

## JEFATURA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

### Título del Proyecto

Estudio del estado límite y desempeño sísmico de mamposterías no reforzadas de ladrillo para el diseño estructural sismorresistente en el Ecuador

**Carrera(s):** INGENIERÍA CIVIL,

### Director del Proyecto:

CÉSAR DAVID CAJAMARCA ZÚÑIGA; 0103859682; INGENIERÍA CIVIL; UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN; MATRIZ

### Colaboradores del Proyecto

Carlos Julio Calle Castro; 0300955937; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Juan Gabriel Barbecho Chuisaca; 0104445929; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Ruth Mariela Coronel Alvarado; 0301165007; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Daniel Fabian Campos Vivar; 0102256302; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Claudia Alexandra Ortiz Abril; 0105478176; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Daniela Ortiz Abril; 0105619456; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

**Código de Proyecto: PICVII19-87**

**Cuenca, septiembre de 2021**

**Versión 2.0**

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO .....</b>	<b>3</b>
1. TÍTULO.....	3
2. CARRERAS .....	3
3. MATRIZ, SEDE O EXTENSIÓN .....	3
<b>B. INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO.....</b>	<b>3</b>
4. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DE L PROYECYO .....	3
4.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:.....</i>	<i>3</i>
4.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años. ....</i>	<i>3</i>
4.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:.....</i>	<i>4</i>
5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.....	4
5.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:.....</i>	<i>4</i>
5.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años. ....</i>	<i>5</i>
5.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:.....</i>	<i>5</i>
6. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES EXTERNOS .....	5
6.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:.....</i>	<i>5</i>
6.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años. ....</i>	<i>5</i>
6.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:.....</i>	<i>6</i>
<b>C. ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO.....</b>	<b>6</b>
7. PERSONAL DEL PROYECTO – ESTUDIANTES.....	6
<b>D. CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS.....</b>	<b>6</b>
8. CENTRO Y GRUPO DE INVESTIGACIÓN .....	6
9. LÍNEA Y ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL.....	6
10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO .....	7
11. PROGRAMA:.....	7
12. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	7
13. FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO .....	7
14. REQUIERE AVAL Y/O PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA Y EL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA.....	7
15. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	7
<b>E. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>8</b>
16. RESUMEN DEL PROYECTO .....	8
17. PALBARAS CLAVES .....	8
18. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....	8
19. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	9
20. OBJETIVOS .....	10
21. ESPECÍFICOS.....	10
22. MARCO METODOLÓGICO .....	10
<b>F. IMPACTO DEL PROYECTO .....</b>	<b>11</b>
23. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA.....	11
24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO .....	11
25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS .....	12
26. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	12
<b>G. ANEXOS.....</b>	<b>15</b>

## A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

<b>1. TÍTULO</b>
Estudio del estado límite y desempeño sísmico de mamposterías no reforzadas de ladrillo para el diseño estructural sismorresistente en el Ecuador
<b>2. CARRERAS</b>
INGENIERÍA CIVIL,
<b>3. MATRIZ, SEDE O EXTENSIÓN</b>
MATRIZ CUENCA

## B. INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

<b>4. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DE L PROYECYO</b>	
Función en el proyecto	DIRECTOR DEL PROYECTO
Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión	
CÉSAR DAVID CAJAMARCA ZÚÑIGA; 0103859682; INGENIERÍA CIVIL; UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN; MATRIZ	
4.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:	
Título del artículo,; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil	
Numerical Comparative Analysis of a Thin-Shell Spatial Structure for the Candela’s Cosmic Rays Pavilion; Advances in the Astronautical Sciences; 0065-3438; 174; 1; 2021; <a href="http://www.univelt.com/book=8168">http://www.univelt.com/book=8168</a> ; Q4.	
Stress state analysis of an equal slope shell under uniformly distributed tangential load by different methods; Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings; 1815-5235; 17; 1; 2021; <a href="https://doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-1-51-62">https://doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-1-51-62</a> .	
Experimental determination of the limiting flexibility of eucalyptus wood for axially compressed elements; Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings; 1815-5235; 16; 3; 2020; <a href="https://doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-3-226-232">https://doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-3-226-232</a>	
4.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.	
Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)	

Métodos Clásicos del Cálculo de Sistemas Planos Hiperestáticos; Autor Editor; 978-9942-36-403-6; 2019; NO

4.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

Stress-strain state investigation of the "YASUNI" shell by bionic architecture methods based on numerical modeling; RUDN University; 0; 01/08/2017; 01/08/2018

Investigation on the application of Analytical Surfaces for shell structures; RUDN University; 0; 23/09/2019; 31/03/2021

