobar la factibilidad del uso de BTC, en la parroquia Cojitambo, del cantón Azogues, con la finalidad de validar sus propiedades para la fabricación de un material sostenible, que se compone con la materia prima propia del lugar; por lo tanto, se analizan diversas normas internacionales referentes al bloque de terrocemento, seleccionando aquellas que presenten mayores similitudes climáticas y geográficas que el lugar de estudio, puesto que serán aplicadas a cuatro suelos extraídos de diferentes zonas, que fueron establecidas mediante la sectorización de construcción en tierra en la parroquia. Asimismo, se describen diferentes ensayos que exigen las normativas, con la finalidad de verificar la calidad de cada muestra de tierra, para tener mayor certeza en la fabricación del bloque, cada BTC debe cumplir con los estándares necesarios, para someterlos a ensayos de: resistencia, absorción y capilaridad. Por último, se realiza un análisis de los resultados obtenidos, y se compara su resistencia con la de mampuestos comúnmente utilizados en el medio como es el ladrillo y bloque pómez. Se concluye que es posible la utilización del bloque de terrocemento en las cuatro zonas de la parroquia, debido a que se demuestra la aptitud del material propuesto.

Palabras clave: *Bloque de terrocemento, construcción en tierra, normativas, suelos, material sostenible.*

Abstract

The objective of this work is to test the feasibility of using BTC in the Cojitambo parish, in the Azogues canton, with the purpose of validating its properties for the manufacture of a sustainable material, which is composed of local raw materials; Therefore, various international standards for terrocement blocks are analyzed, selecting those with the greatest climatic and geographic similarities to the study site, since they will be applied to four soils extracted from different areas, which were established through the sectorization of earth construction in the parish. Likewise, different tests required by the regulations are described, with the purpose of verifying the quality of each soil sample, in order to have greater certainty in the manufacture of the block, each BTC must comply with the necessary standards, to submit them to tests of: resistance, absorption and capillarity. Finally, an analysis of the results obtained is carried out, and its resistance is compared with that of commonly used masonry blocks such as bricks and pumice blocks. It is concluded that it is possible to use the terrocement block in the four zones of the parish, since the suitability of the proposed material is demonstrated.

Key words: *Terrocement block, earth construction, regulations, soils, sustainable material.*

I. INTRODUCCIÓN

La parroquia Cojitambo, del cantón Azogues, ubicada en la región sierra del Ecuador, presenta una arquitectura vernácula constituida con tierra, la cual, representa un patrimonio único, sin embargo, debido a la migración y globalización se introducen sistemas constructivos extraños en el medio, lo que genera una pérdida de tradición al desplazar a la tierra como material. Se propone el uso del bloque de terrocemento, que es una opción viable de construcción sostenible elaborada con los materiales propios del lugar, para aportar positivamente al paisaje natural y construido de la zona.

El adobe fue el sistema constructivo en tierra pionero y actualmente es el más utilizado en el mundo, no obstante, debido a indagaciones y análisis del material, se generan otras alternativas, al hacer uso de estabilizantes o aditivos, con la finalidad de modificar las características mecánicas y poder mejorar la durabilidad y resistencia. Brasil, Argentina, Chile, Colombia o Perú, son países que estudian la tierra cruda para desarrollar nuevas técnicas constructivas, como es el bloque de terrocemento, así como el análisis para su normalización [1].

El bloque de terrocemento o suelo cemento, surge en 1930, por estudios metódicos y científicos acerca de la estabilización de suelos con varios aglomerantes, especialmente con cemento. En 1950, el Centro Interamericano de la Vivienda ubicado en Colombia, desarrolla la primera maquina para prensar tierra, denominada CINVA-RAM, debido a las siglas del centro y en honor al fabricante, quien fue el chileno Raúl Ramírez (Jové, Solano, & Hernán, 2013). Posteriormente, en abril de 1976, se crea otra maquina que se fundamenta en la original, pero tiene el objetivo de producir bloques huecos, se denomina CETA-RAM, debido a que fue creada por el Centro de Experimentación en

Tecnología Apropriada de Guatemala (CETA), y en honor al autor original [2].

