

Análisis de las ventajas y desventajas de las técnicas no convencionales en la construcción de edificaciones frente a un evento sísmico

¹Fernández José

^{1,2} Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática,
Instituto de Investigación y Posgrado, Quito, Ecuador
e-mail: jlfernandezm@icloud.com - e-mail: pcaceres619@puce.edu.ec

Información del artículo

Recibido: Junio 2015 – Aceptado: Agosto 2015

Resumen

El presente es un análisis sobre las ventajas de las tecnologías conocidas como no convencionales, entendiéndose como convencionales a las estructuras de hormigón armado o acero. La importancia del análisis de los eventos sísmicos en el Ecuador y cómo afectan las estructuras con tecnologías no convencionales, para finalmente conocer cuál ha sido la postura del mercado en los últimos 10 años.

Palabras clave: ferrocemento, adobe, tapial, terrocemento, tecnologías.

Abstract

This is an analysis of the advantages of technologies known as unconventional, meaning conventional structures of reinforced concrete or steel. The importance of analysis of seismic events in Ecuador and how they affect structures with unconventional technologies, to finally know what has been the stance of the market in the last 10 years.

Keywords: ferrocement, adobe, tapial, terrocemento, technologies.

Introducción

Durante el transcurso del tiempo el hombre ha pasado de vivir dentro de cuevas, al interior de gigantes de acero y hormigón. En este proceso ha desarrollado técnicas y tecnologías constructivas, utilizando como material compositivo la madera, tierra, piedra, entre otros. Estos elementos han sido obtenidos en la mayoría de los casos de bosques, canteras o ríos aledaños a las zonas de construcción, incluso de ser el caso, el mismo terreno, dependiendo de su calidad y características, ha servido para la construcción de muros portantes o como elemento constitutivo de la edificación.

Las técnicas de construcción con tierra datan de hace más de 9.000 años. En Turquestán fueron descubiertas viviendas en tierra del periodo 8000-6000 a. C. (Pumpelly, 1908). En Asiria fueron encontrados cimientos de tierra apisonada que datan del 5000 a. C. Todas las culturas antiguas utilizaron la tierra no solo en la construcción de viviendas, sino también en fortalezas y obras religiosas [1, p. 28].

Las estructuras compuestas por estas técnicas milenarias, han soportado no solo factores climáticos en concordancia a su posición geográfica, sino que han resistido esfuerzos sísmicos. Aunque en algunos casos su comportamiento ha llevado al colapso de las estructuras, ha permitido su análisis para el planteamiento de mejoras tanto en el ámbito técnico estructural como económico; aunque el factor cultural al que estas técnicas están ligadas, constituye uno de los elementos más valiosos al formar parte de la identidad de las poblaciones.

Estado de la cuestión

Las técnicas de construcción en tierra no solo han albergado un conocimiento sobre el comportamiento y ventajas del material, además de esto constituye, como tal, un conjunto de saberes que se ha depositado de generación en generación, conformando parte de la cultura e identidad de pueblos, aunque en la actualidad no se desarrollen estas tecnologías al ritmo de otras, en las que la industrialización ha permitido avances importantes.

Las edificaciones cuyo componente primario es la tierra, en algunos casos se remontan a épocas de la Colonia. Sin embargo, es preciso discernir que estas tecnologías constructivas, pueden no tener las mismas ventajas del hormigón armado o la madera ante un evento sísmico; en la actuali-

dad contamos con edificaciones que han sobrellevado un gran número de estos acontecimientos y es precisamente el Centro Histórico de Quito, declarado por la UNESCO en el año de 1978 como Patrimonio de la Humanidad, una ventana hacia el conocimiento, valoración y análisis de estas importantes técnicas y tecnologías.

El presente documento realiza un análisis de las ventajas y desventajas de las técnicas no convencionales en la construcción de edificaciones frente a un evento sísmico, teniendo en cuenta que se consideran técnicas convencionales los sistemas de pórticos, donde el hormigón armado y el acero cumplen un papel imprescindible.

El análisis y planteamiento del caso aborda tecnologías como el ferrocemento, terrocemento, y tierra. En el caso de las tecnologías con tierra, aunque no se ha especificado en la presentación del caso el universo de estas, se ha seleccionado y realizado un enfoque en el adobe y tapial, por ser las más comunes en el medio, además que de las conclusiones se obtendrá resultados, que pueden servir en el diagnóstico y evaluación de las edificaciones. De igual forma se presenta un análisis de las características sísmicas bajo las cuales el Ecuador se encuentra y cómo las técnicas responden ante estos eventos. Para finalmente concluir con un análisis y recomendaciones.

El ferrocemento

El ferrocemento es un tipo de hormigón armado en forma de lámina delgada comúnmente construido con mortero de cemento hidráulico y reforzado con capas de telas de mallas, poco separadas entre sí y formadas por alambres continuos y de relativamente pequeño diámetro [2, p.36].

Los orígenes del ferrocemento, lo describen como un precursor del hormigón armado, material y características como lo conocemos hoy en día.

La primera referencia al ferrocemento se remonta a 1848 cuando el francés Joseph Louis Lambot (1814-1885) construyó pequeños botes, recipientes para agua, plantas y otros objetos con un material que él llamó *ferciment*. Más tarde la idea de Lambot fue retomada por el ingeniero y arquitecto Pier Luigi Nervi (1881-1960), quien destacó notablemente en el campo de la construcción, y cuya primera obra mencionada por [2], es la construcción de un pequeño almacén en 1946 con dimensiones de 11 x 12 m en planta, los techos y paredes conformados por elementos prefabricados de 3 cm de espesor. Su más impor-

tante obra, y una de las más grandiosas hasta el presente, fue la cubierta de la sala del Palacio de Exposiciones de Turín con una luz de 95 m, realizada entre 1948 y 1949 en solo ocho meses.



Figura 1. Palacio de exposiciones de Turín.

Dentro de las principales obras de Nervi podemos mencionar el Cinema Augusteo en Nápoles, Estadio Municipal de Florencia o Estadio Giovanni Bertha (1932), hangares de Orbetello (1940). Sobre este último, Chao (2005) habla de Nervi “su preocupación por la eficiencia económica lo llevó a concluir que algunas partes de los hangares debían ser prefabricadas (hangares de Orbetello), ya que con ello ahorraría tiempo y dinero, uno de los principales mandamientos de Nervi” [2, p.35].

El trabajo de Nervi motivó la atención de científicos e ingenieros del mundo entero pero la misma fue poco a poco desistiendo según [2], por la “...inercia en la mentalidad de los ingenieros formada bajo la influencia de muchos años de trabajo con el hormigón armado tradicional”.

Una de las cualidades del ferrocemento es precisamente la reducción de los costos [2], menciona que el nuevo material propuesto es un producto que puede reemplazar a la madera y cuya base es una red metálica de alambres de pequeño diámetro uniformemente distribuidas o barras interconectadas.

Las características de sus componentes permiten bajar el factor económico de las estructuras, además su facilidad constructiva y consolidación estructural sin que esto condicione la seguridad y durabilidad de los elementos, es el fundamento del ferrocemento. Wainshtok, describe su elaboración de la siguiente forma: “... se forma por una matriz de mortero de arena y

cemento hidráulico, reforzada con una armadura altamente subdividida y distribuida en la masa de mortero (1). El resultado de esto según el autor representa la reducción del peso propio y el volumen de las estructuras en mucho más del 50% y de la armadura hasta el 35%, comparadas con las habituales de hormigón armado [2].

Wainshtok [2], menciona que estos elementos, también pueden ser compuestos por mallas formadas de alambres generalmente galvanizados de diámetro entre 0,8 y 1,5 mm, espaciados entre sí de 10 a 25 mm, mismas que pueden ser hexagonales, soldadas o torcidas, de un núcleo compuesto por barras de acero de entre 3 y 6 mm de diámetro –o sin ellas– lo que se conoce como refuerzo de esqueleto. Tal estructura emplastecida con mortero y con recubrimiento entre 2 y 6 mm, presenta espesores que fluctúan entre 10 y 30 mm, aunque pueden llegar a 50 mm.

La aplicación de esta técnica tuvo sus inicios en la construcción de barcos y botes, pero las cualidades del producto permitieron su inclusión en la fabricación de diversos elementos desde ornamentales hasta funcionales, es así como paulatinamente el material incursiona en el campo de la construcción, [2] habla de “edificios industriales y sociales, barcos, depósitos, puentes, piscinas, etc., la explotación de estas estructuras durante muchos años en distintos países, confirman lo económicas que resultan así como su elevado grado de seguridad y durabilidad cuando se ejecutan con la calidad requerida” [2, p.2].

El ferrocemento posee mejores propiedades mecánicas y más durabilidad que el hormigón armado; su proceso deformativo es notablemente distinto al del hormigón en relación con su mayor resistencia al agrietamiento... La distribución uniforme del refuerzo y la alta relación entre su área superficial y el volumen del compuesto (superficie específica S_v) resultan en una mayor oposición al surgimiento y a la propagación de las grietas, lo que incrementa la resistencia a la tracción del material [2].