Estudios de Factibilidad, Impactos Ambientales e Ingeniería: pre-preliminar, preliminar y definitivos para la construcción de la carretera Cuenca-Estación de Cumbe (acceso sur a Cuenca) de 14 km de longitud aproximada, ubicada en la provincia de Azuay (especialista en estructuras); Universidad Católica de Cuenca; 17500,00; 27/12/2019; 15/03/2020

## 5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Función en el proyecto	COLABORADORES UCACUE
------------------------	----------------------

Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión

Carlos Julio Calle Castro; 0300955937; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Juan Gabriel Barbecho Chuisaca; 0104445929; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Ruth Mariela Coronel Alvarado; 0301165007; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Daniel Fabian Campos Vivar; 0102256302; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Claudia Alexandra Ortiz Abril; 0105478176; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Daniela Ortiz Abril; 0105619456; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

5.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:

Título del artículo; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil

Carlos Julio Calle Castro; Determinación del rendimiento para la actividad de excavación a mano en la ciudad de Cuenca; Revista Dominio de las Ciencias; 2477-8818; 7; 2; 2021; <https://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i2.1830>; N/A.

Carlos Julio Calle Castro; Revisión Sistemática: metodología de análisis de rendimientos de la mano de obra en campo; Green World Journal; 2737-6109; 4; 1; 2021; <https://www.greenworldjournal.com/doi-v4-n1-004-gwj-2021>; N/A.

Carlos Julio Calle Castro; Análisis relativo para identificar las causas de retrasos en las obras de construcción. Caso de estudio Cuenca-Ecuador; Ciencia Digital; 2602-8085; 5; 2; 2021; <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i2.1572>; N/A.

Juan Gabriel Barbecho Chuisaca; Numerical Comparative Analysis of a Thin-Shell Spatial Structure for the Candela's Cosmic Rays Pavilion; Advances in the Astronautical Sciences; 0065-3438; 174; 1; 2021; <http://www.univelt.com/book=8168>; Q4.

Juan Gabriel Barbecho Chuisaca; The Effects of the Structure—Foundation Interaction in the Structural Response of a TBM Gallery; Journal of Geological Resource and Engineering; 2328-2193; 4; 3; 2016; doi:10.17265/2328-2193/2016.03.001; N/A.

Ruth Mariela Coronel Alvarado; La Uve de Gowin como estrategia instruccional para realizar prácticas de laboratorio de física en la Universidad de Cuenca; Pro Sciences: Revista de producción, ciencias e investigación; 2588-1000; 4; 37; 2020; <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss37.2020pp85-96>; N/A.

Ruth Mariela Coronel Alvarado; Una experiencia didáctica del uso de smartphones en una práctica de laboratorio de física; Pro Sciences: Revista de producción, ciencias e investigación; 2588-1000; 4; 37; 2020; <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss35.2020pp16-23>; N/A.

#### 5.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.

Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)

#### 5.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

### 6. PERSONAL DEL PROYECTO - COLABORADORES EXTERNOS

Función en el proyecto	COLABORADORES EXTERNOS
------------------------	------------------------

Nombre, Institución

#### 6.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:

Título del artículo; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil

#### 6.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.

Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)

6.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

## C. ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

### 7. PERSONAL DEL PROYECTO – ESTUDIANTES

Función en el proyecto	ESTUDIANTES COLABORADORES EN EL PROYECTO
------------------------	--

Nombre; Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión

Christopher Rodolfo Marín Guzmán; 1400689780; Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras Sismorresistentes; Posgrado; Matriz.

Talia Beatriz Morocho Paqui; 1900959188; Carrera de Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Darwin Joshua Maldonado Duque; 0941167561; Carrera de Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

## D. CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS

### 8. CENTRO Y GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Centro de Investigación Ingeniería, Industria, Construcción y TICs

Grupo de Investigación INGENIERÍA CIVIL,

### 9. LÍNEA Y ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL

Para información sobre las líneas de investigación dirigirse al enlace [Líneas y Ámbitos de Investigación Institucionales](#),

**Línea de Investigación:** Territorios, Naturalezas y Tecnología

**Ámbito de Investigación:** Geotecnia, Estructuras y Construcciones

### 10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO

Código del campo y de la disciplina según UNESCO en el enlace [SKOS](#)

Campo	33	Disciplina	3305	Sub disciplina	330532
-------	----	------------	------	----------------	--------

### 11. PROGRAMA:

En caso de que el proyecto sea parte de un programa.