Los bloques de terrocemento son elementos de albañilería, fabricados a partir de tierra pulverizada, cemento y agua, sus elementos se mezclan y compactan con la finalidad de cohesionar las partículas. Para comprobar la factibilidad de la fabricación BTC con tierras de la parroquia Cojitambo, se analiza la caracterización de los suelos con el propósito de validar sus propiedades como material sostenible.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La tierra como material de construcción ha sido usada tanto en viviendas como en templos o palacios, desde tiempos prehistóricos. Actualmente, se estima que del 100% de la población mundial, un 30% aún vive en edificaciones de tierra, como sucede en el sector rural de la región andina de América [3].

En la arquitectura vernácula ecuatoriana, el material más utilizado ha sido el adobe, el cual se elabora de manera artesanal, constituyendo una solución económica, sustentable, y de autoconstrucción; asimismo, posee propiedades aislantes, inerciales y resistentes, no obstante, es sensible al contacto con los agentes atmosféricos.

Para mejorar las características del adobe, el Centro Interamericano de la Vivienda realizó investigaciones orientadas a la estabilización del suelo por medio de una acción química que corresponde al uso del cemento, y a una acción mecánica por medio del prensado, por lo que se genera el “Bloque de terrocemento” [4].

Los BTC, son bloques de construcción uniformes, que se fabrican con tierra, agua y un estabilizante, como el cemento o cal, se mezclan los componentes y se comprimen con una prensa mecánica denominada CINVA-RAM.

La prensa CINVA-RAM, permite generar bloques con medidas constantes y superficies lisas. Además, potencia la producción del bloque puesto que permite fabricar de 150 a 600 unidades al día, diferenciándose notablemente del adobe que es producido de manera manual logrando un máximo de 30 unidades por día [2].

En Ecuador el Bloque de terrocemento se ha fabricado de forma semi-industrial en la ciudad de Saraguro, provincia de Loja y a manera experimental en la empresa FUDESMA ubicada en Latacunga.

2.2. Normativa en tierra

En la normativa, se establecen las exigencias necesarias de seguridad y calidad en la construcción, los países andinos limítrofes con Ecuador, <Colombia y Perú>, han elaborado normas para mitigar los efectos de sismos en viviendas de tierra, siendo el segundo el pionero en la aplicación de una norma con carácter de obligatoria [5].

La norma Ecuatoriana de la construcción (NEC), indica que para la construcción en tierra se debe aplicar la norma peruana E.80, sin embargo; han ocurrido eventos sísmicos de baja y mediana intensidad, donde se ha evidenciado que aquellas viviendas construidas con tierra han presentado mayores daños, demostrando la fragilidad del material cuando la construcción no se realiza en base a una normativa adecuada que responda a la realidad del país [5].

Para demostrar la factibilidad del uso del BTC en Cojitambo se analizan normas externas las cuales usan al cemento como estabilizante, y aquellas que presentan semejanzas en cuanto

al clima y las características geográficas, con el fin de que sea posible la transferencia de conocimientos. A continuación, se describe la normativa con los parámetros que se utilizaron para la presente investigación:

2.2.1. Norma Colombiana NTC 5324

En la norma colombiana se hace referencia a tres ensayos para demostrar la calidad del bloque de terrocemento, descritos a continuación:

- Resistencia a la compresión:

El análisis de la resistencia a compresión, sirve para establecer la magnitud de carga máxima a compresión que resiste el bloque antes de su fracaso o rotura. Se realiza el ensayo de compresión seca a 3 probetas con la misma dosificación, a los 7 y 28 días después del curado. Las categorías en que la norma clasifica a los bloques son: de “Bloque de suelo cemento 20”, “Bloque de suelo cemento 40”, “Bloque de suelo cemento 60”, dependiendo la resistencia que presenten que puede ser de 2, 4 y 6 MPa respectivamente.

