

DESCRIPCIÓN

a. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS ECO-AMIGABLES CONFORMADAS POR MÓDULOS DE BOTELLAS DE PLÁSTICO (PET) VERTICALES, RELLENAS DE ARENA Y REFORZADAS CON ACERO CORRUGADO Y MALLA ESLABONADA

b. **Sector Tecnológico:** La presente invención se enmarca en el sector de la ingeniería civil y la construcción sostenible, particularmente en sistemas constructivos estructurales para vivienda que emplean materiales reciclados como elementos portantes.

c. **Tecnología anterior:**

A partir del documento WO2022024158A1, se conoce una invención denominada *"BRICK COMPOSED OF RECYCLED MATERIAL AND FILLED WITH RECYCLED PET PLASTIC BOTTLES THAT CAN BE EXTRACTED FOR FUTURE RECYCLING"*, la cual describe un ladrillo compuesto por una matriz cementante que incluye cemento y otros residuos, dentro del cual se disponen botellas de plástico PET rellenas con materiales como espuma de poliuretano. Dichas botellas son incorporadas como elementos internos del ladrillo, con el propósito de mejorar propiedades como la ligereza y el aislamiento térmico y acústico, manteniendo condiciones de reciclabilidad.

A partir del documento RU2634136C1, se conoce una invención denominada *"CONSTRUCTION BLOCK"*, que describe bloques de construcción de hormigón poliestireno que incluyen cavidades internas conformadas por botellas de PET o materiales similares, dispuestas como elementos huecos dentro del bloque, con funciones principalmente asociadas al aislamiento térmico y reducción de peso.

A partir del documento JP2002021043A, se conoce la invención denominada *"BLOCK FOR CIVIL ENGINEERING WORKS"*, que describe bloques para obras civiles conformados por un cuerpo principal en forma de caja que incorpora materiales plásticos reciclados, incluyendo botellas de PET, los cuales son transformados en fibras mediante procesos térmicos, con el fin de optimizar el uso de materiales de desecho y reducir costos de construcción.

A partir del documento CZ20014071A3, se conoce la invención denominada *“PREFABRICATED ELEMENT OF PERIMETER MASONRY, PARTICULARLY FOR DRY STONE WALLING”*, que describe elementos prefabricados de mampostería con cavidades verticales internas en forma de botella, obtenidas a partir de botellas de PET moldeadas, las cuales quedan integradas dentro del elemento constructivo como vacíos estructurados.

A partir del documento RO126953A2, se conoce la invención denominada *“MODULAR CONSTRUCTION ELEMENT”*, que describe elementos modulares conformados por contenedores plásticos rellenos con materiales de construcción, atravesados por varillas metálicas y conectados mediante elementos de unión, permitiendo la conformación de estructuras modulares ensamblables.

A partir del documento CN212331390U, se conoce la invención denominada *“ENVIRONMENT-FRIENDLY REGENERATED BRICK”*, que describe un ladrillo ecológico compuesto por materiales reciclados, incluyendo botellas PET y residuos, destinado a funciones de cerramiento, aislamiento térmico y absorción de impactos, mediante el aprovechamiento de materiales de desecho.

A partir del documento MX2007/009910A, se conoce la invención denominada *“SISTEMA CONSTRUCTIVO A PARTIR DE BLOQUES DE PLÁSTICO”*, que describe bloques plásticos huecos con medios de acoplamiento entre sí, que permiten la conformación de paneles constructivos reforzados mediante el uso de varillas, facilitando la construcción de estructuras ligeras.

A partir del documento MX2009/004754A, se conoce la invención denominada *“PROCESO DE FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN”*, que describe un proceso de fabricación de bloques a partir de materiales reciclados, incluyendo plásticos como el PET, los cuales son compactados y recubiertos con materiales resistentes para su uso en construcción.

d. Descripción:

En el estado de la técnica se conocen diversas soluciones constructivas que incorporan materiales reciclados, particularmente botellas de plástico PET, dentro de elementos de construcción. Sin embargo, dichas soluciones presentan

limitaciones técnicas que impiden su utilización como sistemas estructurales portantes en edificaciones, especialmente bajo condiciones de cargas verticales y solicitaciones sísmicas.

En particular, se identifican las siguientes limitaciones:

Tecnologías que emplean botellas PET como elementos de relleno o aligeramiento presentan vacíos internos o discontinuidades, lo que impide la transmisión continua de cargas y limita su uso como elementos estructurales (por ejemplo, RU2634136C1, CZ20014071A3).

Soluciones que integran materiales reciclados sin refuerzo estructural metálico presentan baja ductilidad, lo cual compromete su desempeño ante solicitaciones sísmicas, al no contar con capacidad de disipación de energía (por ejemplo, JP2002021043A).

Algunos desarrollos están orientados únicamente a funciones de cerramiento o aislamiento, por lo que carecen de capacidad autoportante y estabilidad estructural, al no estar diseñados como sistemas portantes (por ejemplo, WO2022024158A1, CN212331390U, MX2009/004754A).

Otros sistemas modulares no garantizan una adecuada transmisión vertical de cargas ni interacción estructural entre sus componentes, debido a la ausencia de un sistema de confinamiento y refuerzo que integre los materiales en un comportamiento estructural conjunto (por ejemplo, RO126953A2).

En consecuencia, el problema técnico que se plantea consiste en desarrollar un procedimiento constructivo que permita utilizar botellas de plástico PET recicladas como parte de un sistema estructural portante, configurado para transmitir cargas verticales de manera continua, garantizar estabilidad estructural y proporcionar un comportamiento dúctil adecuado frente a solicitaciones sísmicas, sin requerir procesos industriales complejos ni materiales de alto impacto ambiental.

La presente invención resuelve el problema técnico planteado mediante un procedimiento constructivo que define una configuración estructural integrada, en la cual botellas de plástico PET, material granular, refuerzo metálico y concreto actúan conjuntamente como un sistema compuesto capaz de soportar cargas y responder adecuadamente ante solicitaciones estructurales.

En particular, la invención contempla el uso de botellas de plástico PET rellenas con material granular compactado, el cual es introducido en capas sucesivas y compactado manual o mecánicamente, con el fin de reducir vacíos internos y permitir que dichas botellas participen efectivamente en la transmisión de cargas, superando así las limitaciones de sistemas que presentan cavidades o inclusiones no estructurales.

Asimismo, las botellas son dispuestas en posición vertical y agrupadas en módulos estructurales, lo cual permite establecer una trayectoria continua de transmisión de

cargas en dirección vertical, superando las configuraciones del estado del arte que no garantizan continuidad estructural.

De manera complementaria, se incorpora una varilla de acero corrugado dispuesta axialmente dentro de los módulos, la cual actúa como elemento de refuerzo estructural, proporcionando resistencia a tracción, estabilidad lateral y capacidad de disipación de energía, resolviendo las deficiencias de ductilidad identificadas en soluciones que carecen de refuerzo metálico.

Adicionalmente, el conjunto es confinado mediante malla metálica, lo que permite mantener la integridad geométrica del módulo y favorecer la interacción entre los materiales, logrando que el sistema funcione como un elemento estructural integrado. Posteriormente, el sistema es dispuesto dentro de un encofrado y se incorpora un concreto hidráulico, con una resistencia aproximada de 21 MPa, el cual rellena los espacios intersticiales y consolida un elemento estructural continuo, superando la falta de interacción estructural presente en sistemas modulares no confinados.

Se ha identificado que la dosificación del concreto empleado influye directamente en el desempeño del sistema, particularmente en la trabajabilidad de la mezcla, la capacidad de llenado de vacíos y la adherencia entre los componentes, factores que inciden en la integridad estructural del elemento resultante.

Como consecuencia de la configuración descrita, se logra una transmisión continua y eficiente de cargas verticales, así como un comportamiento con capacidad de deformación controlada y disipación de energía, asociado a la acción conjunta del refuerzo metálico y el confinamiento, permitiendo la conformación de elementos equivalentes a columnas, vigas y muros portantes aptos para su uso en edificaciones.

El efecto técnico obtenido consiste en la integración funcional de materiales reciclados dentro de un sistema estructural portante que combina resistencia a la compresión y comportamiento dúctil, lo cual no se encuentra descrito ni sugerido en el estado de la técnica.

Para validar el desempeño del sistema, se construyó un prototipo de vivienda utilizando el procedimiento descrito, el cual fue sometido a cargas verticales de aproximadamente 175 kg/m², superando el valor de referencia de 125 kg/m² establecido para cubiertas según la normativa colombiana NSR-10, sin evidenciar fallas estructurales, lo que confirma la viabilidad del sistema como elemento estructural portante.

e. Descripción detallada del invento

El procedimiento inicia con la preparación de botellas de plástico PET, las cuales se acondicionan para su llenado con un material granular que presenta características de estabilidad, inercia y capacidad de compactación. El llenado se realiza en capas sucesivas mediante la incorporación fraccionada del material granular, ejecutando después de cada adición un proceso de compactación mediante la inserción repetida de un elemento rígido, aplicando golpes controlados hasta reducir los vacíos internos.

La compactación del material granular constituye una condición necesaria para el adecuado desempeño estructural del sistema, en la medida en que incrementa la densidad interna del conjunto y mejora su capacidad para resistir cargas de compresión.

La presencia de vacíos o una compactación insuficiente genera discontinuidades internas que afectan la rigidez del sistema y reducen su capacidad estructural, comprometiendo la transferencia de cargas dentro del elemento.

Una vez preparadas, las botellas se agrupan en módulos estructurales mediante la disposición de cuatro unidades en configuración adyacente, conformando un conjunto estable que favorece la estabilidad geométrica y la distribución uniforme de cargas dentro del sistema estructural.

Esta configuración modular permite el confinamiento del material granular y facilita su interacción con el concreto y los elementos de refuerzo, de manera que las botellas rellenas participan activamente en el comportamiento estructural del conjunto.

Los módulos se disponen en sentido vertical para la conformación de columnas y muros, siendo atravesados axialmente por al menos un elemento de refuerzo metálico longitudinal y recubiertos con una malla metálica que actúa como elemento de confinamiento, mejorando la adherencia entre los componentes y contribuyendo a la integridad del sistema.