### 12. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Duración del proyecto en meses	18
--------------------------------	----

### 13. FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

Monto total del financiamiento proyecto	\$ 35300
---	----------

### 14. REQUIERE AVAL Y/O PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA Y EL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA

NO

Justificación:

### 15. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

253622

## **E. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA**

---

### **16. RESUMEN DEL PROYECTO**

La presente investigación propone optimizar la teoría estructural de la mampostería no reforzada de ladrillo en estado de tensión biaxial considerando la interacción de contacto ladrillo-mortero, con el propósito de fundamentar los parámetros del estado límite de estructuras de mampostería de acuerdo a las particularidades regionales tanto constructivas como de materiales. Con este fin se plantea estudiar un problema no resuelto dentro de la mecánica de deformación elastoplástica y fractura de la mampostería en condiciones de tensión biaxial generada por acciones sísmicas.

Este proyecto se diferencia de propuestas anteriores y pretende desarrollar las disposiciones básicas de la mecánica de deformación elastoplástica de la mampostería como un material compuesto de fragmentos homogéneos de dos componentes, que permitan considerar no solo las características mecánicas de los materiales básicos de mampostería sino también la modelización de los procesos que ocurren en la interfase de contacto.

La investigación consta de un componente cuantitativo que levantará información local, regional y nacional sobre el empleo de la mampostería, y otro experimental que comprende la realización de ensayos de modelos físicos y matemáticos para establecer el desempeño estructural de las mamposterías y determinar los mecanismos de falla y las propiedades de deformación de la mampostería como un medio compuesto multimodular de fragmentos homogéneos. Para el desarrollo del componente experimental se emplearán equipos de laboratorio y software basado en el análisis de elementos finitos, los resultados generarán una base técnico-científica que podrá servir para futuras investigaciones y procesos de actualización de la normativa pertinente.

### **17. PALBARAS CLAVES**

Mampostería, Tensión biaxial, Ladrillo, Modelo experimental, Desempeño sísmico

### **18. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

Un problema en el ámbito de la construcción en el Ecuador está relacionado con la seguridad sísmica de las estructuras, debido a tres factores principales: según la Norma Ecuatoriana de la Construcción casi la totalidad del territorio ecuatoriano presenta una amenaza sísmica alta y muy alta (1); en nuestro país alrededor del 75% de edificaciones poseen elementos de mampostería como parte de su sistema estructural (2-6); el análisis de las consecuencias de los terremotos demuestra que las estructuras de mampostería son más susceptibles a sufrir daños en comparación con otras (7-9).

Las estructuras de mampostería presentan el mayor grado de desviación del nivel medio de daños, y su coeficiente de variación oscila entre 0.43-0.59 (7). Estas desviaciones significativas de la respuesta sísmica esperada indican una deficiencia en las disposiciones normativas del diseño sismorresistente para estructuras de mampostería. Las actuales normas de diseño de edificaciones de mampostería a nivel mundial se fundamentan en la concepción de la mampostería como un medio homogéneo con un conjunto de propiedades "efectivas". La práctica del diseño y construcción de estructuras de mampostería para condiciones normales de uso ha demostrado la validez de dicha teoría, sin embargo, bajo acciones sísmicas se observan elevados grados de variación.

El problema a resolver en esta investigación consiste en determinar de manera científica las características de los estados límite de las estructuras de mampostería, mediante un modelo físico-matemático detallado que permita no sólo analizar la resistencia de las estructuras de mampostería, sino también predecir de forma fiable la posibilidad de ocurrencia de la fase plástica de deformación considerando la interacción estructural de contacto entre los materiales constitutivos en condiciones de tensión biaxial.

En la actualidad este problema es escasamente estudiado a nivel mundial y en nuestro país, a pesar de la gran cantidad de estudios e investigaciones realizadas en torno a estas estructuras, el problema señalado no se refleja en las publicaciones científicas ni normas vigentes.

El enfoque de investigación propuesto permite considerar tanto las características mecánicas de los materiales básicos como el carácter multimodal de su interacción, además permitirá determinar el comportamiento de deformación elasto-plástica de la mampostería como un material compuesto para mejorar el desempeño sísmico y optimizar tanto los diseños sismorresistentes de las mamposterías no reforzadas de ladrillo como la normativa pertinente. Con todo esto la investigación propuesta presenta una relevancia social, técnica y científica.

## 19. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

El empleo de la mampostería como material de construcción de estructuras y edificaciones data de hace más de 10 mil años, en tanto que el empleo del ladrillo cerámico en la construcción se remonta a 3000-2000 años A.C. (10). Los materiales que se emplean para la fabricación de mamposterías mediante un uso adecuado, permiten generar un material monolítico. En términos de la ciencia de los materiales este material obtenido se define como un “material compuesto” con una estructura de fragmentos homogéneos.