- Resistencia a la abrasión:

Se realiza para identificar la cantidad de material perdido después de condiciones reguladas de fricción; la norma indica un coeficiente de abrasión máximo de $C_a = 2 \text{ cm}^2/\text{g}$ para el BSC 20, de $C_a = 5 \text{ cm}^2/\text{g}$ para el BSC 40 y de $C_a = 7 \text{ cm}^2/\text{g}$ para el BSC 60.

- Resistencia a la capilaridad:

El ensayo de capilaridad tiene la finalidad de establecer la cantidad de agua que

absorbe la probeta en cierto tiempo, en el caso de la capilaridad la norma las categoriza por “débilmente capilares”, cuando se obtiene un resultado <20 , y “poco capilares”, cuando se supera el 20 y hasta el 40 de capilaridad.

- *Dimensiones:*

En la norma colombiana también se hace referencia a las dimensiones del bloque, indica que debe ser un bloque macizo de 29,5x14x9,5 o de 22x22x9,6. Para la investigación se hizo uso de la primera dimensión puesto que coincide con norma española

2.2.2. *Norma peruana NTE E 0.80, 2000*

La norma peruana indica la obtención de la materia prima por medio de dos ensayos que son:

- *Cinta de barro (presencia de arcillas)*

Utilizar una porción de barro húmedo para realizar un cilindro de 12 mm de diámetro, colocar en una mano, aplastar paulatinamente entre los dedos, hasta conseguir un diámetro de 4mm, posteriormente se deja descolgar lo más que se pueda.

Si la cinta obtiene entre 20 cm y 25 cm de longitud, la tierra es arcillosa y si se parte a los 10 cm o menos, la tierra tiene poco contenido de arcilla.

- *Resistencia seca (presencia de arcillas)*

Tomar barro para hacer cuatro esferas sin que se deformen significativamente, dejar secar las bolitas durante 48 h, posteriormente presionarlas fuertemente con el dedo pulgar e índice.

Si se rompe, quiebra o agrieta, se debe desechar el suelo, salvo que se mezcle con arcilla o tierra muy arcillosa. En caso, que luego de la prueba no se rompa, quiebre o agriete ninguna de las bolitas, puede ser usado como materia prima de construcción.

2.2.3. *Norma española UNE 41410, 2008:*

- *Resistencia a la compresión:*

Al igual que indica la norma colombiana se debe realizar el análisis de la resistencia a compresión, sin embargo, se categoriza al bloque como: BTC 1, BTC 3, BTC 5, con resistencias de 1,3MPa, 3 Mpa y 5 MPa respectivamente.

- *Dimensiones:*

La norma española indica dos bloques que son: BTC común: 29,5x14x9,5 cm y BTC cara vista: 22x22x9,5 cm o 30x14,5x10,5 cm; se hace uso del BTC común.

- *Límite líquido:*

La normativa española, señala que el límite líquido del suelo puede ser de 25 a 50 %,

2.2.4. *Norma Brasileña NBR 8492, 1986*

- *Composición granulométrica*

Sirve para establecer de manera cualitativa los tamaños de las partículas de tierra que se expresan con respecto al peso seco total.

Según la norma, el 100% de tierra debe pasar por el tamiz #4 y del 10 al 50% debe pasar por el tamiz #200

III. METODOLOGÍA

La factibilidad del uso de BTC, en la parroquia Cojitambo, depende de la tierra como material de construcción, es por ello, que se evaluaron cuatro tipos de tierras con los siguientes ensayos de laboratorio:

3.1. Ensayos de propiedades del suelo

Son ensayos que se realizan para conocer las propiedades de la tierra antes de fabricar el bloque.

3.1.1. Análisis granulométrico de suelos por tamizado

Para el ensayo se pasa por un proceso de secado, pesado; lavado, secado, y por último, tamizado y pesado. Se pasa el material por diversos tamices y se pesa el material retenido en cada tamiz para obtener una relación con el total inicial y graficar una curva aritmética con los datos del material que se retiene y que pasa por cada tamiz.