Propiedades adicionales del ferrocemento [2]:

- a) Buen aislamiento térmico y resistencia a la abrasión.
- b) Buen aislamiento acústico.
- c) Buena resistencia ante agentes mecánicos.
- d) Buena resistencia al agrietamiento.
- e) Facilidad de construcción y reparación
- f) No necesita prácticamente mantenimiento.
- g) Bajo costo.

La utilización del ferrocemento se expandió en Nueva Zelandia, Inglaterra, Canadá, Estados Unidos, Cuba Filipinas, Rusia. “En 1967 ya existían en la antigua Unión Soviética normas para el uso del Ferrocemento” [2].

En América Latina, según la experiencia de México en la que “Alfonso Olvera expone con lujo de detalle los trabajos desarrollados con este material: canales de riego depósitos, almacenes, viviendas y otros” [2].

El buen resultado obtenido por el profesor Olvera determinó que se ejecutaran más de 1.500 viviendas con esta técnica en el estado de Sonora.

En Brasil, uno de los países que más ha implementado esta tecnología, el ferrocemento se empleó por primera vez en la Escuela de Ingeniería de San Carlos de la Universidad de San Pablo... sin embargo, por el área a cubrir y las dimensiones, el ejemplo más significativo es la cubierta de la Terminal de Ómnibus de Florianópolis, donde 15.100 m² de área fueron cubiertos con vigas de sección transversal en forma de hexágono [2].



Figura 2. Terminal de ómnibus de Florianópolis [3].

Ventajas del fibrocemento en la construcción

[2] describe las ventajas del ferrocemento en la industria de la construcción y menciona que los atributos que son asignados a la aplicación del hormigón armado también pueden ser aplicados al ferrocemento. “Sin embargo, algunas características hacen de este material más apropiado cuando se compara con madera, acero y polímeros fibrorreforzados (PFR).

Tales ventajas son las siguientes:

1. Los materiales que utiliza (cemento, arena y tela de mallas de alambre) existen en prácticamente todos los países.
2. El ferrocemento puede aplicarse en construcciones por medios propios, hasta en aquellas que necesitan elementos prefa-

bricados construidos en procesos altamente industrializados.

3. Puede construirse con baja tecnología y personal poco calificado.
4. Puede fabricarse en formas diversas.
5. El ferrocemento como el hormigón o la mampostería es duradero y resistente al medio ambiente, no inflamable, y menos propenso a la corrosión que el acero; no se daña por la humedad ni se pudre como la madera y tiene una vida útil mucho mayor que la de los plásticos fibrorreforzados.
6. Su mantenimiento y reparación son de fácil ejecución
7. Puede ser considerada como una tecnología apropiada según la definición del término adoptada por la ONU en la Cumbre sobre Medio Ambiente y Desarrollo en 1992 (p. 62-63) [2].

La implementación de esta tecnología permite la reducción de costos, tanto en la cuantificación del material utilizado como en la mano de obra empleada, sobre todo si forma parte de un proceso de industrialización donde los costos de elaboración de los elementos disminuyen sustancialmente. “Se puede producir ferrocemento en estructuras para viviendas que son resistentes al fuego, a prueba de terremotos y de las termitas por 15 dólares (1998) por pie² de área plana proyectada” [2, p. 63].

Tipos de estructuras de ferrocemento
Según [2] podemos citar las siguientes:

- a) Placas (losas delgadas de ferrocemento).
- b) Tableros de ferrocemento.
- c) Losa nervada (tipo canal).
- d) Losa plegada (quebrada).
- e) Elementos en V.
- f) Losa ondulada.
- g) Losa curva de cubierta
- h) Losa nervada de cubierta

El ferrocemento en las viviendas

La aplicación del ferrocemento en viviendas ha obtenido experiencias en México y Cuba, donde la utilización de elementos prefabricados de ferrocemento con sección transversal en U fueron los elementos constitutivos de la propuesta.

Esta sección explica muchas posibilidades [2]:

- a) Facilidad para variar sus dimensiones.
- b) Posibilidades para ser utilizada tanto en muros como en entrepisos y techos.
- c) Se puede emplear en su forma más simple o como tapas.
- d) Se puede usar en diferentes posiciones.
- e) Aún con un pequeño refuerzo tiene una adecuada resistencia.
- f) Puede fabricarse con materiales ligeros

En una segunda etapa de este desarrollo se realizaron proyectos de edificios residenciales. De esta forma, en 1988 y más tarde en 1994, se hablaba de su construcción como una alternativa para el problema de viviendas en Cuba, con edificios residenciales de hasta 5 pisos. El sistema está conformado por [2]:

- a) Paneles de pared.
- b) Paneles de entrepisos
- c) Paneles de cubiertas
- d) Vigas zapata y de cerramiento

El adobe

La tierra ha sido el componente principal de las construcciones prehispánicas a lo largo de América Latina, pero sus raíces nos llevan hacia Europa y el Mediterráneo.

Diversos especialistas como Guerrero (1997) y McHenry (2000) mencionan que el uso de adobes (como bloque de construcción independiente) ha sido posible rastrearlo desde las ruinas de Jericó datadas en 8000 años de edad hasta nuestros días. El término adobe procede del egipcio thobe y su difusión se dio en todo el mundo mediterráneo tanto por los romanos a principios de nuestra era como por el pueblo árabe que lo llamó atob (ladrillo). Siendo el adobe una de las formas más difundidas de construir con tierra cruda [4].

Desde entonces el adobe se ha mantenido como una técnica que forma parte de las construcciones vernáculas, más su importancia ha trascendido hasta llegar a formar parte de nuestra cultura e identidad. La mayor parte de construcciones en adobe se las encuentra en las zonas rurales; sin embargo, se han realizado análisis de las viviendas en adobe, un ejemplo de este es la conferencia de Hábitat realizada por las Naciones Unidas.

En la segunda conferencia de las Naciones Unidas sobre asentamientos humanos conocida como Hábitat II¹ ya se indicaba que aproximadamente el treinta por ciento de la población mundial habita en casas fabricadas con tierra cruda en cualesquiera de sus variantes constructivas: ya sea en su forma de bloques secados al sol, conocida como adobe, o en su forma de muros construidos de paja y carrizo repellido con lodo [4, p.12].

El interés que despierta el uso de tecnologías artesanales según [4]. "... ha llevado a que en niveles de enseñanza profesional, departamentos de escuelas y facultades de arquitectura, integren entre su personal docente a profesores e investigadores especializados sobre el área". El desarrollo de este estudio se manifiesta en dos líneas de investigación: por un lado se ensayan nuevas maneras de utilización para la tierra cruda, intentando mejorar las condiciones sobre todo a esfuerzos sísmicos. Por otro lado y en gran medida ligado a la conservación del patrimonio edificado se encuentran los estudios del material para disminuir procesos de degradación, mejorar sus condiciones de estabilización y recuperación de su integridad estructural y morfológica en el contexto de la edificación [4].

Composición del adobe

La composición original del adobe se conforma de arena, arcilla, paja y estiércol de animales, a esta mezcla según

[4] se agregan pequeñas piedras de diversas composiciones. En las juntas se utiliza una mezcla de igual material que el adobe en juntas que pueden tener desde 2 cm de espesor hasta 15 cm.

Elaboración del adobe

El primer paso para la elaboración de adobe es humedecer la tierra y batirla, luego se cubre con paja y se deja reposar por un par de días. Una vez concluido este lapso se mezcla con paja picada e inicia un nuevo proceso de batido, previo al moldeo de los adobes [5].

El tamaño más adecuado para obtener los adobes es de 40x18x20 cm (largo, ancho y alto). Según Pesantes Rivera & González Aguirre (2011), estas dimensiones permiten generar traba

1 (www.un.org/spanish/ag/habitat/10.htm)

incluso construyendo un muro de adobe doble. Una vez desmoldado el adobe se procede a su secado, se recomienda realizar un secado entre 20 y 40 días [5].

El tapial

El tapial como el adobe es una tecnología tradicional en tierra, comúnmente se encuentra en áreas rurales a lo largo de la Sierra ecuatoriana

Es un sistema constructivo que consiste en apisonar la tierra dentro de unos moldes (tapialeras), mismos que se deslizan conforme avanza la construcción de las paredes. Esta técnica posibilita conseguir menor retracción del material y una mayor resistencia; son construcciones monolíticas, por lo tanto de mayor durabilidad que las otras técnicas tradicionales.

Es una técnica que prácticamente ha perdido su uso en la actualidad, debido al esfuerzo físico y a la pérdida de conocimiento sobre cómo desarrollar su construcción [5].

Técnica constructiva

Para la construcción del tapial es fundamental la selección de la tierra y que esta no contenga un alto componente orgánico², es necesario que la tierra seleccionada tenga un contenido de arcilla no superior al 20%, con esto se evitará una contracción del material y que se generen fisuras [5].