Los materiales compuestos desde el punto de vista de la mecánica se analizan sobre la base de dos concepciones o teorías diferentes: como un material homogéneo y continuo con un conjunto de propiedades efectivas, o como una estructura constituida por elementos homogéneos básicos (ladrillo) y de enlace (mortero).

Las normas modernas de diseño y construcción de edificaciones de mampostería se fundamentan en la concepción de la mampostería como un medio homogéneo con un conjunto de propiedades efectivas, lo que permite realizar los cálculos de resistencia de las estructuras de mampostería. En este sentido, la práctica del diseño para condiciones normales de uso ha demostrado la validez de esta teoría, sin embargo, el objetivo del diseño estructural no es únicamente la evaluación de la resistencia ya que los principios de la sismorresistencia se basan en la admisibilidad de las deformaciones elasto-plásticas, misma que debe garantizarse mediante una predicción fiable de la fase plástica de la deformación de las estructuras.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS-2015) señala que prácticamente la totalidad del territorio del Ecuador presenta una amenaza sísmica alta y muy alta (1), lo cual es corroborado por varios trabajos científicos (11-18). Por otra parte, es conocido que a nivel nacional la mampostería es ampliamente utilizada, reflejando que más del 75% de estructuras de vivienda son construidas con el uso de mamposterías (2). En las provincias de Pichincha, Guayas y Azuay aproximadamente el 70% de las viviendas son de tipo villa (3-5), en las que más del 43% corresponden a estructuras de mampostería no reforzada (6).

Las estructuras de mampostería presentan el mayor grado de desviación del nivel medio de daños, y su coeficiente de variación oscila entre 0.43-0.59 (7). Estas desviaciones significativas de la respuesta sísmica esperada indican una deficiencia en las disposiciones normativas del diseño sismorresistente para estructuras de mampostería en lo referente a los criterios de los estados límite, mismos que en la actualidad se basan principalmente en datos experimentales y en el análisis in-situ de las consecuencias de los terremotos.

En las estructuras de mampostería bajo la acción sísmica se genera un estado específico de tensión biaxial, en el cual la capacidad del material de asumir las tensiones de tracción y de cizallamiento juega un rol importante (9,19-22). En los materiales compuestos de fragmentos homogéneos como es el caso de la mampostería, los procesos de destrucción y deformación por mecanismos de tensión y cizallamiento viene dada no sólo por la resistencia de los materiales constitutivos, sino en mayor medida por las condiciones de interacción de contacto. Las características mecánicas de la interacción de contacto son independientes de las características de los materiales constitutivos y están determinadas por el modo de funcionamiento estructural del nudo de contacto, mismo que va desde el contacto monolítico (con adherencia inalterada) hasta el modo de fricción seca o destrucción completa del contacto (7,22-24).

El estudio del estado tenso-deformacional de las estructuras puede ser abordado desde 3 enfoques: clásico o analítico, basado en la mecánica de materiales; empírico, basado en mediciones a tiempo real del comportamiento de prototipos físicos; y numérico, que constituye una representación matemática aproximada del comportamiento estructural mediante el análisis por elementos finitos (FEA). Sin embargo, las soluciones obtenidas de procesos FEA siempre deben ser sustentadas en modelos experimentales para validar las ecuaciones constitutivas de los modelos.

Dentro del contexto del FEA, las estructuras de mampostería pueden ser representadas de diversas maneras para evaluar su rendimiento ante la acción de una carga lateral en su propio plano. De acuerdo a (25,26) la micro-modelización considera el comportamiento como medios continuos por separado al ladrillo y al

mortero y modela una interface para unión de ambos; por otra parte, la micro-modelización simplificada, considera al ladrillo como un medio continuo y al mortero como un elemento de interface de conexión; finalmente, la macro-modelización considera el conjunto de la mampostería como un medio continuo de propiedades efectivas, este método pierde la capacidad de revisar los modos de falla y limita la posibilidad de determinar la fase de deformación plástica (22,24). En definitiva, el concepto de la micro-modelización permite utilizar diferentes criterios de resistencia para los distintos grupos de elementos del modelo.

La investigación del estado tenso-deformacional bajo una carga incremental permite realizar un seguimiento de la formación y evolución de los daños locales en cualquier elemento del modelo, considerando que el inicio y desarrollo de tales daños hasta llegar al colapso determina la fase de deformación plástica del modelo de estudio. La micro-modelización en condición de tensión biaxial permitirá establecer el Estado Límite de la mampostería en estructuras sismorresistentes.

En Latinoamérica el estudio del comportamiento estructural de muros de mampostería ha sido abordado principalmente por México, Colombia, Chile y Costa Rica, y más del 65% de los artículos son producidos en México, aunque el interés científico se centra en las mamposterías reforzadas y confinadas. Esta realidad deja en evidencia que en Ecuador no se está estudiando el tema propuesto y además a nivel latinoamericano no se trata la micro-modelización estructural de mamposterías.