3.1.2. Análisis de contenido de materia orgánica

Se realiza con la finalidad de conocer la pureza de la tierra con respecto al contenido de materia orgánica, el ensayo se realiza con una prueba colorimétrica comparando el resultado con la carta de colores de Gardner (Norma ASTM C40) (ver fig. 1), haciendo uso de agua, hidróxido de sodio y una muestra de tierra. Las partículas por precipitación y decantación se forman capas y se define la composición. De la pureza del material depende la hidratación del cemento y por consecuencia la resistencia del bloque.

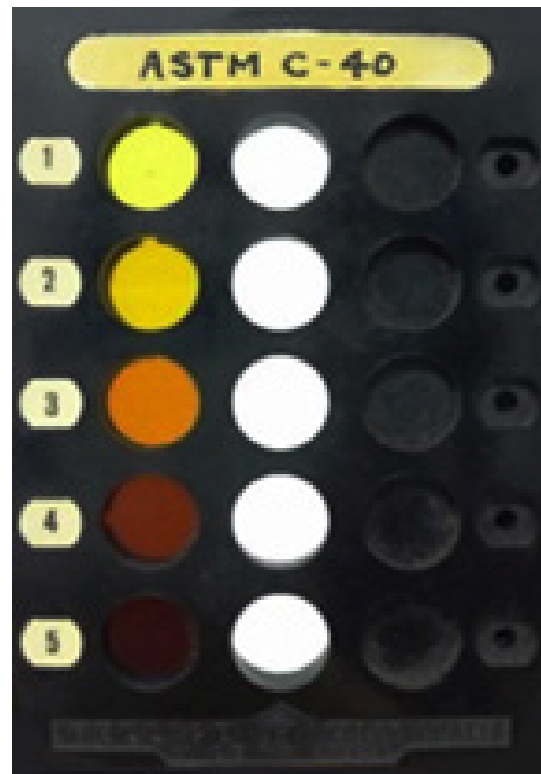


Fig.1. Carta de colores de Gardner. Fuente: Norma ASTM C87-C40

3.1.3. Consistencia del suelo: Límite Líquido

Se calcula el límite líquido cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido, se indica el contenido de humedad expresado en porcentaje de la tierra seca. Para realizar el ensayo se utiliza la máquina Casagrande y tierra del tamiz # 40, se analizan 4 contenidos de humedad diferentes, se realizan cálculos, y se hace un promedio para obtener el límite líquido del suelo. La normativa española (UNE 41410,2008), indica que el límite líquido de la tierra debe ser de un 25 a 50%.

$$L.L = \frac{(Ph + T) - (Ps + T)}{(Ps + T) - PT} * 100 = \frac{Pw - Ps}{Ps} * 100$$

Donde:

Ph= Peso de la muestra húmeda

Ps= Peso de la muestra seca+ Tarro

PT= Peso del tarro

L.L.= Porcentaje de límite líquido

3.1.4. Consistencia del suelo: Límite Plástico

Se analiza el límite plástico, cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico. Se realiza el ensayo con tierra del tamiz #40, la cual se humedece y se amasa para formar cilindros, los cuales se estiran y doblan repetidamente, hasta que el cilindro no se pueda reconstruir. Se realizan 4 muestras, se pesa el material seco y se realizan los cálculos para determinar el límite plástico.

$$L. Plástico = \frac{(M1 - M2)}{(M1 - M3)} * 100$$

Donde:

M1= Peso de la muestra húmeda+ recipiente

M2= Peso del recipiente+ muestra seca

M3= Peso del recipiente

3.2. Ensayos físicos y mecánicos

Son ensayos que se realizan una vez que el bloque está fabricado y se ha curado por lo menos 7 días y posteriormente a los 28 días, para determinar sus propiedades.

3.2.1. Ensayo de resistencia a la compresión seca

El ensayo tiene la finalidad de establecer la capacidad de carga máxima a compresión que el bloque soporta antes de disgregarse o fracasar.