Durante el proceso de preparación de la tierra, se efectúa el humedecimiento de la misma, que según [5], no debe exceder a las condiciones normales de humedad a las que se encuentra. Una vez que la tierra se ha preparado el siguiente paso es la confección de los encofrados, contruidos en madera, su ancho (ancho de muro) no deberá ser menor a los 35 cm, sin embargo esta medida dependerá de las cargas colocadas sobre el muro. Una vez listo el encofrado se construirá el muro de un largo de 1,60 a 4,00 m, y una altura entre 0,80 y 1 m. Una vez instalados y asegurados los travesaños, se procede a la compactación en capas de 15 a 20 cm de altura, hasta que el pisón no deje marca en la tierra.

La forma de trabe en las esquinas se realiza a través de la alternación de las tapialeras. Finalmente para los lugares donde se ubiquen vanos como ventanas o puertas los dinteles se apoyarán sobre un tercio de la longitud (en ambos lados) del vano que cubren.

Las técnicas de tierra como tapial y adobe, forman parte de la arquitectura vernácula³ de los pueblos, estas son conocidas como tecnologías económicas por los recursos empleados para la construcción de las edificaciones, además el factor ambiental es una de las bondades de estas tecnologías.

La construcción de una vivienda con adobe o tapial no causa efectos negativos con el medio ambiente. Sus ventajas se extienden al confort, aislamiento acústico, térmico, entre otros.

Ventajas de esta tecnología [5]:

- a. Es una construcción ecológicamente sostenible, posee una dimensión humana y con grandes valores culturales, que le hace levantarse como una arquitectura con lugar.
- b. En el adobe y tapial es conocida la capacidad que tiene la tierra de almacenar el calor de forma pasiva en sus muros, principalmente si estos son muy anchos. Esta temperatura posteriormente se desprende de manera paulatina en el ambiente interno, equilibrando la temperatura ambiental.
- c. Posee grandes cualidades acústicas, los muros de tierra son malos transmisores de las vibraciones sonoras; esto genera una barrera eficaz contra los ruidos no deseados.
- d. En el caso concreto del bahareque, por sus sistema modular y estructural de madera, posee propiedades sismo resistentes, los materiales utilizados tienen la ductilidad necesaria que permite absorber las deformaciones.
- e. La tierra puede ser utilizada sin necesidad de maquinaria.
- f. No genera emisiones contaminantes o residuos para su elaboración.
- g. Produce aislamiento a ondas electromagnéticas de alta frecuencia, evitando efectos negativos sobre el cuerpo humano.

² Se reconoce a la tierra con un alto contenido orgánico, por un característico color oscuro.

³ La arquitectura vernácula se compone de la tipología constructiva propia de la zona; materiales, forma, disposición funcional, tecnologías y expresión morfológica en conjunto hacen de la arquitectura vernácula una de las formas de expresión culturales de los pueblos.

- h. Propicia el equilibrio de humedad en el ambiente. La tierra es un material que presenta intercambio de humedad entre el interior y exterior; así se conserva un ambiente saludable en la vivienda.

Como debilidades se observa que el exceso de barro en las juntas puede ocasionar un rompimiento del amarre de los elementos.

Sin embargo, los problemas que esta tecnología tiene ante esfuerzos sísmicos, son los más importantes. Aunque la colocación de refuerzos superiores y una correcta traba en esquinas y entre dinteles y muros ayudan a que la estructura pueda soportarlos.

El terrocemento

En la actualidad, impulsadas por constantes investigaciones en el ámbito mundial, se registran interesantes innovaciones tecnológicas respecto a técnicas constructivas en tierra, caracterizadas por simplicidad, economía y bajo impacto ambiental [1].

El suelo-cemento es precisamente una de estas tecnologías. Conformado por tierra, cemento y agua, correctamente dosificados, es utilizado en la construcción de muros y pisos, conformando elementos monolíticos o en mampostería de bloques de ladrillos prensados y entramados [1].

El primer paso para la elaboración del terrocemento es la selección de la tierra con una buena granulometría, en una etapa posterior se procede con lo que se conoce como

“estabilización”. Este proceso se consigue a través de la inclusión de un agente estabilizante como el cemento [1].

El agregar una pequeña cantidad de cemento en la mezcla de tierra humedecida, permite el mejoramiento de la resistencia una vez que el material ha sido compactado y se ha endurecido.

La resistencia de suelo-cemento (terrocemento), en probetas en las cuales se incorporó un 10% de cemento, alcanzaron los 74 kg/cm^2 , si lo comparamos con la resistencia inicial del adobe: 7.25 kg/cm^2 [1]. El grado de resistencia del material aumenta sustancialmente, sin embargo, el autor recomienda que el porcentaje de cemento en la mezcla no supere el 12% por efectos económicos.

Es necesario realizar refuerzos adicionales a la estructura de tierra para soportar las cargas laterales. Si bien el incorporar el cemento y estabilizar los bloques de tierra mejora notablemente la resistencia del elemento, sobre todo a la compresión, son las cargas laterales -como las producidas

por un sismo-, aquellas que mayor daño causan a las edificaciones [1].

Esquinas con ochave a 45° , o un trabado de los muros ya sea en L o U, es parte del planteamiento. Otro sistema de reforzamiento se compone de un sistema postensado, a través de la utilización de elementos verticales de “fierro, madera o bambú dentro del muro, anclados al sobre cimiento y fijados al encadenado” [1]. Es fundamental la utilización de una cadena perimetral en la cabeza de muro para cerrar el sistema.

[1] menciona la importancia de los ensayos de las propuestas en modelos a escala, realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sismorresistente del Departamento de Obras Civiles de la UTFSM.

El parámetro a tomarse en cuenta es el terremoto de Kobe, Japón, presentado en el año de 1995, mismo que tuvo una magnitud de 6,9 a 7,3 en la escala de Richter. El mayor daño registrado por este evento se observó en las edificaciones de tierra.

Los resultados apoyaron la teoría de los prototipos de suelo-cemento (terrocemento), que se menciona de la siguiente manera:

Como primera conclusión, se demuestra claramente que los prototipos de suelo-cemento compactado no sufrieron indicios de colapso, en comparación a la maqueta de adobe (figura 3) que sí colapsó con el registro de Kobe a un 100% [1].

Una de las conclusiones obtenidas de las pruebas, corresponde a que las fallas de la estructura se relacionaron al mortero que une los adobes. Los ensayos realizados en los prototipos en suelo cemento compactado según [1], generaron solo grietas verticales (figura 4), que de presentarse en las dos caras del muro significaría un colapso de las esquinas, pero en el caso de los ensayos se presentó solo en una cara y su profundidad fue de 1 mm.

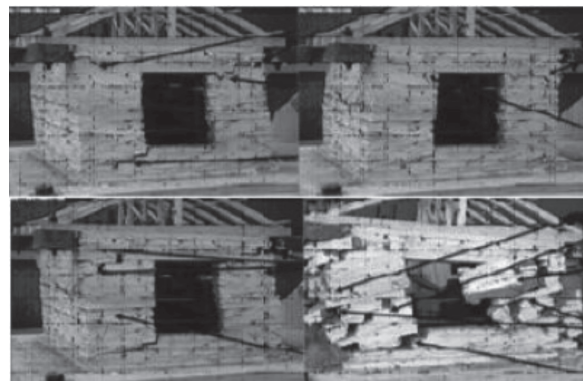


Figura 3. Prototipo de adobe durante ensayo en mesa de simulación de terremotos [1].

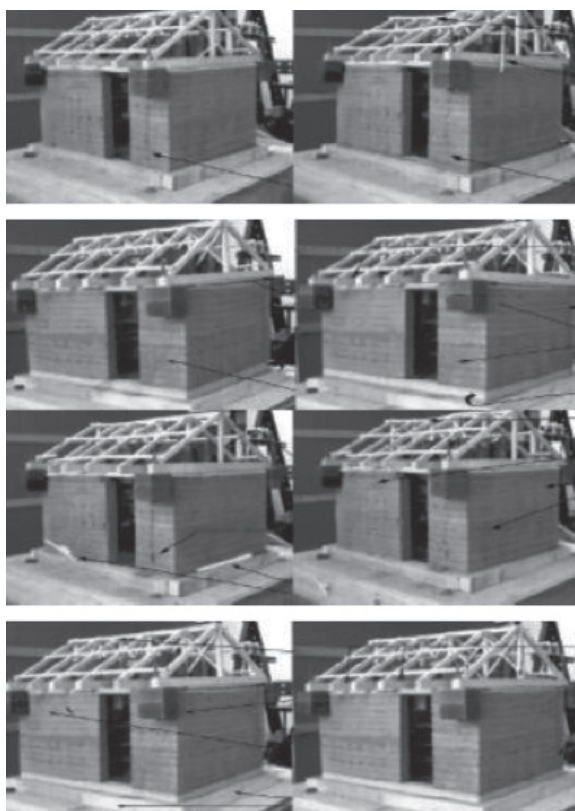


Figura. 4. Prototipo A y B durante el ensayo en la mesa de simulación de terremotos [1].

El terrocemento o suelo-cemento es una forma de reforzar la tecnología conocida como adobe (con los atributos térmicos y acústicos propios del material), cuyo objetivo es mantener y desarrollar un sistema constructivo estructural de bajo costo⁴, que a la vez reponga el valor de las ventajas ecológico-ambientales y mejore la resistencia a los sismos como detalla [1], además que pueda ser parte de un proceso de prefabricación del mismo.