En el desarrollo de la investigación se revisarán los trabajos de destacados científicos, considerando la evolución y desarrollo del estado del arte, desde los principios fundamentales plasmados en trabajos antiguos, hasta los avances más recientes reflejados en diversas publicaciones en las áreas de: mecánica de mamposterías (19,27-31), modelización física y matemática de mamposterías (7-9,19-21,23,24,32-40) sismorresistencia de estructuras (41-46), entre otros.

## 20. OBJETIVOS

Determinar la dependencia de la magnitud de la fase plástica de deformación y la capacidad portante de la mampostería bajo un estado de tensión biaxial en función de las condiciones de interacción de contacto ladrillo-mortero.

## 21. ESPECÍFICOS

1. Determinar cuantitativamente la realidad local, regional y nacional sobre el uso de las mamposterías en la construcción y el interés científico sobre el desempeño sísmico de las mamposterías no reforzadas de ladrillo.
2. Determinar las propiedades físico-mecánicas de los materiales constitutivos de la mampostería no reforzada con un énfasis en los ladrillos de mayor uso a nivel local y regional.
3. Realizar ensayos de modelos físicos y simulación de modelos matemáticos de mamposterías en condiciones de tensión biaxial para determinar el estado límite y la fase de deformación plástica.

## 22. MARCO METODOLÓGICO

La investigación se divide en 2 componentes fundamentales. El primer componente se trata de investigación cuantitativa que recopilará, analizará y cuantificará de manera estructurada la información levantada en campo o mediante encuestas tiene como propósito dar respuesta al primer objetivo específico. El segundo componente se trata de investigación experimental y está conformado por la elaboración y experimentación de modelos físicos y la elaboración y simulación de modelos matemáticos mediante la micro-modelización con elementos finitos. Como base metodológica, se emplearán los trabajos de investigación científica de renombrados autores sobre sismorresistencia aplicada a estructuras de mampostería, mecánica de mamposterías, métodos de modelización de materiales compuestos de segmentos homogéneos, tecnologías computacionales de análisis de elementos finitos multietapa, así como presupuestos asumidos en los campos de la mecánica estructural, teoría de la elasticidad y métodos numéricos de análisis computacional.

Se desarrollará un método de modelización del proceso de variación estructural multietapa del modelo de prueba, lo que permitirá considerar el efecto de los cambios en la rigidez de los elementos sobre la distribución de tensiones en el modelo en su conjunto, asegurando la transferencia del Estado Tenso-Deformacional (ETD) de una etapa de cálculo a otra.

Para la modelización de todas las variantes posibles de los mecanismos de falla, se desarrollará un sistema de criterios de resistencia, basado en las características particulares de la resistencia de los materiales constitutivos de la mampostería y las condiciones de su interacción, lo que permitirá considerarlos de manera correcta en los experimentos.

Se desarrollará y verificará un modelo estructural de mampostería para condiciones de tensión biaxial, que se diferencia de las implementaciones anteriormente realizadas por otros investigadores ya que toma en consideración el mecanismo de interacción estructural entre los materiales constitutivos (ladrillo y mortero) en la interface o zona de contacto. El modelo desarrollado de mampostería permitirá rastrear la formación gradual y acumulación de tensiones y fallas locales en cualquier elemento del modelo con un incremento gradual de cargas.

Los estudios e investigación experimentales se desarrollarán utilizando equipos e instrumentos de laboratorio para prueba y medición, que incluyen:

Máquinas de ensayo que permiten cargar las muestras con el control de las fuerzas transmitidas a la muestra (prensas, marcos o pórticos de carga); equipos para medir deformaciones, desplazamientos y aceleraciones (deformímetros, galgas extensiométricas, sensores inductivos de desplazamiento, acelerómetros, extensómetros, etc.); así como equipos varios de laboratorio (computadoras, balanzas, bandejas, hornos, calibradores, flexómetros, plomadas, niveles, palas, tamices, cilindros, brochas, etc.) y otros implementos de papelería y medios de transporte que sean necesarios.

En lo que aplique, la realización y el procesamiento de los resultados experimentales se realizarán de acuerdo con las normativas y estándares nacionales e internacionales pertinentes.

## **F. IMPACTO DEL PROYECTO**

---

### **23. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA**

El presente proyecto contribuye a la mejora de la calidad de vida de la población, ya que garantiza la preservación y protección integral del patrimonio. Además, contribuye a brindar seguridad ante la amenaza de posibles eventos sísmicos.