Se coloca el bloque en el horno de convección hasta que la diferencia entre la masa sea menor a 0,1 del peso originario; se pesa y se toman las dimensiones efectivas del bloque, se coloca la probeta en el centro de la prensa y se aplica una carga uniforme con una velocidad continua de 0.02 mm/s, para evitar movimientos bruscos.

$$R. compresión seca = \frac{Area que recibe la carga(cm^2)}{Carga de la rotura(kg/f)}$$

3.2.2. Ensayo de abrasión

El ensayo se realiza para determinar el porcentaje de material perdido después de condiciones reguladas de fricción en cierto tiempo. Los bloques se conservan en un lugar protegido de humedad 24 horas antes y se pesa cada probeta estableciendo la masa antes del ensayo (Mo). Posteriormente, se ubica el bloque sobre una bandeja, se coloca un cepillo de metal (máximo 2mm) sobre el bloque, como carga perpendicular y se mueve de manera lineal 20 veces. Para realizar los cálculos se pesa la probeta y se toman las dimensiones de la superficie de desprendimiento.

$$Ca(cm^2/g) = \frac{S}{mo - m1}$$

Donde:

Cb= Coeficiente de capilaridad

M= Masa del agua que se absorbió en el ensayo (g)

t= Duración de la inmersión (minutos)

S= Superficie de la cara sumergida (cm²)

3.2.3. Ensayo de capilaridad

El ensayo tiene el propósito de establecer la cantidad de agua que absorbe la probeta en cierto tiempo. Para el procedimiento se registran las dimensiones y peso de 3 probetas, posteriormente se secan en el horno durante 24h, se enfría la muestra y se coloca sobre cuñas en un recipiente profundo, para humedecer 5mm de la muestra. Por último, se pesa la probeta y se realizan los cálculos.

$$Cb = \frac{1000M}{S\sqrt{t}} = \frac{100(P1 - P0)}{S\sqrt{10}}$$

Donde:

Cb=Coefficiente de capilaridad

M= Masa del agua que se absorbió en el ensayo (g)

t= Duración de la inmersión (minutos)

S= Superficie de la cara sumergida (cm²)

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados de ensayos de propiedades del suelo

4.1.1. Análisis granulométrico de suelos por tamizado

El centro de investigación de hábitat y energía (2006), indica que la composición granulométrica de la tierra debe ser de: 0% de gravas, 40% arenas, 35 a 40% de arcillas y 20 a 25% de limos; sin embargo, los resultados del análisis granulométrico indica bajo contenido de arena en las zonas 2 y 3 (ver fig. 2).

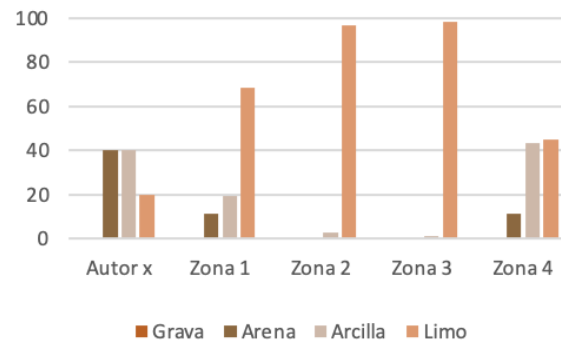


Fig.2. Resultados del análisis granulométrico de suelos por tamizado. Elaboración: Propia.

Por lo tanto, se debe estabilizar la tierra para fabricar el bloque, agregando los siguientes porcentajes de arena: de la zona 1 el 28,50%, de la zona 2 el 39,61%, de la zona 3 el 39,71% y de la zona 4 el 29,54% de arena.

4.1.2. Análisis de contenido de materia orgánica

En el análisis de contenido de materia orgánica, se obtuvieron resultados favorecedores, que indican que las muestras de tierra de las 4 zonas son apropiadas para su uso en construcción, debido a que tienen un mínimo contenido de materia orgánica, lo cual se verifica en la comparación con la tabla de colores de Gardner (ver fig. 3).



Fig.3. Resultados del análisis de contenido de materia orgánica. Fuente: Fabricación De Bloques De Terrocemento Con Tierras De La Parroquia Cojitambo, Del Cantón Azogues.