Sismos en el Ecuador

Los sismos y terremotos tienen una connotación ligada a destrucción, pérdida sea esta emocional o material. Siendo eventos naturales de los cuales, aún no se ha podido establecer a ciencia cierta su presencia y la magnitud de los eventos, si no tan solo elaborar evaluaciones del impacto de los mismos.

El Ecuador tiene una larga historia de actividad sísmica que, en los últimos 460 años, ha provocado la destrucción de ciudades enteras como Riobamba e Ibarra, con la muerte de más de 60.000 personas.

El riesgo sísmico resulta de la combinación de 3 factores:

- Peligro sísmico,
- Nivel de exposición,
- Vulnerabilidad al daño de las edificaciones [6].

Muchos trabajos se han efectuado al respecto. El análisis del comportamiento de los sismos y terremotos ha llevado a desarrollar y plantear estudios acerca de cómo atenuar la incidencia de un sismo, sobre todo en las edificaciones, sean estas construidas con tecnologías nuevas o antiguas.

Se define al sismo como “un tipo especial de peligro natural, en el sentido en que estos son muy raros, pero cuyas consecuencias, cuando ocurren, son muy grandes en términos de destrucción y sufrimiento” [7].

Un evento sísmico necesita tan solo de unos segundos para manifestar su nivel de destrucción y ahí radica la importancia de las medidas tomadas tanto por instituciones, investigadores y ciudadanos para mitigar o soportar el impacto del mismo.

Hay dos términos muy conocidos para evaluar el grado de un sismo, por un lado está la magnitud y por otro la intensidad.

La magnitud de un sismo es un número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada. Se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1.000, o bien, de aproximadamente 32 veces la energía liberada. Es decir que un sismo de magnitud 8 es 32 veces más grande que uno de magnitud 7, 1.000 veces más grande que uno de magnitud 6, 32.000 veces más grande que uno de magnitud 5, y así sucesivamente. [8].

La magnitud nos permite evaluar el grado de energía liberada en un sismo, esta se cataloga a través de una escala. La escala utilizada en la actualidad para medir la magnitud de un sismo es la

⁴ (Barros & Imhoff, 2010) hablan de una reducción del 20% de los costos comparado con un muro de albañilería reforzada de ladrillo. (p. 38) [1].

de Richter y comprende 10 niveles, donde el nivel 10 es el más fuerte.

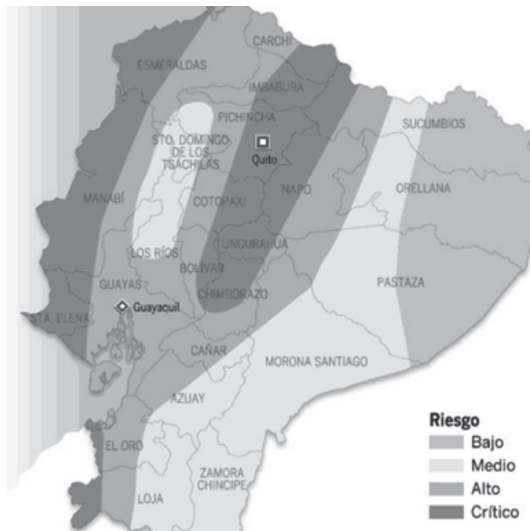


Figura 5. Zonas sísmicas del Ecuador.
Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción.

Por otro lado tenemos la intensidad, que al igual que la magnitud sirve para evaluar un sismo, sin embargo, en el caso de la intensidad su enfoque analiza el comportamiento en estructuras y el medio en general. El grado de daños presentes sobre un área definida, delimitará la intensidad de la presencia del sismo, sin embargo, existen factores incidentes al momento de evaluación a los que se puede definir como vicios ocultos. Los sistemas constructivos guardan lineamientos que se replican en las localidades a lo largo del Ecuador, sin embargo, la calidad de los materiales, junto con la mano de obra, puede diferir las características de una construcción con otra, si a esto sumamos la calidad y tipo de suelo sobre el cual la edificación se implanta, se obtendrá resultados y características singulares para las construcciones. En todo caso el nivel de intensidad de un sismo se lo puede definir de la siguiente forma [9]:

La intensidad macro sísmica es una medida de la severidad de la sacudida del suelo, basada en los efectos observados en un área limitada, y puede verse como un código que permite representar fácilmente descripciones de eventos mediante un símbolo, usualmente un número. En este sentido, la intensidad es algo descriptivo [10].

Las intensidades máximas identificadas guardan relación con el mapa de la figura 5, donde observamos 4 zonas de mayor influencia sísmica. Por un lado se encuentra Esmeraldas, lugar en el que se han identificado sismos de hasta el grado 9.

El segundo bloque lo conforman Imbabura, Pichincha y Napo con sismos de intensidad 8 y 9.

El tercer bloque lo componen las provincias de la Sierra Centro: Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi, donde se han presentado intensidades de hasta 11.

El cuarto bloque se encuentra al sur del Ecuador, conformado por Loja, El Oro y parte del Azuay con intensidades de eventos sísmicos de hasta 9.

Finalmente, el último bloque es el costero conformado por Manabí, el cual tiene una importante presencia sísmica por la concurrencia de las placas Sudamericana y Nazca, donde se han detectado sismos con intensidades de hasta 9.

La importancia de la estimación de la intensidad de un evento sísmico radica fundamentalmente en el hecho de que los valores de intensidad no dependen de medidas instrumentales. Básicamente, todas las escalas de intensidad cuantifican los daños en una localidad, dividiéndolos en efectos en las personas, efectos en las estructuras y, por último, efectos en la naturaleza.

Otra de las virtudes de la intensidad es la posibilidad de evaluar los sismos históricos para los cuales no se tienen registros instrumentales. De esta manera, es posible observar el comportamiento de una determinada región o un sitio específico a través del tiempo. Esto a su vez depende de la cantidad y la calidad de la información que se tenga a disposición [9].

La escala macrosísmica europea (EMS-98)

La escala EMS-98 es la utilizada para medir la intensidad sísmica de un evento, esta ha sido el resultado de un proceso de análisis con base en la corrección de teorías y resultados, finalmente en el año de 1993 se obtienen una escala como se menciona a continuación.

La primera versión de la EMS aparece en 1992, la cual fue publicada en 1993 para su uso

simultáneo con otras escalas. Esta versión fue una actualización de la escala MSK-64, manteniéndose los mismos doce grados para la estimación de intensidades, la clasificación de daños y las definiciones de cantidad [9, p. 17].

A diferencia de las escalas MM-56 y MSK-64, la escala EMS-98 presenta en forma gráfica los esquemas de daños en edificios. Se hace referencia a cinco categorías de daño... (en la figura 1 se identifican los daños observados, bosquejados y esperados en una edificación de mampostería) [9].

Es importante que para el caso de estudio se analice el nivel de afectación en diferentes escalas, por tal motivo se presenta a continuación las consecuencias ante eventos sísmicos según Mercalli en sus 12 niveles de intensidad.

La escala de Mercalli es una escala de 12 puntos, que se escribe en números romanos, y que está desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras (tabla 1). Esta medición debe su nombre al físico italiano Giuseppe Mercalli [11].

Clasificación de daños en edificios de mampostería	
	Grado 1: Sin daño o daño leve (Sin daño estructural, daño no estructural leve) Grietas muy delgadas en muy pocos muros. Caída de pequeños pedazos de entucido. Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.
	Grado 2: Daño moderado (daño estructural leve, daño no estructural moderado) Grietas en muchos muros. Caída de pedazos grandes de entucido. Colapso parcial de chimeneas.
	Grado 3: Daño substancial a severo (daño estructural moderado, daño no estructural moderado) Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; falla de elementos individuales no estructurales (paredes interiores).
	Grado 4: Daño muy severo (daño estructural severo, daño no estructural muy severo) Falla seria en muros; falla estructural parcial de techos. Falla de techos y pisos.
	Grado 5: Destrucción (daño estructural muy severo) Colapso o casi colapso total.