En función de los resultados obtenidos dentro de la presente investigación, se establecerán criterios y recomendaciones técnicas validadas, mismas que determinarán guías para ser aplicadas en la construcción de viviendas sociales, estableciendo los parámetros básicos necesarios para la construcción de estructuras de mampostería, garantizando de esta manera el funcionamiento y buen desempeño estructural durante eventos sísmicos.

El tipo de ladrillo elegido por los constructores puede ser un factor importante al momento de iniciar una construcción; es por ello, que se vuelve trascendental el adoptar mampuestos que garanticen la seguridad y bienestar de la población.

### **24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO**

Los resultados esperados son:

Obtener datos cuantitativos sobre el empleo de mamposterías de ladrillo cerámico a nivel local, regional y nacional.

Obtener datos reales, sobre la base de ensayos de laboratorio, de las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos que se producen a nivel local y regional.

Generar modelos numéricos de mamposterías en condiciones de tensión biaxial que simulen las acciones sísmicas considerando los mecanismos estructurales de interacción de contacto entre ladrillo y mortero.

Establecer la dependencia de la magnitud de la fase plástica de deformación y la capacidad portante de la mampostería, bajo un estado de tensión biaxial, considerando las condiciones de interacción entre ladrillo y mortero en las juntas de acuerdo a las particularidades sísmicas, constructivas y de materiales de la región.

Por otra parte, los resultados de la investigación tendrán un impacto socioeconómico ya que podrían desembocar en una disminución de costos en la construcción de vivienda de interés social sin perjudicar la seguridad estructural ante eventos sísmicos. Así mismo, la investigación tendría un impacto ya que los resultados pudieran ser considerados en los procesos de actualización de las normativas de construcción pertinentes. En tanto que el impacto técnico se centra en compartir la información y los resultados con los profesionales del ramo y la comunidad académica.

La ejecución del proyecto, dentro de los alcances planteados en los objetivos, la metodología de investigación y el tiempo de duración, no supone impacto ambiental adverso. Sin embargo, desde el punto de vista de la relación entre el sistema constructivo investigado y el impacto ambiental, se podrían plantear futuras investigaciones interdisciplinarias que evalúen la aplicabilidad de la tecnología con un enfoque en el análisis y comparación de la huella de carbono, tiempo de vida útil, niveles de confort térmico, acústico, etc.

Otro aspecto que tiene estrecha relación con la investigación propuesta es la resiliencia del sistema constructivo estudiado. Esta resiliencia, al ser evaluada en términos de vulnerabilidad sísmica de aplicaciones del sistema constructivo, generará un impacto ambiental positivo si se llega a demostrar la factibilidad de respuesta sísmica de las propuestas planteadas.

## 25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del proyecto generarán una base de información cuantitativa y experimental que sirva para futuras investigaciones. Además, se debe considerar que en el proyecto se desarrollarán y aplicarán técnicas de modelización numérica y experimental de mamposterías no reforzadas, considerando tanto el mecanismo de interacción de contacto, como el comportamiento de la mampostería bajo condiciones de tensión biaxial de un modelo de material compuesto bicomponente de fragmentos homogéneos. Estas técnicas podrán ser replicadas y mejoradas con nuevas metodologías en futuras investigaciones en diferentes niveles espaciales y temporales.

Es pertinente indicar que, para la consecución del proyecto, será necesario contar con la colaboración de alumnos de pregrado y maestría para el desarrollo de las actividades tanto del componente de investigación cuantitativa, como del componente de investigación experimental. En función de esto se podrán realizar prácticas preprofesionales, trabajos de titulación y proyectos de vinculación con la sociedad que generará una transferencia directa de conocimiento y resultados.

El principal medio de transferencia de resultados de la investigación será la publicación artículos científicos indexados, para lo cual se prevé, más no se limita a, la publicación de mínimo de 2 artículos en revistas indexadas en las bases Latindex y Web of Science, así como 1 artículo en revista indexada en SCOPUS de cuartiles altos.

Adicionalmente se podrán desarrollar otros documentos para la difusión de resultados; como lo son informes técnicos, trabajos de titulación y presentaciones en congresos y conferencias científicas.

## 26. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MIDUVI. Norma Ecuatoriana de la Construcción. Diseño Sismo Resistente (NEC-SE-DS). Ecuador; 2015 p. 135.
2. Celi C, Pantoja JC, Sosa D, Ayala C. Vulnerabilidad sísmica de Quito Ecuador, fase I: curvas de capacidad de las tipologías estructurales, Proyecto GEM - SARA. Rev PUCE. 2018;106(July 2020):41-79.
3. INEC. Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Fascículo Provincial Pichincha. Análisis del Censo Población y Vivienda INEC. 2010;1(1):7.
4. INEC. Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Fascículo Provincial Azuay. Análisis del Censo Población y Vivienda INEC. 2010;1(1):8.