4.1.3. Consistencia del suelo: Límite Líquido

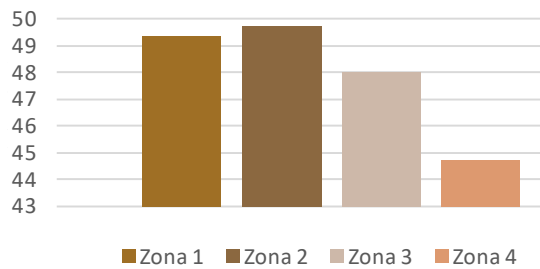


Fig.4. Resultados del ensayo de consistencia del suelo: Límite líquido. Elaboración: Propia.

4.1.4. Consistencia del suelo: Límite Plástico

El autor [6], indica que el índice de plasticidad debe ser menor que el 25%, lo cual se cumple en las 4 zonas (ver fig. 5).

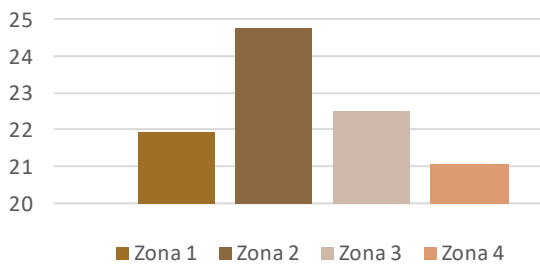


Fig.5. Resultados del ensayo de consistencia del suelo: Límite plástico. Elaboración: Propia.

4.2. Resultados de ensayos físicos y mecánicos

4.2.1. Ensayo de resistencia a la compresión seca

Los resultados obtenidos indican que, a los 28 días todos los bloques logran superar la norma ASTM C43, y la categoría BSC 20 y BTC3 de la norma colombiana y española respectivamente, por otra parte, los bloques de las cuatro zonas presentan mayor resistencia que el ladrillo hueco y los bloques de la zona 2 y 3 superan la resistencia del bloque de pómez

no estructural, siendo el bloque de la zona 3 el de mayor resistencia a compresión seca y logrando ubicarse en la categoría BSC 40 de la norma colombiana. Por lo tanto, en los cuatro casos los bloques son resistentes y superan el mínimo requerido por las tres normas, asimismo, cuentan con una resistencia similar a los de la mampostería no estructural convencional (ver fig. 6).

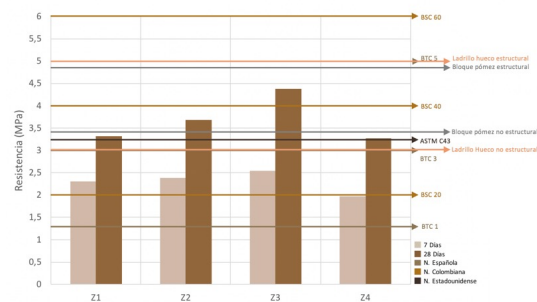


Fig.6. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión seca. Elaboración: Propia.

4.2.2. Ensayo de abrasión

La norma colombiana NTC 5324 indica un coeficiente de abrasión mínimo de $Ca = 2 \text{ cm}^2/\text{g}$, lo cual se supera con las probetas de las 4 zonas y en el caso de la zona 3 se logra superar los $5 \text{ cm}^2/\text{g}$ establecidos para la categoría BSC 40. En todos los casos se cumple con los mínimos exigidos para los bloques de terrocemento (ver fig. 7).

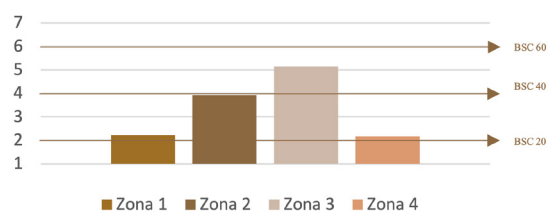


Fig.7. Resultados del ensayo de resistencia a la abrasión. Elaboración: Propia.

4.2.3. Ensayo de capilaridad

Los resultados del ensayo demuestran que los bloques de las cuatro zonas se catalogan como poco capilares, siendo los bloques de la zona 4 los que presentan mayor índice de capilaridad.