Figura 6. Clasificación de los daños en edificios con sistema constructivo de muros portantes.
Fuente: [9]

Tabla 1. Consecuencias en edificaciones escala MSK

Grado	Consecuencias
I	No percibida por humanos, solo por sismógrafos.
II	Percibida solo por algunas personas en reposo, en pisos altos.
III	Percibida por algunas personas en el interior de los edificios. Similar al paso de un camión ligero.
IV	Percibido por muchos en el interior de los edificios. No atemoriza. Vibran ventanas, muebles y vajillas. Similar al paso de un camión pesado.
V	Las personas que duermen se despiertan y algunas huyen. Los animales se ponen nerviosos. Los objetos colgados se balancean ampliamente. Puertas y ventanas abiertas batien con violencia. En ciertos casos se modifica el caudal de los manantiales.
VI	Muchas personas salen a la calle atemorizadas. Algunos llegan a perder el equilibrio. Se rompe cristalería y caen libros de las estanterías. Pueden sonar algunas campanas de campanarios. Se producen daños moderados en algunos edificios. Puede haber deslizamientos de tierra.
VII	La mayoría se aterroriza y corre a la calle. Muchos tienen dificultades para mantenerse en pie. Lo sienten los que conducen automóviles. Muchas construcciones débiles sufren daños e incluso destrucción. Alguna carretera sufre deslizamientos. En las lagunas se nota oleaje y se enturbian por remoción del fango. Cambian los manantiales: algunos se secan y otros se forman. Pánico general, incluso en los que conducen automóviles. Los muebles, incluso pesados, se mueven y vuelcan. Muchas construcciones sufren daños o destrucción. Se rompen algunas canalizaciones. Estatuas y monumentos se mueven y giran. Pequeños deslizamientos de terreno, grietas de varios centímetros en el suelo. Aparecen y desaparecen nuevos manantiales. Pozos secos vuelven a tener agua y al revés.
X	Pánico general. Animales que corren en desbandada. Muchas construcciones son destruidas. Caen monumentos y columnas y se rompen parcialmente las conducciones subterráneas. Se abren grietas de hasta 20 centímetros de ancho. Desprendimientos y deslizamientos de tierra y aludes. Grandes olas en embalses y lagos. La mayoría de las construcciones sufren daños y destrucción. Daños peligrosos en presas y puentes. Las vías se desvían. Grandes ondulaciones y roturas en carreteras y canalizaciones. Grietas de varios decímetros en el suelo. Muchos deslizamientos. El agua de canales y ríos es lanzada fuera del cauce.

XI	Quedan fuera de servicio las carreteras importantes. Las canalizaciones subterráneas destruidas. Terreno considerablemente deformado.
XII	Se destruyen o quedan dañadas prácticamente todas las estructuras, incluso las subterráneas. Cambia la topografía del terreno. Grandes caídas de rocas y hundimientos. Se cierran valles, se forman lagos, aparecen cascadas y se desvían ríos.

Fuente: [12]

Es importante realizar un acercamiento a los diferentes eventos sísmicos en el país, y cómo estos se han presentado en intensidad y recurrencia, por tal motivo es necesario realizar una descripción de los mismos, para lo cual se cita el trabajo de [9].

El movimiento de la placa de Nazca con respecto a la Sudamericana es constante y su velocidad de desplazamiento es de alrededor de 7,3 cm/año. Siendo la subducción la principal fuente de terremotos y de la deformación cortical, no cabe la afirmación de un aumento de sismos en un determinado periodo pues ello significaría una aceleración en el movimiento de las placas.

En lo concerniente a las intensidades, del total de eventos de este siglo solo uno ha alcanzado la intensidad de 10 MSK, Pelileo 1949, el cual es uno de los tres, junto con Riobamba 1797 e Ibarra 1868, con esta intensidad en toda la historia sísmica del Ecuador. Dos eventos han sido estimados con intensidad 9 MSK, Jama 1942 y Baeza 1987.

El siguiente siglo en orden de cantidad de sismos registrados es el siglo XVIII. En este periodo se encuentra el terremoto con la mayor intensidad máxima estimada, Riobamba 1797, con 11 MSK [9].

Concurrencia de los sismos

Otro parámetro que es importante mencionar, es el análisis que se ha realizado acerca de la concurrencia de los sismos en el país. Los estudios indican que al presentarse movimientos uniformes en las placas tectónicas estas a su vez cada cierto tiempo liberan esta energía y fuerza conocida como sismo. Según el historial documentado en el país se ha establecido ciclos, en los cuales se

presentan los sismos de acuerdo a su magnitud, a continuación se detalla la información.

Tabla 2. *Períodos de completitud*⁵

Magnitud Ms	Período (Años)
4,5 - 4,9	12
5,0 - 5,4	22
5,5 - 5,9	42
6,0 - 6,4	90
6,5 - 6,9	110
7,0 - 7,4	150
7,5 - 8,0	220

Fuente: (Metrodequito.gob.ec, 2016) [13].

Según los estudios realizados se menciona que en el Ecuador se presentaría en los próximos años un sismo de magnitud alta, por lo que las acciones a considerar sobre medidas de mitigación y respuesta son necesarias y emergentes.

Aunque no hay datos, se estima que entre un 60% y 70% de las viviendas en el país son de carácter informal o antiguas, que son potencialmente vulnerables, afirma Manuel Mera, asesor de la Secretaría Nacional de Riesgos y decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica.

Esa vulnerabilidad se ha hecho más evidente en terremotos como el de Bahía, donde se pusieron a prueba las estructuras modernas. De las 32 edificaciones sujetas a estudios y controles, cuatro fallaron totalmente, mientras el resto de ellas presentaron daños entre un 35% y 40%. “Son muchos daños para un sismo relativamente pequeño; vale la pena que el Estado tome muy en cuenta lo sucedido en Haití”, exhorta Yepes [14].

Los métodos y resultados presentados, dan una pauta sobre el grado de importancia que tienen los sismos en el país. Algunas acciones y medidas se han tomado, sin embargo, hay gran cantidad de edificaciones que carecen de criterios técnicos o que han seguido lineamientos constructivos básicos para afrontar o soportar esfuerzos como los de un sismo. La respuesta positiva o negativa de las estructuras (incluso de las convencionales), se determinará no solo por los materiales utilizados, sino también por cómo fueron construidos y qué consideraciones se adoptaron.

⁵ La distribución del número de sismos por encima de cierta magnitud, ocurridos dentro de un área específica y en una unidad de periodo, se conoce como ley de recurrencia (completitud) y se expresa en función de la relación frecuencia-magnitud de Gutenberg y Richter (1954) [13].

Tabla 3. Resumen de eventos sísmicos de importancia

Evento	Año	Latitud	Longitud	Provincia	Int. Máx.
1	1587	0	-78,4	Pichincha	VIII
2	1645	-1,68	-78,55	Chimborazo	IX
3	1674	-1,7	-78,8	Bolívar	VIII
4	1687	-1,1	-78,3	Tungurahua	VIII
5	1698	-1,45	-78,3	Tungurahua	IX
6	1736	-0,8	-78,8	Pichincha	VIII
7	1749	-4	-79,2	Loja	VIII
8	1755	-0,21	-78,48	Pichincha	VIII
9	1757	-1	-78,6	Cotopaxi	VIII
10	1786	-1,65	-78,7	Chimborazo	VIII
11	1797	-1,43	-78,55	Chimborazo	XI
12	1859	0,2	-78,5	Pichincha	VIII
13	1868	0,3	-78,2	Imbabura	IX
14	1868	0,6	-78	Carchi	VIII
15	1896	-0,5	-80,45	Manabí	IX
16	1906	1	-81,3	Esmeraldas	VIII
17	1911	-1,7	-78,7	Chimborazo	VIII
18	1913	-3,8	-79,4	Loja	VIII
19	1914	-0,5	-78,5	Pichincha	VIII
20	1923	-0,5	-78,5	Pichincha	VIII
21	1926	0,8	-77,9	Carchi	VIII
22	1929	-0,4	-78,55	Pichincha	VIII
23	1938	-0,3	-78,4	Pichincha	VIII
24	1942	0,01	-80,12	Manabí	IX
25	1949	-1,25	-78,37	Tungurahua	X
26	1953	-3,4	-80,6	Loja	VIII
28	1958	1,22	-79,37	Esmeraldas	VIII
29	1961	-2,2	-78,9	Chimborazo	VIII
30	1964	-0,84	-80,29	Manabí	VIII
31	1970	-3,79	-80,66	Loja	VIII
32	1976	0,85	-79,63	Esmeraldas	VIII
33	1987	-0,09	-77,81	Napo	IX
34	1995	-2,81	-77,95	Morona Santiago	VIII
35	1996	-1,05	-78,71	Cotopaxi	VIII
36	1998	-0,55	-80,53	Manabí	VIII

Fuente: [9]

El Ecuador posee un importante universo de construcciones desarrolladas con técnicas no convencionales, si solo analizamos el caso de Quito y su Centro Histórico con alrededor de 5.000 bienes inmuebles inventariados y de los cuales un 70% in-

cluye alguna de las técnicas citadas anteriormente, enfatiza la importancia de realizar estudios sobre el comportamiento y mejora de esta tipología tecnológica; sumado a esto nuestro país se ubica sobre una zona de alta presencia de eventos sísmicos. La importancia de mantener un legado declarado como patrimonio de la humanidad desde 1978 por la UNESCO, implica el desarrollo de estudios y análisis para la conservación de las estructuras existentes, pero también el planteamiento de mejoras al sistema constructivo, que faculte la continuidad de su utilización como solución habitacional frente a un sistema industrializado, cuyo valor preponderante es el económico, pero que sacrifica el paisaje cultural, compuesto por la herencia constructiva de los pueblos.

Materiales y metodología

El universo de estudio ha centrado su análisis en los proyectos y estudios desarrollados en América Latina, y específicamente en nuestro país cuyo principal referente es el Centro Histórico de Quito.

