

Vulnerabilidad sísmica de centros poblados: estudio de caso

Seismic vulnerability of populated centers: case study

Ing. Daniela Marcela Criado-Rodríguez¹, Ing. William Alonso Pacheco-Vergel¹, Ph.D. Nelson Afanador-García²,

¹ Programa Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia, <https://orcid.org/0000-0002-7679-4092>, 0000-0003-2519-6276, Email: {danielamcr10, aarwi27}@gmail.com

² Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, Colombia, <https://orcid.org/0000-0001-5463-2036>, Email: nafanador@ufps.edu.co

Como citar: D. M. Criado, W. A. Pacheco y N. Afanador, "Vulnerabilidad sísmica de centros poblados: estudio de caso", *Revista Ingenio*, vol. 17, n°1, pp.43-48, 2020, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2441>.

Fecha de recibido: 25 de julio de 2019
Fecha aprobación: 14 de noviembre de 2019

RESUMEN

Palabras claves:

Cristo rey, evaluación visual rápida, mam-posteria, riesgo sísmico, vulnerabilidad sísmica.

Este trabajo de investigación tuvo por objetivo determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del barrio Cristo Rey del municipio de Ocaña, Norte de Santander, aplicando la metodología de la Agencia Federal para la Gestión de Emergencias (FEMA), FEMA P-154. El barrio que constituyen el caso de estudio no se aleja de la realidad de cualquier otro barrio en Colombia, donde los asentamientos se han dado sin tener en cuenta ninguna proyección urbanística ni mucho menos estudios más completos como, microzonificación sísmica. Los tipos de construcciones encontradas fueron viviendas construidas con sistemas de mampostería simple y algunas con mampostería confinada, con irregularidades en planta, vertical y planta-vertical, además de riesgo geológico al desplazamiento y un alto porcentaje de viviendas construidas antes de 1984. El resultado encontrado fue viviendas en los tres niveles de vulnerabilidad sísmica, siendo el mayor porcentaje el nivel de vulnerabilidad sísmica alto.

ABSTRACT

Keywords:

Cristo rey, rapid visual assessment, masonry, seismic risk, seismic vulnerability.

This work aimed at determining the level of seismic vulnerability of the homes in Cristo Rey neighborhood in the municipality of Ocaña, Norte de Santander, applying FEMA P-154 methodology. The neighborhood that constitutes the case study is not far from the reality of any other neighborhood in Colombia. Also, these settlements have developed without taking into account any urban planning, nor more complete studies such as seismic microzonation. The types of constructions found were houses built with simple masonry and some with confined masonry, with plan, vertical, and plan-vertical irregularities, in addition to geological risk to displacement and a high percentage of houses built before 1984. As a result, houses were found at all three levels of seismic vulnerability, the highest percentage being the high level of seismic vulnerability.

1. Introducción

Colombia está ubicada sobre la placa Suramericana y está rodeada por la placa Nazca y del Caribe lo que hace que sea un país con una gran probabilidad de que ocurran sismos. En años anteriores, en la región de Norte de Santander han ocurrido sismos ocasionando colapso de estructuras y pérdidas humanas como las presentadas en el año 1875 y 1981 en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander. En este departamento han ocurrido 5 sismos de gran magnitud de una lista de 52 grandes sismos ocurridos en todo el país a lo largo de la historia [1]; estos sismos corresponden a intensidades mayores o iguales a 8 en una escala micro sísmica EMS-98 y a una magnitud mayor o igual a 6 en la escala de Richter; que representa el 9.6% de estos grandes sismos se han presentado en Norte de Santander. El 10 de marzo de 2015 las edificaciones del municipio de Ocaña, especialmente el corregimiento de Otaré fue

afectada por un sismo de magnitud 6.6 grados en la escala de Richter con epicentro en la mesa de los santos. Este sismo causó grietas en las edificaciones, dejando en evidencia el gran riesgo sísmico que presenta el municipio de Ocaña, en especial los corregimientos, debido al tipo de construcción y por falta de un estudio detallado que indique el nivel de vulnerabilidad sísmica de centros poblados.