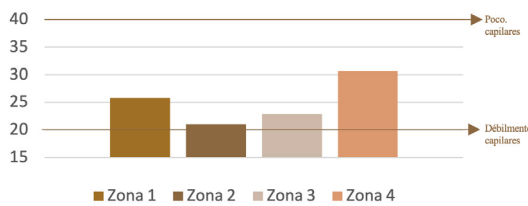


Fig.8. Resultados del ensayo de resistencia a la capilaridad. Elaboración: Propia.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios metódicos y científicos de la tierra como material constructivo, han permitido el surgimiento de nuevos materiales, con mejores características físicas y mecánicas, como es el “bloque de terrocemento”, por lo tanto, se transfieren las tecnologías y conocimiento a la parroquia Cojitambo, para analizar la tierra de 4 zonas, escogidas mediante la sectorización de construcción en tierra.

Para dotar de validez los sistemas constructivos basados en tierra, es necesario verificar sus propiedades tomando como fundamento la normativa, es por ello que se realizan ensayos de materia orgánica, límites de atterberg, y de granulometría, los cuales verifican la calidad de los 4 tipos de tierra. En el ensayo de granulometría, se evidenció mayor contenido de arcilla en la zona 2 y 3, mostrando la necesidad de estabilizarla con arena, por lo tanto, se permitió establecer la dosificación adecuada para realizar la fabricación.

Posteriormente, se analizaron las características físicas y mecánicas del bloque; el ensayo de resistencia a la compresión seca, demostró que los BTC presentan resistencias similares a los mampuestos utilizados comúnmente como son: el ladrillo hueco y el bloque pómez, asimismo, se logró superar los estándares establecidos en la norma estadounidense, colombiana y española. En cuanto al ensayo de abrasión y de capilaridad, los resultados superan el mínimo establecido en las normas indicadas.

Por último, se puede indicar que, el aporte principal de esta investigación es demostrar la posibilidad del uso del bloque de terrocemento en la parroquia Cojitambo; es un sistema constructivo nuevo para la zona, sin embargo, se compone mayoritariamente con materiales propios del lugar, por lo cual, es respetuoso con el paisaje rural y natural existente.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Lou Ma, Manual para la construcción de la CETA-RAM., 1981.
- [2] J. Toirac, «El suelo-cemento como material de construcción,» Ciencia y sociedad, vol. XXXIII, n° 4, pp. 520-571, 2008.
- [3] E. I. Bailón Abad, R. I. Espinosa Guarice-la y J. B. Acevedo Catá, «Bloque de suelo estabilizado en pequeño formato y tecnología de colocación en obra en vivienda de interés social,» Ingeniería y Desarrollo, pp. 105-127, 2019.
- [4] P. Cevallos Salas, «La construcción con tierra en el Ecuador y la necesidad de la norma.,» SIACOT, pp. 631-642, 2015.
- [5] E. De la Fuente, Suelo-cemento: usos, propiedades y aplicaciones, Mexico: Instituto mexicano del cemento y del concreto, 1982.
- [6] L. P. Vera Arroba, B. W. Gómez Gómez y J. B. Sánchez Salazar, «Estudio estructural para mampostería de bloque de tierra compactada, en viviendas unifamiliares, sector Quitumbe Quito – Ecuador,» Quito: UCE, p. 252 p., 2017.
- [7] M. Á. Martínez Larreategui, «Diseño arquitectónico de una vivienda económicamente accesible aplicando el sistema constructivo de bloque de tierra comprimida, caso de estudio en la cabecera cantonal de Gonzanamá, provincia de Loja,» p. 177, 2018.
- [9] P. J. Mejía Pacheco, «Bloques de tierra comprimida con agregados de residuos de construcción y demolición como sustitución de los agregados tradicionales en la ciudad de Saraguro, Loja, Ecuador,» Tesis de Maestría en Construcciones, p. 116, 2018.

Recibido: 22/04/2023

Aceptado: 30/12/2023