Los datos obtenidos de este análisis nos permite determinar conclusiones acerca del comportamiento de las estructuras no convencionales frente a eventos sísmicos, para lo cual se desarrolla un estudio descriptivo de la historia sísmica del Ecuador, acompañado de un estudio exploratorio sobre la incidencia de los sismos en estas tipologías y tecnologías, para finalmente establecer la correlación que existe entre las características físico mecánico de las estructuras, con su grado de penetración en el mercado durante los últimos 10 años.

Los parámetros de evaluación de daños por influencia de cargas sísmicas, en edificaciones con técnicas no convencionales, son medidos a través de la escala de intensidad macro sísmica Europea (EMS-98), para luego cotejarlos con la clasificación de daños en edificios desarrollada por Grüntal; lo que permite realizar el análisis de daños ante eventos sísmicos: fuertes, medianos y leves.

Resultados

Las técnicas no convencionales presentadas en este análisis, en el marco de la problemática planteada, implica realizar una evaluación de las características y resultados obtenidos de las tecnologías por separado. Por un lado el ferroc-

mento con sus cualidades físicas, económicas y constructivas, elementos como menciona Wainstok (2010), aplicables en cualquier parte del mundo, y cuyas características lo presentan como una opción altamente competitiva al momento de escoger un planteamiento estructural como parte de la propuesta arquitectónica.

Por otro lado tenemos las edificaciones y tecnologías cuyo elemento base es la tierra y dentro de las cuales se encuentran el adobe, el tapial y el terrocemento. Las limitaciones físicas que estos elementos poseen al someterlas a esfuerzos sísmicos, hace necesario el procurar desarrollarlas con elementos adicionales que mejoren su desempeño, aunque existen diferencias entre cada una de estas tecnologías siguen siendo insuficientes si las comparamos con el hormigón armado. Frente a estas consideraciones se yuxtapone una adicional. En el caso de las edificaciones cuyo componente es la tierra, especialmente en aquellas formadas por adobe y tapial, un gran porcentaje de estas forman parte del acervo cultural de las ciudades, pueblos y comunidades, como es el caso de los 5.000 bienes inmuebles del Centro Histórico de Quito, declarado por la UNESCO como patrimonio de la humanidad. Es importante incluir este factor en el análisis puesto que ya no es únicamente el factor económico y estructural a considerar (dependiendo del área de estudio), sino también el cultural y cómo este puede ser beneficiado o perjudicado con el desarrollo de las tecnologías.

La conservación de las edificaciones, junto con las tecnologías que las componen, forman parte de una de las dos ramas de los estudios realizado con la tierra. Por un lado el mantenimiento de las estructuras, sobre todo las patrimoniales, y por otro el desarrollo de elementos que permitan a las construcciones (sobre todo de adobe), soportar eventos sísmicos ha motivado el desarrollo de un gran número de estudios. Sin embargo, desde el punto de vista económico aún siguen sin poder competir con otras en las que procesos de industrialización han facilitado un desarrollo continuo, tal es el caso de los paneles de hormigón armado, una tecnología derivada del ferrocemento, que incorpora planchas de poliuretano en su composición, y que está presente sobre todo en el mercado inmobiliario en forma de divisores y tabiques.

El caso del ferrocemento amerita un análisis particular, las características tanto físicas como constructivas del material abren un abanico de opciones, que no solo destacan por la forma de reducir recursos en su ejecución, sino que han permitido concebir a los proyectistas formas y diseños, cuyo impacto en la sociedad ha calado.

Pero la versatilidad de las opciones permite el desarrollo de propuestas que han encontrado en la industrialización de los elementos un nicho.

Es el aspecto económico uno de los puntos fuertes de esta tecnología, por permitir bajar los costos de producción y de materia prima empleada, de esta forma alcanza resultados similares a los obtenidos con el hormigón armado, sin embargo, permite reducir tiempos de ejecución sin que conlleve dificultad o requiera de un personal calificado en su proceso de fabricación.

Este escenario permite visualizar un campo idóneo para el desarrollo de proyectos no solo de interés social, sino también para que pueda prepararse un proyecto de contingencia ante eventos sísmicos como el de Chile en el 2015, donde 610 damnificados y un millón de evacuados fue el resultado de un terremoto de magnitud 8,4 [15].

Las obras y estudios desarrollados dan fe de una técnica con muchas cualidades. En el Ecuador existen diversas empresas que se dedican a la fabricación de paneles prefabricados, para paredes, losas, etc. y que han encontrado sobre todo en proyectos inmobiliarios de mediana y gran escala su mercado objetivo.

Ventajas y desventajas de las técnicas no convencionales de construcción de edificaciones frente a un evento sísmico de intensidad baja, media y alta.

Para realizar el análisis del comportamiento de cada una de las tecnologías frente a un evento sísmico, sea este de magnitud baja, media y alta, es importante agrupar cada una de las escalas de intensidad sísmica presentada en el análisis (Tabla 4).

Tabla 4. Agrupación de los grados de daños en edificaciones de acuerdo al planteamiento del estudio

Clasificación de mampostería Grünthal	Intensidad según Mercalli	Intensidad daños en edificios analizada en el presente estudio
Grado 1	I II III	Intensidad Baja
Grado 2	IV V	
Grado 3	VI VII	Intensidad Media
Grado 4	VIII IX X	Intensidad Alta
Grado 5	XI XII	

Con base en la información anterior, la respuesta de las tecnologías no convencionales frente a un evento sísmico se representa de la siguiente forma:

Ferrocemento

Intensidad Baja.- Resiste los eventos sísmicos de intensidad baja, la característica del material a soportar esfuerzos de este tipo y mejor resistencia al microfisuramiento, permite que no se presenten daños en las estructuras de este tipo.

Intensidad Media.- Las estructuras facturadas con esta tecnología resisten eventos sísmicos de intensidad media. Dependiendo del nivel de intensidad del sismo pueden presentarse fisuras, pero sin que esto condicione la integridad estructural o colapse la estructura.

Intensidad Alta.- Puede presentarse desprendimientos de la estructura, sobre todo si no existe una estructura secundaria como nervaduras

Adobe

Intensidad Baja.- El comportamiento de la estructura en este grupo de sismos, puede presentarse a través de fisuramientos en los muros, estos daños no representan problemas o condicionan la estructura, se requiere de intervenciones menores.

Intensidad Media.- La carga sísmica en el grupo de sismo de intensidad media, causa problemas estructurales en la estructura de adobe, principalmente por la falta de cohesión entre muros, por la presencia de fisuras. Esto puede provocar el volteo de muros.

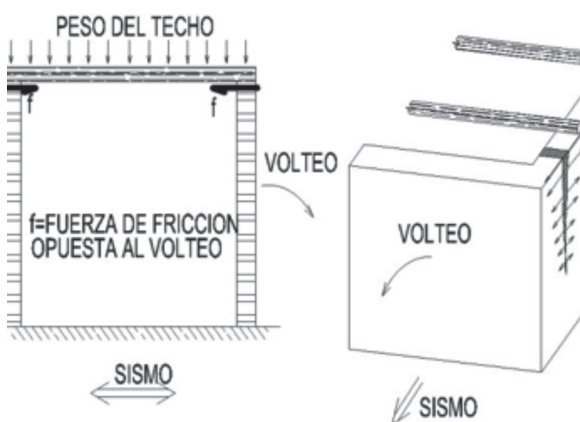


Figura 7. Esfuerzo en un evento sísmico [16].

En los sismos con mayor intensidad (VIII y IX), la estructura se encuentra comprometida, el nivel de daños la pueden llevar al colapso.

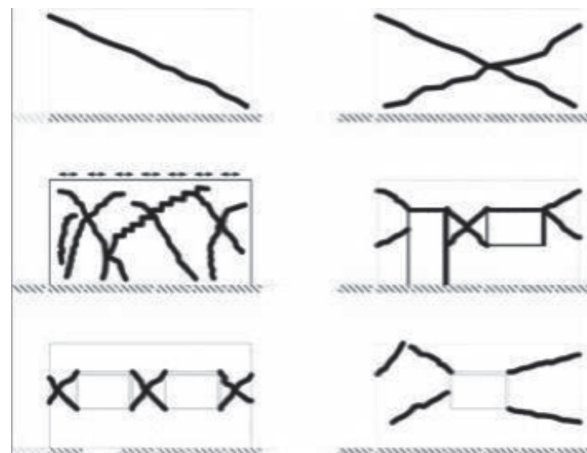


Figura 8. Representación gráfica de daños en muros de adobe [16].



Figura 9. Daños en muros de adobe por esfuerzos sísmicos [16].

La intervención para la conservación de la edificación debe ser inmediata y requiere de un apuntalamiento previo y medidas específicas y un mayor grado de conocimiento para consolidar la estructura y recuperar su condición físico - mecánica.



Figura 10. Daños en muros de adobe por esfuerzos sísmicos [16].

Intensidad Alta.- El nivel de resistencia de los muros de adobe ante sismos de intensidad alta es nula. La forma del colapso de las estructuras no permite que se tomen medidas para su salvaguarda, por la forma y agresividad de los esfuerzos.

El inmueble puede llegar a perderse por completo ante la presencia de este grupo de movimientos sísmicos, arriesgando la integridad de las personas que lo habitan.