5. INEC. Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Fascículo Provincial Guayas. Análisis del Censo Población y Vivienda INEC. 2010;1(1):7.
6. Rivas A, Chávez B. Clasificación tipológica de las edificaciones en el centro histórico de Quito (Classification of Buildings Typological in the Historical Center of Quito). 2016;21:203–16.
7. Kabantsev OV. Scientific basis of the structural theory of masonry for the assessment of limit states of masonry structures in earthquake resistant buildings (in Russian). Doctoral Thesis. [Moscow]: National Research University. Moscow State University of Civil Engineering (MGSU); 2016.
8. Capozucca R. Experimental response of historic brick masonry under biaxial loading. *Constr Build Mater.* 2017;((157)):539–56.
9. Morandi P, Butenweg C, Magenes G. Latest Findings on the Behaviour Factor  $q$  for the Seismic Design of URM Buildings. *Bull Earthq Eng.* 2021;42.
10. Kuricin EM. Heritage of the brick or information embedded in the brick from historical viewpoint (in Russian). *Notes Min Inst.* 2012;196(14):329–32.
11. Wong I, Dober M, Hemphill-Haley M, Terra F. Seismic Hazard Along the Southern Coast of Ecuador. In: 15 WCEE. Lisboa; 2012. p. 10.
12. Chunga K, Quiñonez MF, Stalin B, Montenegro G. Seismic Hazard Assessment for Guayaquil City (Ecuador): Insights from Quaternary Geological Data Kervin Chunga. *Dark Nat - Rapid Nat Chang Hum Responses, Final Meet Dark Nat Proj.* 2005;(August):1–4.
13. Beauval C, Marinière J, Yepes H, Audin L, Nocquet J -M., Alvarado A, et al. A New Seismic Hazard Model for Ecuador. *Bull Seismol Soc Am [Internet]*. 2018 Jun 3;108(3A):1443–64. Available from: doi: 10.1785/0120170259
14. Soulas JP, Eguez A, Yepes H, Perez H. Active tectonics and seismic hazard in the Ecuadorian Andes and the extreme south of Colombia. *Ecuadorian Geol Bull.* 1991;2(1):3–11.
15. Parra H, Benito MB, Gaspar-Escribano JM. Seismic hazard assessment in continental Ecuador. Vol. 14, *Bulletin of Earthquake Engineering.* Springer Netherlands; 2016. 2129–2159 p.
16. Yepes H. Probabilistic seismic hazard assessment in Ecuador : inputs , practical applications and communication. *Earth Sci.* 2015;
17. Quinde Martínez PD, Reinoso Angulo E. Seismic hazard assessment for Ecuador and Design Spectra proposed for the city of Cuenca. *Rev Ing Sísmica.* 2016;1(94):16.
18. Ortiz O. *Sismotectónica y Peligrosidad Sísmica del Ecuador.* [Madrid]: Universidad Complutense de Madrid; 2013.
19. Kopanitsa DG, Kabantsev OV, Useinov ES. Experimental Investigations of the Masonry Fragments To the Action of Static and Dynamic Loads. *Bull Tomsk State Univ Archit Civ Eng.* 2012;4(37):157–78.
20. Belov NN, Kabantsev OV, Kopanitsa DG, Yugov NT. Calculative-experimental method to Analyze Dynamic Strength of Reinforced Concrete Structures (in Russian). Moscow: STT Publishing; 207AD. 290 p.
21. Casapulla C, Mousavian E, Argiento L, Ceraldi C, Bagi K. Torsion-shear behaviour at the interfaces of rigid interlocking blocks in masonry assemblages . *Experimental investigation and analytical approaches.* 2021;
22. Kabantsev O. Modeling Nonlinear Deformation and Destruction Masonry under Biaxial Stresses Part 2 - Strength Criteria and Numerical Experiment. *Appl Mech Mater.* 2015;725–726:808–19.
23. Page AW. The biaxial compressive strength of brick masonry. *Proc Inst Civ Eng (London) Part 1 - Des Constr.* 1981;71(pt 2):893–906.
24. Kabantsev O. Modeling Nonlinear Deformation and Destruction Masonry under Biaxial Stresses Part 1 – Masonry as Simulation Object. *Appl Mech Mater.* 2015;725–726:681–96.
25. Lourenco PB. *Computational strategies for masonry structures.* Delft, the Netherlands: Delft University Press; 1996. 210 p.
26. Lourenço PB, Rots JG, Blaauwendraad J. Two approaches for the analysis of masonry structures. *Heron.* 1995;40(4):313–40.