Un análisis de vulnerabilidad sísmica para centros poblados establece cuál puede ser el riesgo ante un evento telúrico que poseer diferentes tipos de construcción, por años de construcción y por código de construcción [2]. En Colombia han existido: el código colombiano de construcción sismo resistente de 1984 (CCCSR-84) [3], la norma sismo resistente de 1.998 (NSR-98) [4] y a la actual norma sismo resistente del 2010 (NSR-10) [5], de los cuales los códigos [4-5] establecen procedimientos

Autor para correspondencia

Correo electrónico: danielamcr10@gmail.com (Daniela Marcela Criado Rodríguez)

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Artículo bajo la licencia CC BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>)



para determinar el nivel de vulnerabilidad de edificación existentes. En la actualidad no existe una normativa en Colombia para determinar la vulnerabilidad en centros poblados o barrios, aunque existe un método cualitativo que mediante una inspección visual permite valorar rápidamente la vulnerabilidad de una edificación, con una metodología fácil de aplicar, FEMA 154 [6].

El Examen visual rápido para detección de edificaciones con potencial de riesgos sísmicos, se discutió en una serie de documentos que figuran en “Las técnicas para la evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica” [7]. La metodología FEMA 154 se originó poco después en 1988 con la publicación del informe FEMA 154, manual de exploración visual rápida de los edificios para los riesgos sísmicos potenciales (FEMA, 1988). Durante la siguiente década a la publicación de la primera edición del manual FEMA 154, el procedimiento de evaluación visual rápida, en inglés Rapid Visual Screening (RVS) fue utilizado por organizaciones del sector privado y agencias gubernamentales para evaluar más de 70000 edificios en Estados Unidos [8]. A través de esta aplicación generalizada, se obtuvo el conocimiento sobre quiénes son los posibles usuarios del procedimiento RVS y del porque pueden usarlo, la facilidad de uso del manual, y la exactitud de sistema de puntuación del procedimiento.

En Latinoamérica debido a la alta sismicidad de Ecuador en el año 2016 se realizó el estudio denominado “Evaluación técnico-visual de estructuras según NEC-SE-RE en el sector “la Armenia 1” para la determinación de riesgo ante fenómenos naturales específicos” [9], donde se implementó el manual Fema 154. Mientras que en Colombia su utilización ha sido moderada, aunque algunos casos exitosos han sido reportados como el estudio de vulnerabilidad sísmica en estructuras de edificaciones indispensables en Santiago de Cali.

2. Metodología

La aplicación del método cualitativo FEMA 154 para el análisis de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, está diseñado para ser realizado sin efectuar cálculos de análisis estructural. El método permite registrar datos relacionados a la edificación, en cinco diferentes formularios, dependiendo la sismicidad, ofreciendo como resultado una puntuación que determinará si se requiere una evaluación más detallada. Para la aplicación de la metodología FEMA P-154 se hace necesario realizar una equivalencia entre las zonas de amenaza sísmica definidas en los documentos FEMA P-154 y la NSR-10, dado que la primera considera

cinco zonas de amenaza sísmica, mientras que la NSR-10 tiene tres, (Tabla 1.)

Tabla 1. Equivalencia en zona de amenaza sísmica, aceleración espectral (S1) y aceleración pico efectiva (Aa), entre FEMA P-154 y la NSR-10.

Zona de sismicidad	S1	Amenaza sísmica	Aa
Baja	< 0.10g	Baja	< 0.10g
Moderada	≥ 0.10g < 0.20g	Intermedia	≥ 0.10g < 0.20g
Moderada-Alta	≥ 0.20g < 0.40g	Alta	≥ 0.20g < 0.40g
Alta	≥ 0.40g < 0.60g	Alta	≥ 0.40g < 0.50g
Muy alta	≥ 0.6g	N/A	N/A

N/A, no aplica.

Teniendo definida la zona de amenaza sísmica de acuerdo a la Tabla 1, se toma el formulario RVS indicado.