Esta disposición permite que el conjunto resultante funcione como un elemento estructural portante, y no como un sistema de relleno o cerramiento.

Posteriormente, se dispone un encofrado alrededor del sistema y se vierte concreto hidráulico en estado fluido, el cual penetra en los espacios intersticiales entre las botellas y los elementos de refuerzo, generando una matriz continua. La capacidad del concreto para llenar dichos espacios constituye un factor determinante para la formación de un elemento estructural monolítico capaz de transmitir cargas de manera eficiente.

La mezcla de concreto empleada comprende cemento, agregados finos y gruesos, agua y al menos un aditivo plastificante reductor de agua. La dosificación de estos componentes constituye un parámetro técnico crítico del procedimiento, en tanto controla simultáneamente la trabajabilidad de la mezcla y su capacidad para penetrar los espacios internos del sistema, permitiendo la formación de una matriz cementante continua que integra los componentes en un solo elemento estructural.

En una realización del procedimiento, la mezcla de concreto comprende aproximadamente 382.2 kg de cemento por cada metro cúbico de concreto preparado, aproximadamente 949.9 kg de agregado grueso y aproximadamente 810.5 kg de agregado fino por metro cúbico, junto con aproximadamente 142.5 kg de agua y aproximadamente 3.05 kg de aditivo plastificante reductor de agua por metro cúbico de mezcla.

El proceso de mezclado se realiza de manera secuencial, incorporando inicialmente el cemento, los agregados gruesos y finos junto con una fracción del aditivo plastificante, efectuando una mezcla homogénea hasta la eliminación de grumos, y posteriormente adicionando el agua junto con la fracción restante del aditivo plastificante, continuando el mezclado hasta obtener una consistencia uniforme que permita la adecuada colocación del concreto.

El sistema presenta un comportamiento estructural adecuado cuando la dosificación de la mezcla se mantiene dentro de un rango que conserva simultáneamente la trabajabilidad y la capacidad de penetración en los espacios intersticiales del sistema, permitiendo la formación de una matriz continua alrededor de los módulos.

Cuando dichas condiciones no se cumplen, se presentan fenómenos como la formación de vacíos internos, pérdida de adherencia entre componentes, segregación de la mezcla o disminución de la resistencia mecánica, lo que afecta el desempeño estructural del conjunto.

En particular, un incremento en el contenido de agua reduce la resistencia del concreto endurecido y favorece la segregación, mientras que una disminución del contenido de cemento afecta la capacidad portante del sistema.

De igual forma, una mezcla con baja trabajabilidad impide el llenado completo del encofrado, generando discontinuidades estructurales que comprometen la integridad del elemento.

La dosificación y el método de mezclado descritos influyen directamente en la capacidad del concreto para llenar completamente los intersticios entre los componentes del sistema, lo cual resulta determinante para la adecuada transferencia de cargas entre el material granular compactado, el refuerzo metálico y la matriz cementante.

Una vez vertido el concreto, se permite su fraguado hasta alcanzar la resistencia requerida, conformándose un elemento estructural integrado en el que interactúan el material granular, el refuerzo metálico y el concreto, generando un comportamiento mecánico conjunto.

El procedimiento puede extenderse a la conformación de muros y vigas de amarre mediante la disposición continua de los módulos y la aplicación del mismo proceso de encofrado y vertido de concreto, manteniendo las condiciones técnicas descritas.

Como ejemplo de realización, el sistema constructivo ha sido evaluado mediante ensayos experimentales y modelación numérica, evidenciando que la configuración descrita permite alcanzar un comportamiento estructural estable bajo condiciones de carga.

Los resultados obtenidos muestran un índice de seguridad estructural (ISE) de 0.51 y un índice de falla (IFL) de 0.045, lo que evidencia un desempeño adecuado dentro de los rangos aceptables para estructuras de baja altura.

Estos resultados se derivan de la interacción entre la compactación del material granular, el confinamiento proporcionado por la malla metálica y el refuerzo axial, así como de la adecuada dosificación del concreto, la cual permite la formación de una matriz continua y la transferencia efectiva de cargas entre los componentes del sistema.

El comportamiento obtenido evidencia que el sistema no corresponde a una simple agregación de materiales, sino a una configuración estructural funcional con comportamiento mecánico verificable, en la cual cada una de las características técnicas descritas contribuye al desempeño global del sistema.

En contraste con el estado de la técnica, en el cual las botellas de plástico se emplean como elementos de cerramiento no estructural o como inclusiones para aligeramiento sin función portante, el procedimiento descrito permite que las botellas rellenas actúen como parte activa del sistema estructural, contribuyendo a

la resistencia y estabilidad del conjunto mediante su interacción con el concreto y los elementos de refuerzo.

En consecuencia, la invención define un procedimiento constructivo que establece condiciones específicas de compactación, configuración modular, refuerzo estructural y dosificación del concreto, cuya interacción permite obtener un sistema estructural portante con comportamiento mecánico verificable, diferenciándose de manera sustancial del estado de la técnica.