Los estudios del comportamiento de la estructura de adobe a esfuerzos sísmicos, ha motivado el desarrollo de alternativas que favorezcan el mantenimiento de la técnica constructiva, y que permitan que esta pueda resistir las características de estos eventos.

El refuerzo con geomalla es precisamente una de las alternativas encontradas ya que sus resultados logran un mejor desempeño de los muros portantes de adobe, mejorando la resistencia de los mismos.



Figura 11. Ensayos en muros reforzados con geomalla [16].

Un reforzamiento adicional planteado por (Vargas Neumann, Torrealva & Blondet, 2007), consiste en la construcción de una viga collar armada sobre los muros y a los cuales las mallas son fijadas, previo al tarrajado⁶ [16].

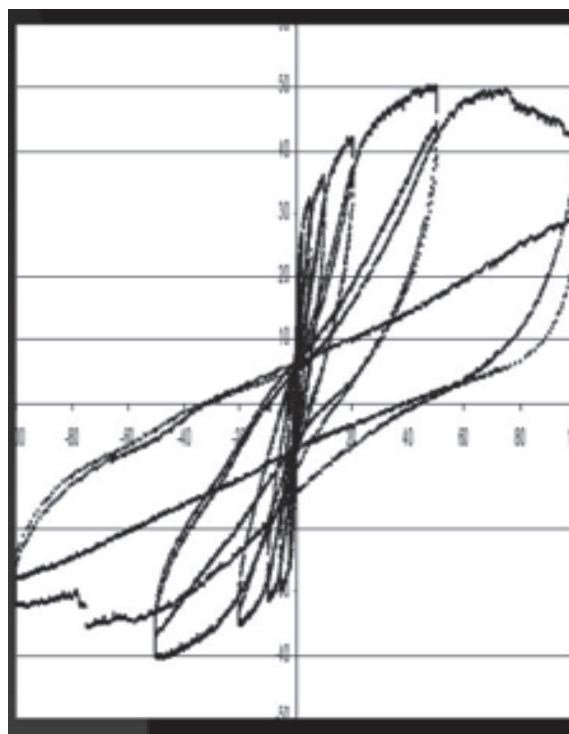


Figura 12. Resultados de esfuerzos en muro reforzado [16]

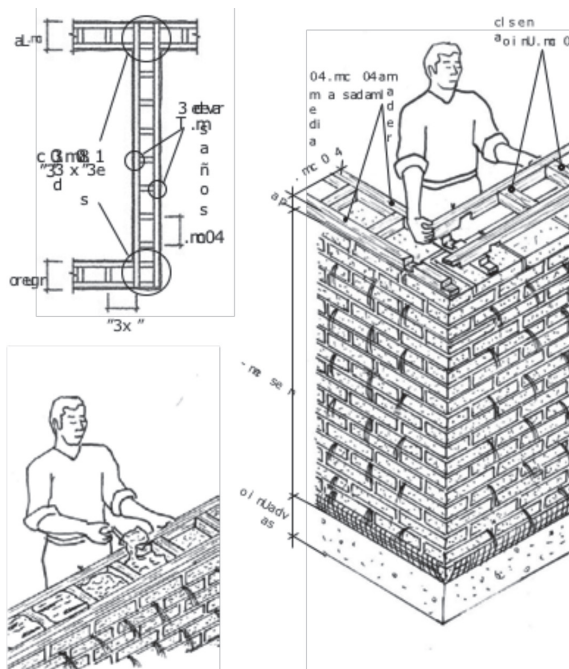


Figura 13. Armado de viga collar [17]

⁶ Según la Real Academia de la Lengua, se denomina tarrajear a la acción de enlucir la superficie.

El reforzamiento de los muros portantes de adobe permite evitar el colapso de las estructuras logrando un mayor grado de resistencia de los mismos.

Es importante mencionar que trabajos como el realizado por [16], no solo permiten el mejoramiento de la tecnología constructiva, sino también constituyen una herramienta para el constructor sea este maestro de obra, albañil o público en general. De esta forma se consigue difundir un adecuado proceso constructivo y que esté al alcance de todos, algo que servirá mucho sobre todo en zonas rurales del país; sin duda su réplica puede ser un aporte significativo a la comunidad.

Finalmente se puede concluir que hay factores intrínsecos, asociados a tecnologías como el adobe y tapial, estos factores culturales forman parte de la identidad de los pueblos. El desarrollo de las tecnologías permitirá no solo mantener un legado cultural, sino garantizar su aplicabilidad y sustento.

Tapial

El tapial es una tecnología constructiva, que guarda una relación con la actuación del adobe, sin embargo, los muros con tapial presentan un mejor comportamiento ante los esfuerzos sísmicos.

El confinamiento y la forma constructiva de los muros de tapial permiten el mejor desempeño de los mismos ante eventos sísmicos

Intensidad Baja.- No presentan mayores problemas, se observan daños superficiales, que pueden ser reparados sin la intervención específica de un técnico especializado.

Intensidad Media.- Se puede observar la presencia de fisuras, estructuralmente puede presentarse problemas que deben ser atendidos por un profesional especializado en el tema. Se recomienda el apuntalamiento inmediato de las estructuras.

Intensidad Alta.- Los esfuerzos sísmicos pueden provocar el colapso de las estructuras, el nivel de intervención es alto y se requiere de un personal técnico especializado para la consolidación de la estructura.

Terrocemento

El Terrocemento como tecnología cuyo material primario es la tierra, presenta mejores condiciones a la resistencia que las otras tecnologías (adobe, tapial), la presencia del cemento permite el

reforzamiento y mejoramiento del comportamiento ante un sismo, sin embargo los esfuerzos laterales presentes en estos eventos también causan problemas en estas estructuras, por lo que es necesario la incorporación de reforzamientos adicionales.

Intensidad Baja.- No se presentan problemas considerables en la estructura, el nivel de reparación es bajo y puede ser realizado por personal no especializado.

Intensidad Media.- Puede presentarse fisuras en las estructuras, se recomienda el apuntalamiento inmediato de las mismas. La reparación requiere de personal técnico especializado.

Intensidad Alta.- Se puede presentar el colapso de las estructuras, sin embargo el grado de resistencia en comparación al adobe y tapial es mayor, por lo que el comportamiento de la estructura al colapso no es en forma abrupta.

Grado de penetración en el mercado de la construcción de edificaciones con técnicas no convencionales, en los últimos 10 años.

Para realizar el análisis de penetración en el mercado de la construcción de edificaciones con técnicas no convencionales, en los últimos 10 años, es importante realizar una revisión del comportamiento del sector inmobiliario en los últimos años.

La política del Estado a través de un fondo de préstamos para promotores y clientes a través de BEV, MIDUVI, Banco del Pacífico y un programa de créditos hipotecarios a través del BIESS [1], ha permitido el desarrollo de proyectos inmobiliarios en los últimos años.

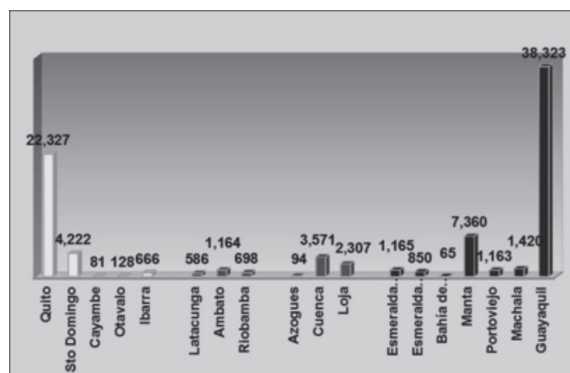


Figura 14. Oferta de unidades de vivienda, diciembre 2011.

Fuente: Market Watch, Visión Inmobiliaria 2012

(Market Watch Ecuador, 2015) ...en el nicho de viviendas de interés público, es decir de hasta USD 70.000, las ventas no se han frenado y es donde existe un mayor interés del comprador debido a los incentivos que rigen para el segmento como mayor plazo y menor tasa de interés.

Germán Carvajal, director del área inmobiliaria de MarketWatch, explicó que hoy se ofertan en el país 1.053 proyectos. De ellos, 10% corresponde al nicho de “segunda vivienda”, que es la vivienda recreativa y, en algunos casos, de inversión.

Más de 50% del total de la oferta del país se comercializa en Quito y Guayaquil... [18].

El interés de representar estos datos, está ligado a las ventajas de una de las tecnologías, el ferrocemento por sus ventajas económicas se ha utilizado en la construcción de embarcaciones, piscinas y viviendas. Una actualización del sistema tecnológico es muy común encontrarlo en proyectos inmobiliarios de gran escala (edificios de departamentos o conjuntos habitacionales), sobre todo en la ciudad de Quito.

La tecnología se compone de una malla electro soldada sobre una plancha de poliuretano, en la cual se coloca el hormigón. La placa resultante forma parte de un proceso industrial, utilizado en divisores de ambientes losas y fachadas.

La industria de los prefabricados sin embargo, no solo encuentra un nicho en los proyectos inmobiliarios, los proyectos de interés social y de emergencia ante eventos sísmicos ha permitido el desarrollo de programas con estas características.