27. Oniszczyk LI. The theory of strength of masonry on an experimental basis (in Russian). Moscow: Sroyizdat; 1959. 208 p.
28. Mojsilović N. Strength of masonry subjected to in-plane loading: A contribution. *Int J Solids Struct.* 2011;48(6):865–73.
29. Bukowski Ł, Szojda L. Analysis of Brick-wall Structural Behavior under Compression in Its Plane. *Procedia Eng.* 2017;(193):329–36.
30. Ulibin AV, Zubkov SV. On strength control methods for ceramic bricks in building inspections (in Russian). *Mag Civ Eng.* 2012;(3):29–34.
31. Derkach VN, Zhernosek NM. Methods of estimating the durability of stone masonry in domestic and foreign practices of inspection of buildings and structures. *Bull Belarusian-Russian Univ.* 2010;3(28):135–42.
32. Shakarami B, Kabir MZ, Nezhad RS. Numerical modeling of a new reinforced masonry system subjected to in-plane cyclic loading. *Sci Iran.* 2020;27(6 A):2790–807.
33. Ghiassi B, Soltani M, Tasnimi AA. A simplified model for analysis of unreinforced masonry shear walls under combined axial, shear and flexural loading. *Eng Struct.* 2012;(42):396–409.
34. D’Altri AM, Cannizzaro F, Petracca M, Talledo DA. Nonlinear modelling of the seismic response of masonry structures : Calibration strategies. *Bull Earthq Eng.* 2021;19(7):11–55.
35. Jäger W, Bakeer T, Schöps P. Simulation of Masonry in ANSYS and LS-DYNA The Features and Challenges. *ANSYS Conf 27th CADFEM Users’ Meet.* 2009;(NOVEMBER 2009):1–15.
36. Baqueiro F, Gómez M, Rivera V, Marín JV. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto Determination of the diagonal compressive strength and the shear modulus of masonry constructed with hollow concrete blocks. *Ingeniería.* 2009;2(13):41–50.
37. Frumento S, Magenes G, Morandi P, Calvi GM. Interpretation of experimental shear tests on clay brick masonry walls and evaluation of q-factors for seismic design. Pavia; 2009.
38. Capozucca R, Magagnini E, Pace G. FE Modelling of Experimental Brickwork Masonry Building Under Eccentric Shear Force. *Open Civ Eng J.* 2017;11(1):1036–58.
39. Fattal S, Jokel F. Failure hypothesis for masonry shear walls. *Proc ASCE.* 1976;102(ST3):515–32.
40. Allen C, Masia M, Page A, Griffith M, Ingham J. Nonlinear finite element modelling of unreinforced masonry walls with openings subjected to in-plane shear. *13th Can Mason Symp.* 2017;(June).
41. Borges JF, Ravara A. Earthquake engineering: seismic design of reinforced concrete buildings. Lisbon; 1969. 135 p.
42. Newmark NM, Rosenblueth E. *Fundamentals of Earthquake Engineering.* New York: Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs; 1971. 344 p.
43. Esteva L, Rascón O, Gutiérrez A. Lessons from some Recent Earthquakes in Latin America. In: *RILEM International Symposium on Effect of Repeated Loading of Materials and Structures.* RILEM; 1966. p. 58–73.
44. Housner GW, Martel RR, Alford JL. Spectrum analysis of strong-motion earthquakes\*. *Bull Seismol Soc Am.* 1953;43(2):97–119.
45. Veletsos AS, Newmark NM, Chelapati C V. Deformation Spectra for Elastic and Elastoplastic Systems Subjected to Ground Shock and Earthquake Motions. *Proc 3rd World Conf Earthq Eng.* 1965;(3):II-663–82.
46. Birbraer AN. *Seismic Analysis of Structures.* St. Petersburg: Nauka; 1998. 255 p.

## G. ANEXOS

---

### **Planilla de anexos del Proyecto**

```
[[{"title":"Anexos_Mamposter\u00eda","comment":"Presupuesto y Cronograma proyecto Mamposter\u00eda","size":"98.332","name":"Anexos%20al%20proyecto%20UCACUE-Convocatoria-VII.xlsx","filename":"fu_hz9kee2ah5n6h73","ext":"xlsx"}]]
```

*Número de Archivos: 1*

### **Documentación adicional**

*Número de archivos: 0*



**DIRECTOR DEL PROYECTO: CÉSAR**  
DAVID CAJAMARCA ZÚÑIGA  
CÓDIGO DE PROYECTO: PICVII19-87



Ing. Javier Cabrera Mejía, PhD.  
**JEFE DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN**