



# REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN VIVIENDAS ADOSADAS MEDIANTE RECUBRIMIENTO DE MAMPOSTERÍA CON MALLA ELECTROSOLDADA Y MORTERO

## STRUCTURAL REINFORCEMENT IN TOWNHOUSES BY COVERING MASONRY WITH WELDED MESH AND MORTAR

Cristhian, Castillo Robles<sup>1</sup>, Jonny, Castillo<sup>2</sup>, Patricio, Placencia Andrade<sup>3</sup>; Luis Tinerfe, Hernández Rodríguez<sup>4</sup>,  
Melisa, Herrera<sup>5</sup>; Christian, Gómez<sup>6</sup>

Recibido 28/01/2022: Aprobado: 23/05/2022

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica232.5>

### RESUMEN

En la investigación que aquí se presenta se evaluó el comportamiento estructural de dos viviendas adosadas construidas de manera informal, las cuales mostraban diversos problemas estructurales como: golpeteo, columnas cortas y discontinuidad de columnas; se determinaron las propiedades mecánicas de los materiales y de suelo por medio de ensayos in situ y de laboratorio. Posteriormente, se realizó el análisis mediante modelos matemáticos, mismos que se calibraron con periodos tomados de vibraciones ambientales. En esta etapa se encontró que las estructuras no exhibían un comportamiento adecuado para resistir fuerzas gravitacionales y sísmicas, por lo que se propuso el reforzamiento de ambas estructuras por medio del enchape de mampostería, además se planteó unir ambas viviendas a nivel de losa con placas metálicas para eliminar el problema del golpeteo. Finalmente, se evaluó el reforzamiento propuesto y se evidenció que el enchape rigidizó las estructuras permitiendo que estas cumplan con los requisitos establecidos por la normativa vigente a bajo costo.

**Palabras clave:** enchape de mampostería; viviendas adosadas; mampostería recubierta; malla electrosoldada

<sup>1</sup>Cristhian, Castillo Robles. Pasante del Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador. Correo: [cristhian.castillo@epn.edu.ec](mailto:cristhian.castillo@epn.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5986-6795>

<sup>2</sup>Jonny, Castillo. Pasante del Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador. Correo: [jonny.castillo@epn.edu.ec](mailto:jonny.castillo@epn.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8541-9470>

<sup>3</sup>Patricio, Placencia Andrade. Docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador. Correo: [patricio.placencia@epn.edu.ec](mailto:patricio.placencia@epn.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9653-372X>

<sup>4</sup>Luis Tinerfe, Hernández Rodríguez. Ingeniero Civil. Phd. Director del Centro de Investigación de la Vivienda. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. Correo: [luis.hernandezr@epn.edu.ec](mailto:luis.hernandezr@epn.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5805-9318>

<sup>5</sup>Melisa, Herrera. Especialista del Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador. Correo: [melisa.herrera@outlook.es](mailto:melisa.herrera@outlook.es) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0300-0383>

<sup>6</sup>Christian, Gómez. Coordinador Técnico del Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador. Correo: [christian.gomez@epn.edu.ec](mailto:christian.gomez@epn.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5017-4629>

## ABSTRACT

In the research presented here, the structural behavior of two semi-detached houses built informally was evaluated, which showed various structural problems such as knocking, short columns and column discontinuity. The mechanical properties of the materials and soil were determined by means of in situ and laboratory tests. Subsequently, the analysis was carried out using mathematical models, which were calibrated with periods taken from environmental vibrations. At this stage, it was found that the structures did not exhibit adequate behavior to resist gravitational and seismic forces, so the reinforcement of both structures by means of masonry veneer was proposed; in addition, it was proposed to join both houses at the slab level with metal plates. To eliminate the knocking problem. Finally, the proposed reinforcement was evaluated and it was shown that the veneer stiffened the structures allowing them to meet the requirements established by current regulations at low cost.

**Keywords:** *masonry veneer; semi-detached houses; coated masonry; welded mesh*

## 1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país que se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo cual, es una región altamente sísmica donde se produce un gran número de sacudidas al año, el país tiene una alta vulnerabilidad estructural, por tal motivo, se han tenido numerosas pérdidas humanas y estructurales. Dentro de las patologías estructurales, el golpeteo es uno de los problemas más recurrentes que elevan la vulnerabilidad de las estructuras [1]; se ha observado que viviendas adyacentes o con espaciamiento insuficiente chocan entre sí, este problema puede hacer que una casa sufra más daños que la otra, e incluso producir el colapso de esta.

Arphita y Umadevi [2] evaluaron la respuesta sísmica de dos estructuras adyacentes una de 4 plantas y otra de 7, mediante análisis lineal y no lineal, determinaron que dos edificios con diferentes propiedades dinámicas vibran fuera de fase lo que provoca daños por golpeteo. Este fenómeno se evidenció en el terremoto de Pedernales en 2016, donde ciudades como Guayaquil, Pedernales, Portoviejo mostraron el colapso parcial o total de viviendas debido al impacto entre estructuras [3]. A esto hay que sumar la construcción informal, la mayoría de las viviendas en el país han sido construidas sin el seguimiento de una normativa y sin supervisión técnica ni de calidad [4]. Por ello la importancia de realizar investigaciones de esta patología y tener claro la necesidad de reforzar las estructuras.

## 2. DESARROLLO

El enchape de paredes es una alternativa de reforzamiento que consiste en envolver la pared de mampostería con malla electrosoldada, anclarla por medio de conectores al pórtico de hormigón armado y a su vez, sujetarla con grapas o chicotes a la pared, luego recubrir una o ambas caras de la pared reforzada con mortero [5]. Este sistema permite reforzar con malla de acero la pared de mampostería existente, cambiando su función de división arquitectónica a

un elemento con capacidad estructural, a fin de brindar mayor soporte a los pórticos ante cargas laterales y fortalecer la estructura, además, la ventaja de realizar este tipo de reforzamiento es que no se necesita de mano de obra calificada pues su proceso constructivo es de fácil ejecución y los materiales necesarios se consiguen también con facilidad, por lo que representa una alternativa económica en su aplicación [6].

Varias investigaciones se han realizado en Latinoamérica sobre el uso de malla de alambre recubierta con mortero como técnica de rehabilitación teniendo grandes resultados, Delfin *et al.* [7] evaluaron muros rehabilitados con malla electrosoldada y evidenciaron que la resistencia con malla en ambas caras de la pared era 2,1 veces la de un muro original, mientras que uno rehabilitado en una sola cara resistía en 1,35 veces. De acuerdo con Ruiz y Alcocer [8] este esquema de recuperación permite incrementar la capacidad ante cargas laterales, disminuir la tasa de deterioro de la rigidez lateral y aumentar la capacidad de desplazamiento en estructuras de mampostería confinada con daño leve.

En Ecuador se han desarrollado varias investigaciones con el sistema de enchape, Fernández y Paredes [9] evaluaron la efectividad de este sistema estructural en un prototipo de dos pisos con bloques de hormigón artesanal hueco mediante la aplicación de cargas laterales, obteniendo como resultado que la resistencia del sistema superó el 100% de su peso. Por su parte, Albuja y Pantoja [10] realizaron un estudio mediante ensayos destructivos en el cual se tenía un panel de relleno simple, y uno de relleno reforzado con enchape, de acuerdo con los resultados obtenidos se pudo verificar para el último caso que la energía que disipa un panel fortalecido representa seis veces más la energía disipada por uno de relleno simple, debido a la capacidad y flexibilidad que aporta la malla electrosoldada, aumentando su rigidez en un 354%. Así mismo, Ochoa y Ulcuango [11], Borja y Torres [12], Estrada y Vivanco [13], Cuasqui y Merizalde [14] desarrollaron el análisis de estructuras de hormigón armado construidas de manera informal, determinando que el enchape de mampostería es muy efectivo para tal caso porque puede fortalecer y aligerar el pórtico, lo que representa una solución a nivel estructural.

Con el fin de corregir los problemas de golpeteo comunes en estructuras adyacentes construidas de manera informal, evitando daños estructurales y no estructurales ante sismos de diferente magnitud que pueden ocurrir durante la vida útil de las estructuras; la presente investigación evaluó el comportamiento sísmico resistente de dos viviendas adosadas reforzadas con el sistema de enchape y con la unión a nivel de losas mediante placas metálicas. Para lo cual, se parte del análisis del estado actual de las viviendas y

posteriormente se propuso el reforzamiento con una adecuada configuración de enchape de paredes y su presupuesto referencial, para tener en cuenta el máximo beneficio al menor costo para las dos construcciones.

### 3. METODOLOGÍA

Para el presente estudio se seleccionaron dos viviendas adosadas construidas de manera informal (Figura 1) con un área total de 375 m<sup>2</sup>. Presentan un sistema porticado de vigas banda y columnas de hormigón armado rellenas con paredes de mampostería de bloque, de acuerdo con la práctica común en la industria de la construcción ecuatoriana.



Figura 1. Viviendas adosadas en estudio. Fuente: los autores

#### 3.1. Levantamiento de Información

Como primer paso se realizó el levantamiento de datos in situ, con el fin de determinar la distribución arquitectónica, secciones, armado de elementos y patologías que presentan las viviendas. Se encontró que las losas de ambas construcciones tienen un desfase de 20 cm, por lo cual se presenta el golpeteo de losa-columna.



Figura 2. Patologías encontradas: a) Golpeteo, b) Discontinuidad de elementos, c) Columna corta, d) Irregularidad en planta, e) Deficiente proceso constructivo. Fuente: los autores.

Otras patologías encontradas fueron: columnas cortas, discontinuidad de columnas, irregularidad en planta y deficiente proceso constructivo, como se muestra en la Figura 2. Por otro lado, se determinó que las secciones y armado de columnas y vigas eran insuficientes para cumplir con los mínimos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-SD) [15].

### 3.2. Ensayos Realizados

Se realizaron ensayos en campo y de laboratorio para obtener las propiedades mecánicas de los materiales que conforman las dos viviendas, así como el tipo de suelo, adicionalmente, se tomaron mediciones de vibraciones ambientales para obtener el periodo fundamental de las estructuras. Estos ensayos se ejecutaron bajo las regulaciones actuales de las normas, éstos y sus resultados se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Ensayos in situ y de laboratorio. Fuente: los autores

Descripción	Resultados	Referencia/ Norma
<b>Suelo</b>		
Tipo de suelo	(ML)	ASTM D2487 [16]
Cohesión	0,06 MPa	ASTM D2850 [17]
Ángulo de Fricción	34,61°	ASTM D2850 [17]
Esfuerzo Admisible	0,18 MPa	Das (2013) [18]
<b>Estructura</b>		
$T_0$ (Estructura A)	0,27s	Parra and Sarango [19]
$T_0$ (Estructura B)	0,27s	Parra and Sarango [19]
$f'_c$ (Estructura A)	7,62MPa	ASTM C805/C805M [20]
$f'_c$ (Estructura B)	11,11MPa	ASTM C805/C805M [20]

ML: Suelo de grano fino limoso

$T_0$ : Periodo fundamental

$f'_c$ : Resistencia a la compresión del hormigón

### 3.3. Modelación del Estado de las Viviendas

Para la evaluación del estado de las viviendas, se realizaron modelos matemáticos de las construcciones tanto individuales como adosadas, para analizar el comportamiento independiente y en conjunto, con el fin de tener lo más cercano a la realidad y poder calibrar los modelos. Para representar el adosamiento se utilizaron elementos de enlace *Link-GAP* que trabajan sólo a compresión a los cuales se les asignaron propiedades lineales tipo resorte de acuerdo con el Computers and Systems, Inc. (CSI) [21], este efecto resorte se logra a través de

una rigidez efectiva  $K$  que se obtiene con la ecuaciones 1 y 2 [2].

$$K = \frac{E \cdot A_I}{L} \quad (1)$$

$$A_I = W_I \cdot t \quad (2)$$

Donde:

$K$  representa la rigidez no lineal en  $T/m$

$E$  el módulo de elasticidad en  $T/m^2$

$AI$  la sección transversal en  $m^2$

$L$  la longitud del vano en m

$WI$  el ancho medio del elemento en m

$t$  el espesor de la losa en m (Figura 3).

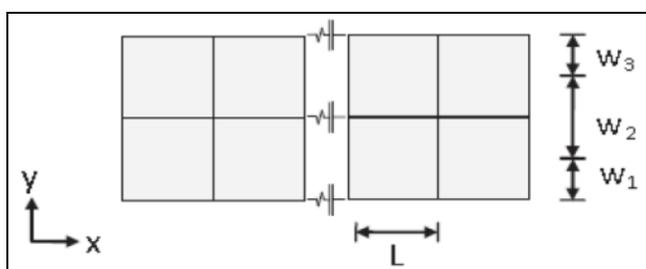


Figura 3. Rigidez efectiva  $K$ . Fuente: [2].

La rigidez efectiva  $K$  que se utilizó en el primer piso fue de 14126218,51 T/m, mientras que en el segundo piso fue de 14550005,06 T/m. Para ubicar estos elementos se conectaron 2 puntos para enlazar las losas de las viviendas abordando un total de 4 link-GAP por piso (Figura 4a).

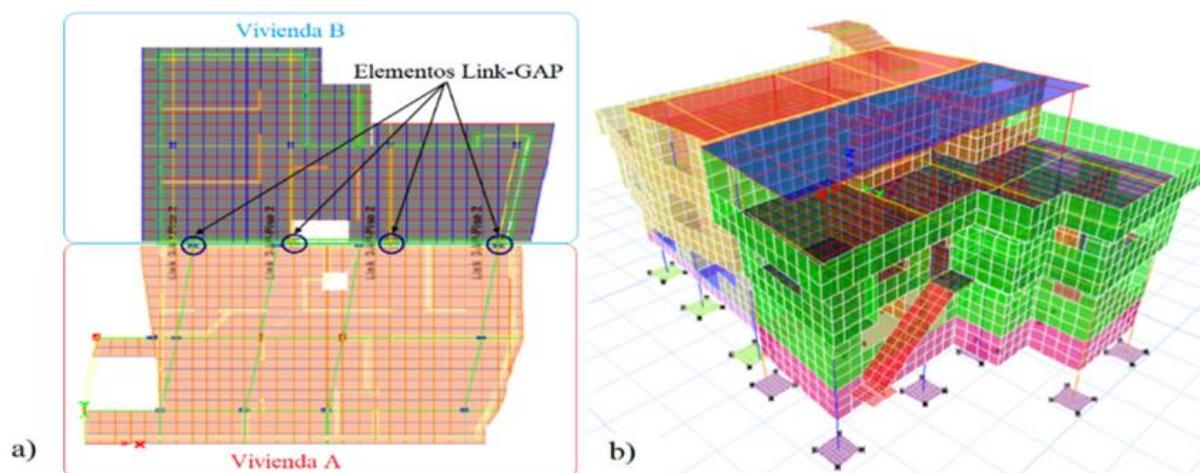


Figura 4. a) Elementos Link-GAP; b) modelo computacional de viviendas. Fuente: los autores

Parrales [3] estudió la variación de fuerzas internas en diferentes edificios adosados

modelados en un software especializado, mediante un elemento vínculo tipo *Link-Gap* para simular el adosamiento, y determinó que, en dos estructuras con las mismas características dinámicas, las fuerzas internas en sus elementos no sufrirán variación alguna desde su condición en vibración aislada a adosada. Para representar el pórtico de hormigón armado se utilizaron elementos tipo *Frame*, y para la mampostería la micro-modelación empleando el criterio de elementos finitos en elementos *Shell* (Figura 4b).

En los modelos individuales se modeló la mampostería con un módulo de elasticidad igual a  $400 \cdot \sqrt{f'c}$  con la finalidad de que los modos de vibración coincidan con los obtenidos experimentalmente. De acuerdo con la recopilación de información y la modelación matemática de las estructuras, se encontró que las viviendas no cumplen con ciertos requerimientos de la norma NEC-SE-SD [15], como son, la insuficiencia de armado en elementos estructurales, baja resistencia a compresión del hormigón y baja resistencia a corte de la mampostería para soportar las solicitaciones requeridas en el primer y segundo piso, por lo tanto, las viviendas requieren de un reforzamiento estructural.

### 3.4. Reforzamiento Estructural

En este punto se optó por el sistema de enchape para reforzamiento de las viviendas, ya que es un sistema económico que puede corregir varias patologías estructurales y brindar mayor rigidez a las estructuras. Se analizaron las construcciones reforzadas por separado en función de la resistencia nominal a corte de las paredes enchapadas según el American Concrete Institute (ACI 318-14) [22], con lo cual se evidenció que la vivienda A no cuenta con una configuración de paredes adecuada para enchapar. Ante este inconveniente se presentaron 2 alternativas de solución:

- La primera consiste en cambiar la arquitectura de la vivienda para que presente paredes con continuidad en elevación que puedan ser enchapadas.
- La segunda solución radica en unir las dos construcciones, para que la rigidez de las paredes de la vivienda B contribuyan a la A, presentando un comportamiento conjunto de ambas viviendas.

Se optó por la segunda alternativa, ya que esta no soluciona únicamente la falta de rigidez de la vivienda A, sino que también permite eliminar el problema de golpeteo que se puede presentar por el adosamiento de ambas edificaciones. En ese sentido se enchapó 2 de los 3 vanos de la zona de adosamiento, para que se comporten como una sola pared estructural, y

también se enchapó la fachada frontal de cada vivienda, cuyas paredes son colineales y se encuentran en sentido perpendicular al adosamiento, además de tener en común las columnas de sus extremos. Adicionalmente, para acoplar las losas se utilizó placas metálicas las cuales se anclan a las vigas mediante pernos, estas placas se colocaron en tres puntos tanto del primer piso como del segundo piso. En la Figura 5 se puede apreciar la distribución de paredes enchapadas teniendo en cuenta la unión entre las dos viviendas, así como los puntos donde se colocaron las placas metálicas.

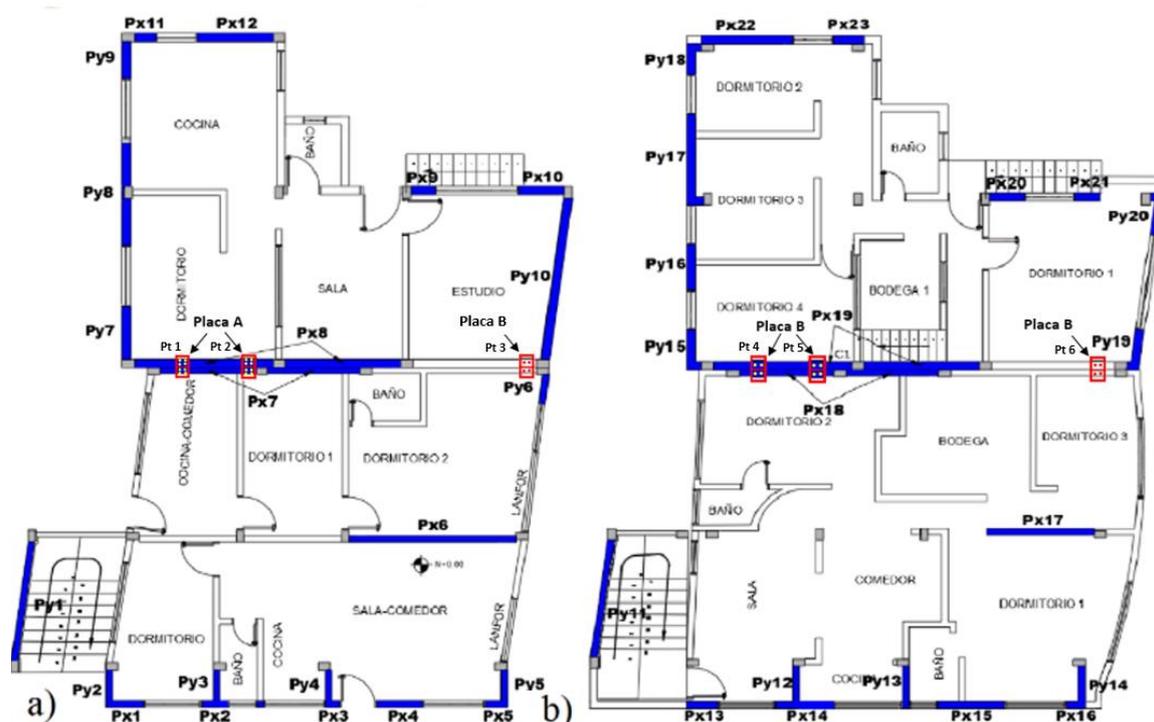


Figura 5. Distribución de paredes reforzadas con enchape y puntos donde se colocaron placas metálicas a) Primer piso; b) Segundo piso. Fuente: los autores

En el diseño se consideró únicamente el aporte del mortero del enchape, ya que la resistencia de la mampostería servirá como un factor de seguridad, dicha resistencia fue de 10 MPa, el espesor del enchape se estableció entre 4 a 5 cm a cada lado de la mampostería, se descartó el enchape de 3 cm de espesor debido a que con esta medida sería difícil recubrir todos los dobleces del acero, quedando expuestos la mayoría de ellos. Para recubrir la mampostería se utilizó la metodología planteada en [9] y [12], para lo cual se utilizó mallas electrosoldadas con resistencia a la fluencia de 490,33 MPa de  $\phi$  4mm @ 10cm y  $\phi$  5mm @ 10cm, se tomó una longitud de traslape de 60 cm; para los conectores de losa y columna se utilizó varillas  $\phi$  8mm cada 30 cm; los conectores tipo V son varillas  $\phi$  8mm cada 1m.

En los volados y en la terraza se colocó conectores de losa tipo U de varillas  $\phi$  8mm cada 30cm. Para el refuerzo adicional se colocó varillas  $\phi$  8mm en las secciones con mayor

concentración de esfuerzos como la diagonal de la mampostería y esquinas de aberturas como puertas y ventanas. Las grapas son varillas tipo C de  $\varnothing$  8mm espaciados cada 40 cm. La cimentación del enchape es una extensión del enchape dentro del suelo, en la base de las paredes enchapadas, con sección de 30cm x 35cm. En la Figura 6 se muestra el armado completo del enchapado en vanos con aberturas y sin estas.

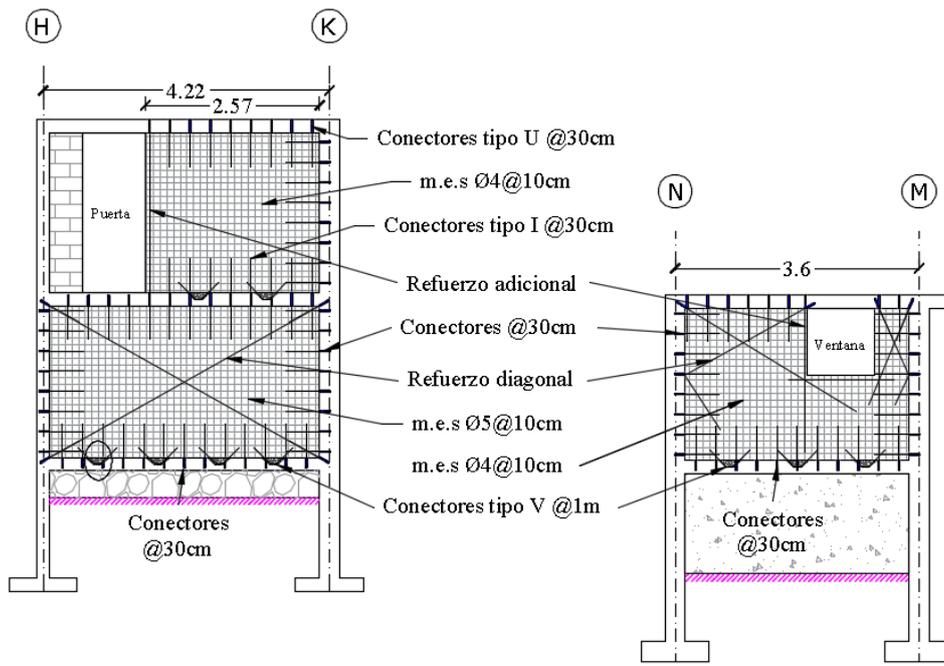
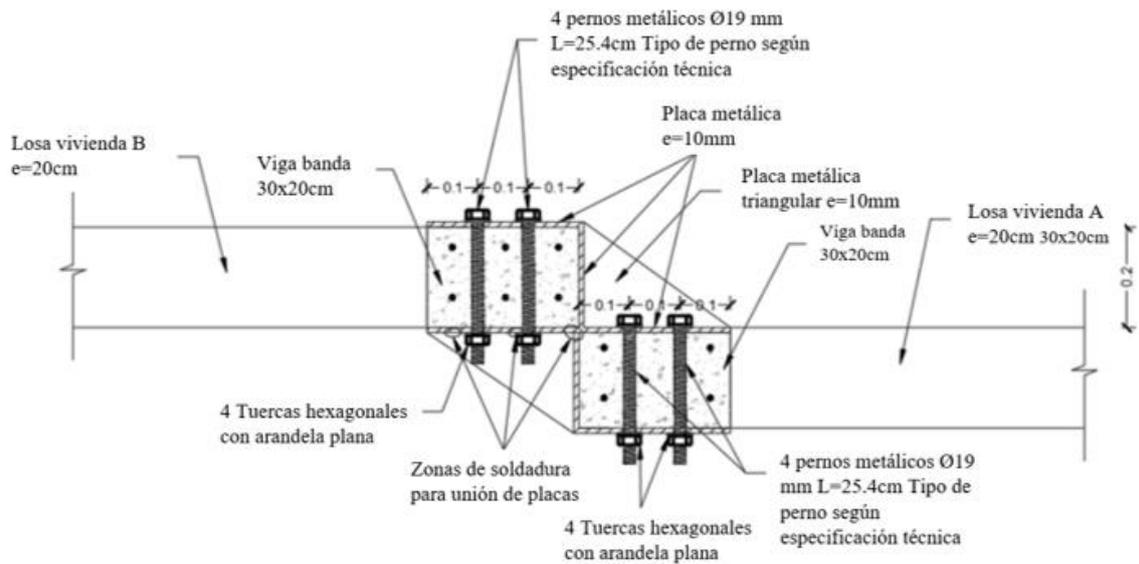


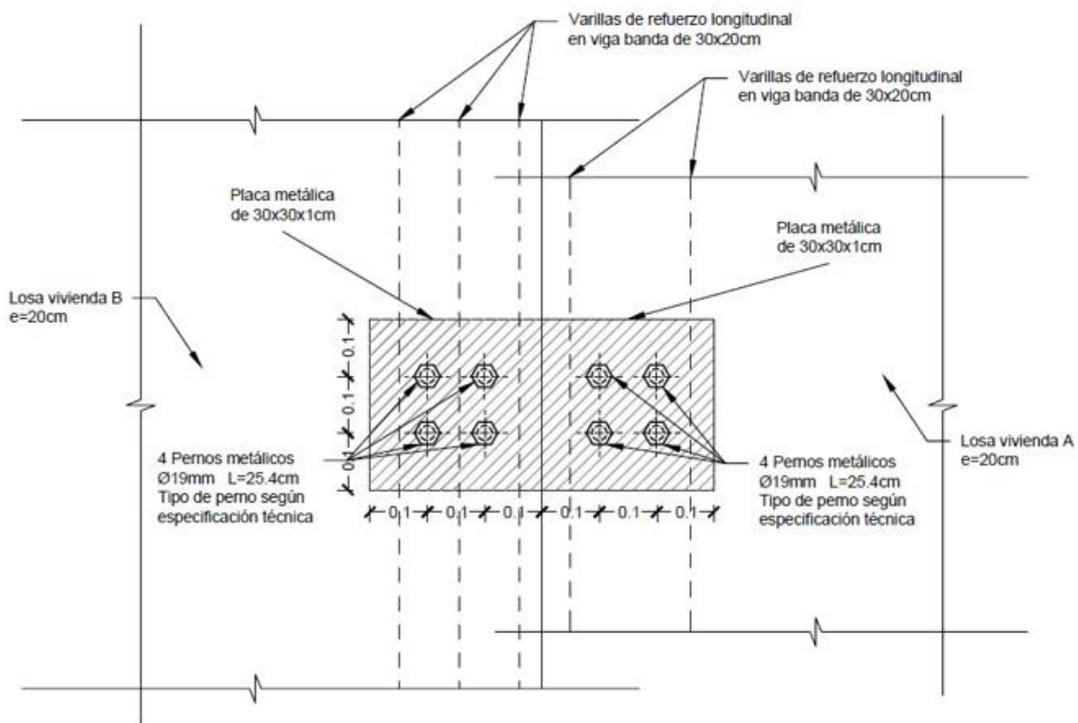
Figura 6. Armado de enchape. Fuente: los autores

Para la unión de las losas de las dos viviendas se utilizó placas de 30 cm x 30cm x1cm y pernos de diámetro de 19mm. Para el diseño de placas y pernos se utilizó el American Institute of Steel Construction (AISC) [23], para ello se evaluó las placas por fluencia a tracción en la sección bruta y ruptura a tracción en la sección neta; para los pernos se evaluó la resistencia de tracción y corte de pernos, así como de partes enroscadas, y la resistencia de aplastamiento de perforaciones de pernos.

Como las losas del primer piso tienen el desnivel de 20cm se utilizó la configuración tipo A, que se muestra en la Figura 7, mientras que para las losas del segundo piso que se encuentran en el mismo nivel se utilizó la configuración B que se muestra en la Figura 8.



Vista en elevación



Vista en planta

Figura 7. Configuración de placas metálicas para losas a desnivel. Fuente: los autores

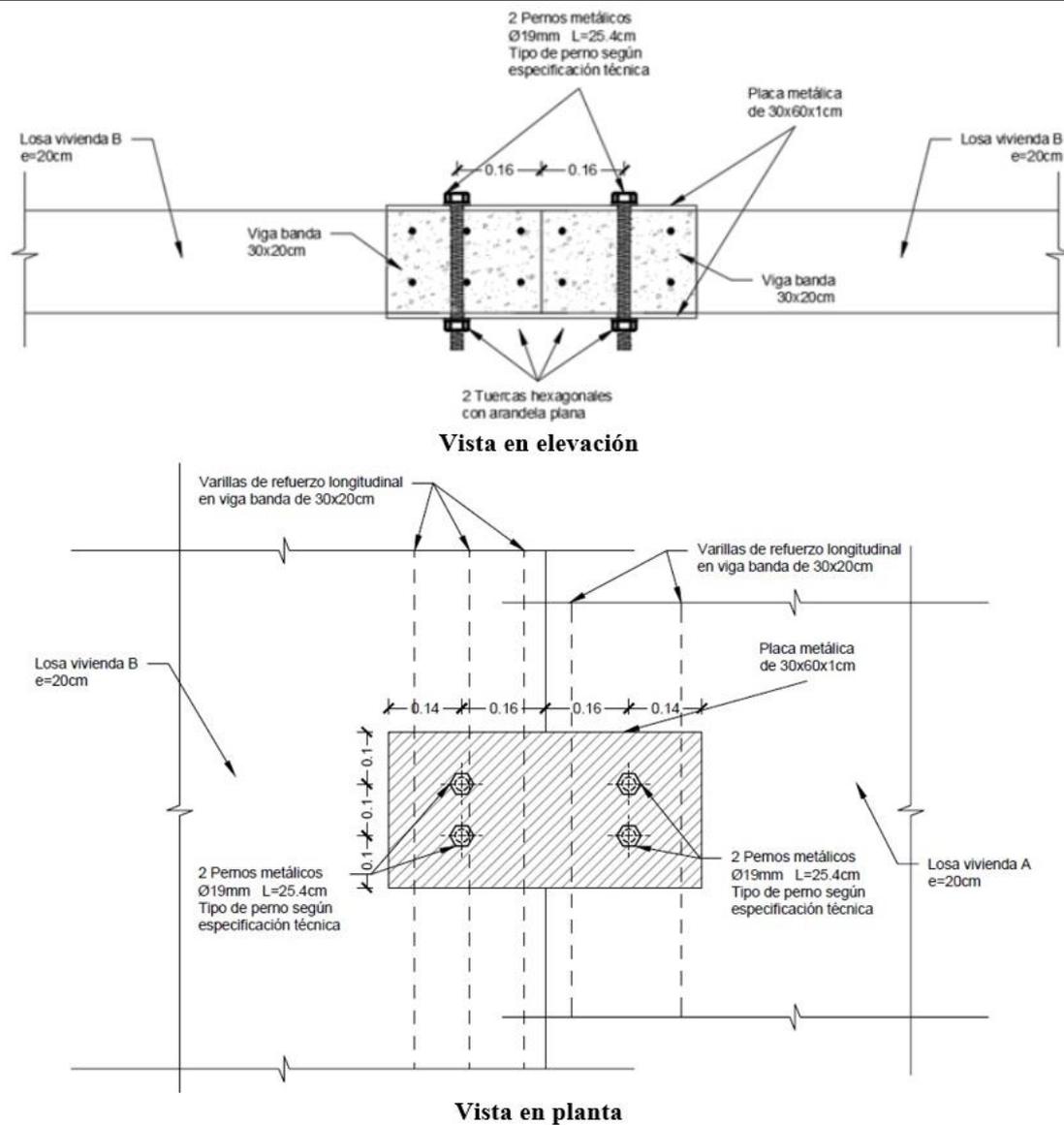


Figura 8. Configuración de placas metálicas para losas al mismo nivel. Fuente: los autores

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Estado Actual de las Viviendas

Una vez analizados los modelos de las edificaciones se verificaron los modos de vibración, se determinándose que la vivienda A presenta torsión en el segundo modo, lo cual no es aceptable ya que los elementos estructurales como vigas y columnas no se diseñan a torsión, por otro lado, la vivienda B presenta traslación en su primer y segundo modo y torsión en el tercer modo, lo que se considera aceptable. El esfuerzo máximo del suelo encontrado en las zapatas de ambas construcciones fue de 92 kPa, valor menor al esfuerzo admisible del suelo 180,2 kPa. No se presentaron problemas de punzonamiento en las zapatas, esto se da debido a que todas las cadenas de la vivienda A y las cadenas perimetrales de la B se encuentran

cimentadas sobre muros, lo cual redistribuye los esfuerzos desde las zapatas hacia estos muros. El cálculo de derivas se realizó acorde con [15] y se utilizó un coeficiente de reducción sísmica  $R$  de 1,9, ya que el sistema carece de ductilidad, pero posee resistencia. Las derivas de piso *story drifts* de ambas, fueron menores a las derivas máximas permitidas para estructuras porticadas (2%), incluso menor que las derivas permitidas para estructuras de mampostería (1%) requeridas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SD) [15] (Figura 9).

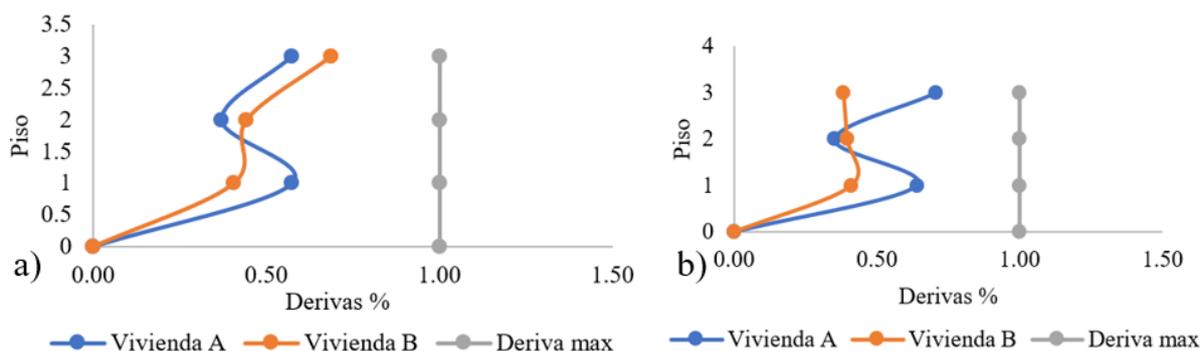


Figura 9. a) Derivas inelásticas en sentido X; b) Derivas inelásticas en sentido Y. Fuente: los autores

En la Tabla 2 se presentan los porcentajes de mampostería que cumplen la demanda a corte, los cuales se puede observar son insuficientes para soportar las solicitaciones requeridas, ya que ningún piso cubre el 100 % de las solicitaciones a corte. Con estos resultados se determina que, ante un evento sísmico similar al sismo de diseño, las estructuras en estudio exhibirán en el primer piso un efecto de piso blando, debido a que este presenta un menor porcentaje de paredes que resistan las solicitaciones a corte respecto a las paredes de los pisos superiores, por lo que las estructuras eventualmente colapsarán. En base a los resultados obtenidos para el estado actual de las dos viviendas, se concluye que ambas requieren de un reforzamiento estructural.

Tabla 2. Porcentaje de mampostería que cumple la demanda a corte. Fuente: los autores

Piso	Vivienda A	Vivienda B
1ero	4%	0%
2do	18%	3%
Cubierta	86%	64%

#### 4.2. Reforzamiento con Enchape

Con el reforzamiento propuesto, los modos de vibración de las viviendas unidas presentan traslación en su primer y segundo modo, y torsión en el tercer modo. El esfuerzo máximo del suelo encontrado 137,6 kPa es menor al esfuerzo admisible del suelo de 180,2 kPa, el asentamiento máximo encontrado 0,63cm es menor al asentamiento máximo permitido de

2,5cm, no se presentaron problemas de punzonamiento en las zapatas. En la Figura 10 se muestran las derivas inelásticas obtenidas con el reforzamiento, las cuales fueron menores a las derivas máximas permitidas del 1% por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE-SD) [15] tanto en el sentido X como en el sentido Y.

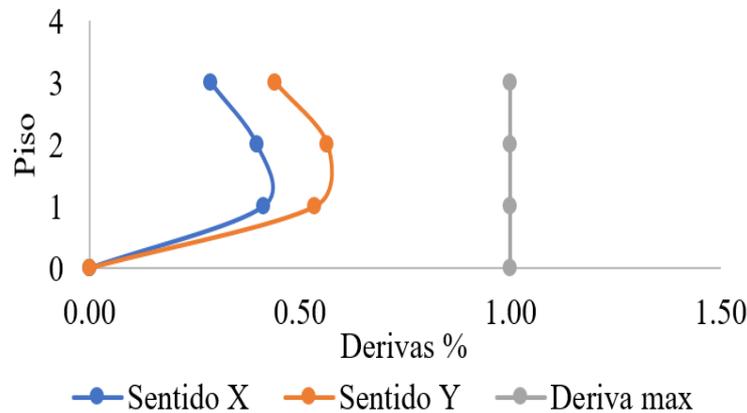


Figura 10. Derivas de viviendas enchapadas. Fuente: los autores

La relación de demanda/capacidad a corte de cada pared enchapada en el primer y segundo piso de las viviendas en estudio se puede apreciar en la Tabla 3. Todas las paredes enchapadas cumplen las solicitaciones a corte y flexo-compresión requeridas, no necesitaron de un enchape con un espesor mayor a 4cm por cada lado, debido a que el acero de refuerzo gobierna la resistencia a corte, ya que, este aporta más del triple que la capacidad contribuida por la sección de hormigón. Con estos resultados se determina que, ante un evento sísmico similar al sismo de diseño, las estructuras en estudio presentarán un buen comportamiento sismorresistente.

Tabla 3. Relación Demanda/Capacidad a corte de paredes enchapadas. Fuente: los autores

Sentido X				Sentido Y			
PISO 1		PISO 2		PISO 1		PISO 2	
Enchape	D/C	Enchape	D/C	Enchape	D/C	Enchape	D/C
Px1	0,58	Px13	0,37	Py1	0,30	Py11	0,30
Px2	0,88	Px14	0,61	Py2	0,64	Py12	0,23
Px3	0,51	Px15	0,88	Py3	0,77	Py13	0,16
Px4	0,39	Px16	0,58	Py4	0,85	Py14	0,38
Px5	0,42	Px17	0,26	Py5	0,73	Py15	0,72
Px6	0,73	Px18	0,24	Py6	0,89	Py16	0,76
Px7	0,47	Px19	0,57	Py7	0,76	Py17	0,89
Px8	0,57	Px20	0,69	Py8	0,86	Py18	0,85
Px9	0,86	Px21	0,54	Py9	0,42	Py19	0,84
Px10	0,84	Px22	0,71	Py10	0,78	Py20	0,93
Px11	0,81	Px23	0,60	-	-	-	-
Px12	0,88	-	-	-	-	-	-

Las capacidades y las solicitaciones de placas y pernos para la unión de las dos viviendas se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Chequeo de las capacidades y solicitaciones de pernos y placas. Fuente: los autores

PUNTO	Resistencia placas (kN)	Resistencia pernos (kN)	Solicitación (kN)
1	0,629	0,324	0,224
2	0,629	0,324	0,165
3	0,629	0,162	0,155
4	1,257	0,324	0,324
5	1,257	0,324	0,221
6	1,257	0,324	0,064

### 4.3. Presupuesto Referencial del Reforzamiento

Para evidenciar que el sistema de reforzamiento con enchape es una alternativa económica para reforzar, se desarrolló un presupuesto referencial tomando en cuenta las actividades principales de reforzamiento. Para los costos se tomó como referencia los precios unitarios vigentes en la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICO) [24], valores que se encuentran en el mercado del país. El análisis de precios unitarios se realizó considerando para cada rubro equipo, mano de obra, materiales y transporte. El presupuesto referencial se muestra en la Tabla 5, donde el costo por metro cuadrado de construcción fue de 17,25 dólares por metro cuadrado, es decir un costo similar al de la cerámica para piso, por esto se considera que el enchape es económico, además de tener la seguridad que provee al ser un sistema sismorresistente.

**Tabla 5.** Presupuesto Referencial. Fuente: los autores

Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	<b>Preliminares</b>				
1.1	Desbroce, limpieza de paredes	m <sup>2</sup>	377,00	0,74	\$278,98
1.2	Excavación manual de suelo natural	m <sup>3</sup>	2,80	9,49	\$26,57
2	<b>Estructural Principal (Enchape)</b>				
2.1	Malla (6.25x2.40m) ø4.0mm 10x10cm	m <sup>2</sup>	182,00	4,49	\$817,18
2.2	Malla (6.25x2.40m) ø5.0mm 10x10cm	m <sup>2</sup>	195,00	6,62	\$1,290,90
2.3	Varilla de refuerzo fy=4200kg/cm <sup>2</sup> ø6mm	kg	165,00	0,54	\$89,10
2.4	Varilla de refuerzo fy=4200kg/cm <sup>2</sup> ø8mm	kg	678,00	0,54	\$366,12
2.5	Varilla de refuerzo fy=4200kg/cm <sup>2</sup> ø12mm	kg	85,00	0,54	\$45,90
2.3	Epóxico de alta resistencia	u	20,00	20,28	\$405,60
2.4	Placas metálicas, acero A-36	kg	40,00	2,00	\$80,00
3	<b>Revestimiento y mampostería</b>				
3.1	Mampostería bloque liviano e=20cm	m <sup>2</sup>	5,00	7,62	\$38,10
3.2	Mampostería bloque liviano e=15cm	m <sup>2</sup>	20,00	7,49	\$149,80
3.3	Enlucido vertical (paleteado) mortero 1:6 e=4cm	m <sup>2</sup>	377,00	7,64	\$2,880,28
				Total:	\$6468,53

La demolición de una estructura siempre será una alternativa que generará pérdidas, ya que implica ceder el costo de la estructura sin obtener nada a cambio, lo cual se puede dar en casos donde no se pueda intervenir para garantizar un buen comportamiento sísmico, es decir,

donde no se pueda disminuir la vulnerabilidad de la estructura para minimizar el riesgo de colapso o pérdida de vidas ante la amenaza de un evento sísmico catastrófico. La alternativa de reforzar una estructura frente a la posibilidad de demolerla será la mejor opción, siempre y cuando el costo de reforzamiento no supere el de volver a realizar la construcción desde cero de una manera correcta, es debido a ello la importancia de encontrar nuevas alternativas económicas que permitan reforzar una estructura, como es el caso de este estudio, ya que el costo de reforzamiento es bajo comparado con el costo de construcción de una vivienda en Ecuador. El costo directo del metro cuadrado de construcción para una vivienda tipo de dos pisos con acabados medios-económicos es de aproximadamente 345 dólares en Quito-Ecuador Cámara de la industria de la Construcción CAMICON [24].

La importancia de recurrir a ingenieros estructurales radica en el costo beneficio que estos pueden proveer, ya que pueden presentar alternativas económicas para solucionar problemas constructivos que pueden parecer irremediables, además de presentar soluciones que tomen un menor tiempo ya que la alternativa de demolición y reconstrucción a más de costosa tomaría un largo periodo de tiempo, también se debe tomar en cuenta que un reforzamiento se lo puede realizar por zonas, lo cual implica que la estructura puede ser habitable mientras se efectúan los trabajos de obra.

## 5. CONCLUSIONES

Las estructuras presentaban varias patologías estructurales, deficiencias de armado en columnas y vigas, y una resistencia a corte de la mayoría de mamposterías insuficiente para resistir las solicitaciones, por lo cual, ante el sismo de diseño presentarán un efecto de piso blando debido a que la mampostería trabaja a compresión y corte. No tiene un buen confinamiento, además, presenta un comportamiento poco predecible, por ende, se prevé el colapso de estas, por lo que ambas viviendas necesitan ser reforzadas.

El reforzamiento con enchape cambia el sistema constructivo de pórticos a un sistema de paredes portantes lo cual permite tener mayor inercia y da más resistencia a la estructura para resistir acciones laterales. En ese sentido el reforzamiento aumentó la capacidad a corte y flexo compresión de las mamposterías permitiendo que cumplan con las solicitaciones requeridas. Además, estas paredes enchapadas absorben gran cantidad de cortante que llega a la estructura de manera que alivia a las columnas de vanos que no fueron enchapados. Mediante la utilización de placas metálicas para unir ambas viviendas se logra eliminar el problema del golpeteo de paredes, además, permite una menor intervención en las estructuras y por ende un menor costo.

Considerando precio de equipo, mano de obra y materiales comunes en el mercado ecuatoriano, el presupuesto referencial para el reforzamiento de las dos viviendas es de 6468,53 dólares estadounidenses, el costo por metro cuadrado de construcción es de 17,25 dólares, el cual resulta ser muy económico ya que es similar al costo generado en una remodelación de piso de cerámica.

## **6. AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional que por medio del Centro de Investigación de la Vivienda se ha podido desarrollar investigaciones para beneficio de la comunidad y la industria de la construcción.

## **7. FINANCIAMIENTO**

Financiado con recursos de la Escuela Politécnica Nacional.

## **8. CONFLICTOS DE INTERÉS**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

## **9. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES**

Investigación, C.C., J.C., P.P., L.H., M.H., C.G.; redacción—preparación del borrador original, C.C., J.C.; redacción—revisión y edición, M.H.; supervisión, C.G. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito

## **10. REFERENCIAS**

- [1] R. Aguiar y Y.Mieles, "Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 21(3), pp. 257-282, 2016
- [2] K. Arpitha y R. Umadevi, "Effect of seismic pounding between reinforced concrete buildings", *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, 7(2), pp. 576-583, 2016
- [3] R. Parrales, "Comportamiento sísmico de estructuras adosadas losa con losa y evaluación de efectos asociados al impacto entre estructuras", Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador, 2017
- [4] A. Castillo, "Estudio comparativo entre un pórtico de un vano de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) con un pórtico construido de manera informal", Quito: Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, 2016
- [5] P. Paredes, y P. Placencia, "Wire-Mesh and Mortar Confined Masonry As Seismic Resistant System for Houses Up To Two Stories", *16th World Conference on Earthquake*, (2968), pp. 1-12, 2017

- [6] I. Aguilar y E. Lumbi, "Diagnóstico y propuesta de reforzamiento estructural de una edificación representativa en el Barrio Atucucho", de Quito. Quito: Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, 2014
- [7] F. Delfin, M. Astroza, V. Águila y L. Sépulveda, "Evaluación de la eficiencia de soluciones de reparación para muros con daños del tipo sísmico en muros de albañilería confinada", *Memorias Primer Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y Tercero de Control de Calidad*, Córdoba, Argentina, 1991
- [8] J. Ruiz, y S. Alcocer, "Desempeño experimental de estructuras de mampostería confinada rehabilitadas mediante el uso de malla de alambre", *Revista de Ingeniería Sísmica*, N°59, 59-79, 1998
- [9] L. Fernández, P. Paredes, "Investigación teórico experimental de un sistema estructural alternativo", Quito: Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, 2010
- [10] D. Albuja, y J. Pantoja, "Estudio del reforzamiento de la mampostería de bloque de hormigón con malla electrosoldada mediante ensayos destructivos", Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2017
- [11] J. Ochoa, y F. Ulcuango, "Estudio de la seguridad sísmica y diseño del reforzamiento estructural de una vivienda de tres pisos", Quito: Ecuador Escuela Politécnica Nacional, 2014
- [12] L. Borja, y M. Torres, "Diseño del reforzamiento estructural de un edificio de departamentos de 4 plantas ubicado en el sector Quitumbe, ciudad de Quito, provincia de Pichincha", Quito: Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, 2015
- [13] K. Estrada y N. Vivanco, "Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, análisis estructural y diseño del reforzamiento de una vivienda de tres pisos ubicada en el norte de Quito - Ecuador", Quito: Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, 2019
- [14] L. Cuasqui y M. Merizalde, "Análisis estructural, diseño de reforzamiento y determinación de presupuesto del edificio arcos ubicado en el sector sur de Quito-Ecuador", Quito: Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, 2019
- [15] NEC-SE-DS, Capítulo de Peligro Sísmico. Ecuador: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), 2015