En Chile por ejemplo como consecuencia del terremoto ocurrido en el 2010, el Gobierno chileno desarrolló un proyecto de vivienda denominado “Chile Unido

Reconstruye Mejor”, este proyecto tenía como objetivo la construcción de 1.500 viviendas (48 a 57 m²) en un mes, bajo normas y regulaciones antisísmicas, térmicas, acústicas y contraincendios.

En el caso de las construcciones con tierra los proyectos contienen un enfoque diferente. El mejoramiento estructural ha sido uno de los objetivos de los estudios desarrollados, la difusión de material que sirva para el mejoramiento de la tecnología constructiva, y que esté al alcance de cualquier persona sin que esta tenga un alto nivel de conocimiento ha sido el objetivo de cartillas, folletos y demás documentos difundidos sobre todo en ciudades como Perú, Chile y México. En el Ecuador se han desarrollado estudios y proyectos de rehabilitación de edificaciones con tierra, instituciones como el Instituto

Nacional de Patrimonio Cultural y el Instituto Metropolitano de Patrimonio, han llevado al frente estos proyectos, pero el enfoque ha sido la conservación y prevención del patrimonio edificado y sus tecnologías constructivas.

El ámbito cultural en las que las tecnologías cuyo componente es la tierra, está íntimamente ligado a la difusión y mantenimiento de esta tecnología, es cada vez más difícil sobre todo en un medio en el cual los procesos constructivos son parte de una industria que ha globalizado materiales y sistemas sin que estos representen mejores opciones económicas, pero al no tener mano de obra capacitada resultan ser las tecnologías conocidas como tradicionales las empleadas en la construcción de vivienda sobre todo en zonas rurales.

Discusión

Las edificaciones cuya base es la tierra, no llegan a obtener las mismas ventajas estructurales como el hormigón ante un evento sísmico, sin embargo, la conservación del patrimonio arquitectónico ha permitido el desarrollo de estudios que posibiliten la conservación de las edificaciones y de las técnicas constructivas que lo conforman.

Existe un considerable número de estudios realizados en América Latina para el mejoramiento de las estructuras con tierra, tecnologías que son amigables con el ambiente, pero sobre todo sustentables, donde el factor económico disminuye en comparación con el hormigón o ladrillo. La mano de obra calificada en la ejecución de proyectos con tierra, es una debilidad en la actualidad, ante un proceso de globalización, donde el abuso del hormigón y acero ha terminado por destruir la imagen de los pueblos y su cultura.

El mal llamado símbolo de progreso, representado por viviendas de bloque, hormigón y vidrio, ha condicionado la forma de vida del hombre y el entorno en el que se ubica, muchas veces desconociendo las bondades y ventajas de la construcción en tierra, interpretando como mejora económica el desarrollo de procesos industriales en técnicas importadas, y ajenas a la cultura e identidad de los pueblos.

El progreso de una ciudad también debe estar acompañado del mejoramiento en la calidad de vida para el que la ocupa, la aplicabilidad de estas técnicas en metrópolis no está fuera de contexto, es necesario desarrollar propuestas que planteen

alternativas a los proyectos comúnmente conocidos, en beneficio de sus habitantes y su legado.

Conclusiones

Las técnicas no convencionales (con excepción del ferrocemento), estructuralmente tienen limitaciones ante esfuerzos sísmicos; sin embargo, varios estudios han permitido el mejoramiento de sus cualidades a fin de contar con estructuras antisísmicas con base de tierra.

El Ecuador es un país con un alto nivel de presencia sísmica, sin embargo no se puede determinar que se encuentre preparado para resistir un evento sísmico fuerte. Esto se debe a la gran cantidad de vivienda informal, y a la falta de seguimiento y control, tanto de la construcción, como de los materiales empleados en su ejecución.

Los estudios desarrollados en países como Perú, Chile o México se han enfocado no solo en el mejoramiento de las técnicas constructivas con tierra, sino también en la difusión y accesibilidad a la información, el preparar mano de obra sobre todo en zonas rurales es un acierto no solo para mantener la técnica constructiva sino también para brindar una vivienda accesible y con las condiciones básicas de confort y seguridad. Este

es un proyecto que se puede aplicar en nuestro país, como parte de las medidas para alcanzar el buen vivir.

En el caso del ferrocemento se aprovecha de esta tecnología para el planteamiento de soluciones emergentes y que formen parte de procesos industriales, para abastecer una demanda generada por un evento no planificado como es el caso de un terremoto o la reubicación de un poblado por actividad volcánica. Se estima que puede formar parte de un proyecto de contingencia ante cualquiera de estos eventos naturales, cuya presencia requiere de medidas emergentes y sobre las cuales aún no se han trabajado o propuesto soluciones sustentables.

En los últimos 10 años no se ha podido ubicar proyectos inmobiliarios en el país donde las construcciones con técnicas no convencionales aparezcan como una opción en el mercado inmobiliario. Quito y Guayaquil son las ciudades con más desarrollo en proyectos inmobiliarios, sin embargo no todas las soluciones habitacionales cuentan con las condiciones y calidad necesarias. Es importante marcar un punto de inflexión acerca de los productos que se ofertan en el mercado y del mismo modo a los que se accede con el fin de alcanzar el necesario y tan anhelado hogar.

Bibliografía

- [1] Alemán, F., Armijos, J., & Ordeñana, X. (2016). *Análisis y evolución de los costos de los principales insumos del sector de la construcción en el Ecuador en el período 2004–2011*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Retrieved 28 February 2016, from http://www.espae.espol.edu.ec/images/documentos/publicaciones/reportes_investigacion/costos_construccion.pdf
- [2] Barros, L., & Imhoff, F. (2010). Resistencia sísmica del suelocemento post tensado en construcciones de baja complejidad geométrica. *Revista de la Construcción*, 9(2), 26-38. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-915x2010000200004>
- [3] Calero, C. (2016). 12 muertos y un millón de evacuados tras un terremoto de magnitud 8,4 en Chile. *El Mundo*. Retrieved 18 February 2016, from <http://www.elmundo.es/internacional/2015/09/17/55f9fd74268e3edc718b45c4.html>
- [4] Cooperativa.cl. (2016). *Aprenda a utilizar la escala Mercalli y Richter de sismos*. Retrieved 22 February 2016, from <http://www.cooperativa.cl/noticias/pais/sismos/aprenda-a-utilizarla-escala-mercalli-y-richter-de-sismos/2010-03-03/173638.html>
- [5] El Universo (2010). *El país registra alto riesgo de vulnerabilidad sísmica*. Retrieved 15 February 2016, from <http://El país registra alto riesgo de vulnerabilidad sísmica - Ecuador - Noticias | El Universo>
- [6] Izquierdo, A. (1999). *Intensidad macrosísmica*, Instituto Geográfico Nacional, Madrid. Informe.
- [7] Silva, W. (2010). *Construcción de casas sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas*. Retri-

- ved 27 february 2016, from
<http://www.pucp.edu.pe/documento/publicaciones/construccion-decasas-saludables-y-sismo-resistentes-de-adobe-reforzado-zona-de-lasierra.pdf>
- [8] Loreto, J. (2012). Arquitectura de tierra en Sonora. *Estudios sobre arquitectura y urbanismo del desierto*, 4(4), 12, 15, 21, 23, 25, 26. Retrieved from
<http://www.dad.uson.mx/esaud4.pdf>
- [9] Magnitud de un sismo Cálculo de la magnitud. (2016). Retrieved 24 February 2016, from
<http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-unsismo.pdf>
- [10] Market Watch Ecuador. (2015). *1.046 planes de vivienda se construyen en Ecuador*. Retrieved 28 February 2016, from <http://marketwatch.com.ec/2015/11/1-046-planes-de-vivienda-se-construyen-en-ecuador/>
- [11] Metrodequito.gob.ec. (2016). *Estudio de impacto ambiental. Metro de Quito*. Retrieved 21 February 2016, from
<http://www.metrodequito.gob.ec/metro.php?c=1353>
- [12] Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2016). *Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras*. Retrieved 15 February 2016, from
[http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_R_E_\(Riesgo_sismico\).pdf](http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_R_E_(Riesgo_sismico).pdf)
- [13] Pesantes Rivera, M., & González Aguirre, I. (2011). *Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar*. Quito: INPC.
- [14] Press, F. (1984). Proceedings of the 8th World Conference on Earthquake Engineering. Retrieved 24 February 2016, from
[http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/18\(2\)0115.pdf](http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/18(2)0115.pdf)
- [15] Singaicho, J. (2009). *Mapa de máximas intensidades sísmicas del Ecuador. Criterios estructurales para mejorar la estimación de intensidades* (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional.
- [16] Vargas Neumann, J., Torrealva, D., & Blondet, M. (2007). *Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas* (p. 26). Perú: Biblioteca Nacional del Perú.
- [17] Wainshtok, H. (2010) (4th ed., pp. 2, 3, 4, 5, 16, 17, 35, 62, 63, 168). Riobamba: La Fabrika Comunicación Integral.
- [18] Www4.tecnun.es. (2016). Escala M.S.K.. Retrieved 3 March 2016, from
<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/08RiesgN/111EscMSK.htm>