El formulario de recolección de datos es diligenciado para cada edificación a evaluar, a través de los siguientes pasos:

1. Verificación y actualización de la información de identificación de la edificación.
2. Identificar el número de pisos y la forma, además de una revisión de la vista en planta y en altura.
3. Fotografía de la edificación.
4. Determinar y documentar la ocupación.
5. Revisar el tipo de suelo y las amenazas geológicas.
6. Identificar problemas, irregularidades del edificio y cualquier amenaza potencial de caída de elementos exteriores.
7. Agregar comentarios sobre condiciones o circunstancias inusuales que puedan afectar la evaluación.
8. Identificar el material del edificio, sistema de soporte de cargas y sistema resistente de fuerzas sísmicas, de acuerdo al manual FEMA P-154 y seleccionando el puntaje.

En la Figura 1 se presenta la adaptación del formulario RVS que se compone de varias secciones, la primera sección consta de una zona para fotografía y un bosquejo de la planta y elevación de la edificación. Una segunda sección del formulario para la identificación de la edificación. La tercera sección corresponde a datos de año de construcción, área de construcción, ocupación, tipo de suelo, peligros geológicos, adyacencia, irregularidades y peligros externos. En la parte inferior del formulario, se establece la puntuación

básica fundamentada en uno de los 17 diferentes tipos de construcción las cuales tienen como características similares su material de construcción y su sistema estructural que resiste las cargas sísmicas. Determinada la calificación final de nivel 1, se determina como la sumatoria de los modificadores de calificación que se han seleccionado para su edificación.

Formulario de evaluación visual según la vulnerabilidad sísmica de edificaciones FEMA P-154 Formateo para la recolección de datos

Unidad de Información: Dirección: Código postal: _____
 Número de la edificación: _____
 Uso: _____
 Latitud: _____ Longitud: _____
 Sur: _____
 Fecha: _____

FOTOGRAFIA

OTROS PELIGROS

ACCIONES REQUERIDAS

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	DNK	W1	W2A	W2B	W2C	W2D	W2E	W2F	W2G	W2H	W2I	W2J	W2K	W2L	W2M	W2N	W2O	W2P	W2Q	W2R	W2S	W2T	W2U	W2V	W2W	W2X	W2Y	W2Z			
Plantas livianas	4.1	3.7	3.2	2.3	2.2	2.9	2.2	2.8	1.7	2.1	1.4	1.8	1.5	1.8	1.8	1.2	1.2	2.2													
Irregularidad Vertical (severa, VLI)	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0	-1.2	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.0	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	N/A													
Irregularidad Vertical (moderada, VLM)	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	N/A													
Irregularidad en Planta, PL1	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0	-1.1	-1.0	-1.1	-1.0	-1.1	-1.0	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	N/A													
Irregularidad en Planta, PL2	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	N/A													
Irregularidad en Planta, PL3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	N/A													
Irregularidad en Planta, PL4	1.5	1.9	2.3	1.4	1.4	1.0	1.9	1.9	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	N/A													
Estado Tipo A-II	0.5	0.6	0.9	0.8	0.9	0.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	N/A													
Estado Tipo B-I (3 pisos)	0.0	0.1	-0.4	-0.4	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	N/A													
Estado Tipo B-II (3 pisos)	-0.5	-0.8	-1.2	-0.7	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	N/A													
Estado Tipo C	1.6	1.2	1.0	0.7	0.8	0.4	0.9	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	N/A													

PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1 = 2.0

Figura 1. Formulario nivel 1. Fuente. FEMA P-154.

Si la puntuación final del formulario nivel 1 (SL1) es mayor o igual a la puntuación mínima (S_{mín}) igual a 2.0 se procede a realizar el formulario nivel 2, (Figura 2.)

Formulario de evaluación visual según la vulnerabilidad sísmica de edificaciones FEMA P-154 Formateo para la recolección de datos

Unidad de Información: Nombre de la edificación: _____
 Puntaje final del primer nivel (SL1) = _____
 Modificadores de Irregularidad del Nivel 1: _____
 Irregularidad Vertical (PL) = _____
 Irregularidad en planta, PL1 = _____
 Irregularidad en planta, PL2 = _____
 Irregularidad en planta, PL3 = _____
 Irregularidad en planta, PL4 = _____

MODIFICADORES DE CALIFICACIÓN PARA SER CONSIDERADOS EN EL PUNTAJE FINAL DEL NIVEL 1

Item	Si	Subtotal
Irregularidad en planta, VLI	Si	-1.3
Irregularidad en planta, VLM	Si	-0.8
Irregularidad en planta, PL1	Si	-1.3
Irregularidad en planta, PL2	Si	-0.8
Irregularidad en planta, PL3	Si	-0.3
Irregularidad en planta, PL4	Si	1.5
Estado Tipo A-II	Si	0.5
Estado Tipo B-I (3 pisos)	Si	0.0
Estado Tipo B-II (3 pisos)	Si	-0.5
Estado Tipo C	Si	1.6

PUNTAJE FINAL NIVEL 2, SL2 = 2.0

Formulario de evaluación visual según la vulnerabilidad sísmica de edificaciones FEMA P-154 Formateo para la recolección de datos

Unidad de Información: Descripción de la edificación: _____
 Tipo de construcción: _____
 Ocupación: _____
 Estado Tipo: _____

MODIFICADORES DE CALIFICACIÓN PARA SER CONSIDERADOS EN EL PUNTAJE FINAL DEL NIVEL 2

Item	Si	No	Comentarios
Irregularidad en planta, PL1	Si	No	
Irregularidad en planta, PL2	Si	No	
Irregularidad en planta, PL3	Si	No	
Irregularidad en planta, PL4	Si	No	
Estado Tipo A-II	Si	No	
Estado Tipo B-I (3 pisos)	Si	No	
Estado Tipo B-II (3 pisos)	Si	No	
Estado Tipo C	Si	No	

PUNTAJE FINAL NIVEL 2, SL2 = 2.0

Figura 2. Formulario nivel 2. Fuente. FEMA P-154.

La calificación final del formulario nivel 2 se determina por medio de la suma de la calificación de referencia ajustada y los modificadores de calificación del Nivel 2 que son: modificador de calificación de irregularidades en elevación, modificador de calificación de irregularidades en planta y el modificador de redundancia, golpeteo, especificaciones particulares para distintas edificaciones y readecuaciones) [10]. El resultado final del formulario nivel 2 se debe trasladar al formulario del primer nivel y reemplazarlo por el resultado final. Además, el evaluador deberá indicar en el formulario 1 el resultado obtenido de la evaluación no estructural y completar las secciones: otros peligros y acciones requeridas [10].

3. Resultados

La metodología FEMA P-154 fue aplicada en el barrio Cristo Rey del municipio de Ocaña, Norte de Santander (N.STD), el cual consta de: 22 manzanas con 483 viviendas. La distribución en altura de las edificaciones, esta indicada en la figura 3.

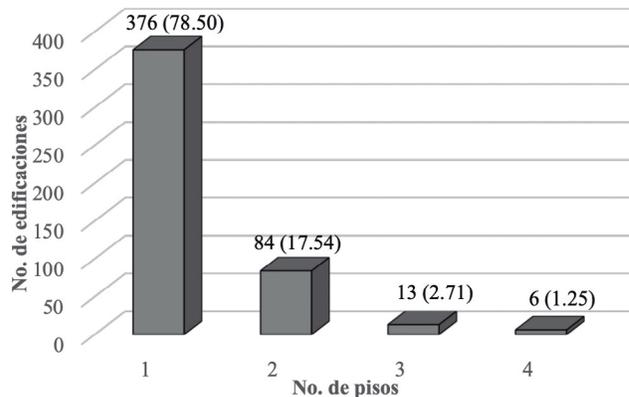


Figura 3. Edificaciones por número de pisos.

La comunidad del barrio Cristo Rey vive en edificaciones de un piso, 376 viviendas que representan el 78.50 % y 84 viviendas son de dos pisos, los cuales representan el 17.54 %, en menor cantidad 13 y 6 edificaciones son de tres y cuatro pisos, 2.71 % y 1.25 % respectivamente. La mayor parte de las edificaciones del barrio Cristo Rey no tuvieron en cuenta alguna normativa de construcción sismoresistente, (Figura 4.)

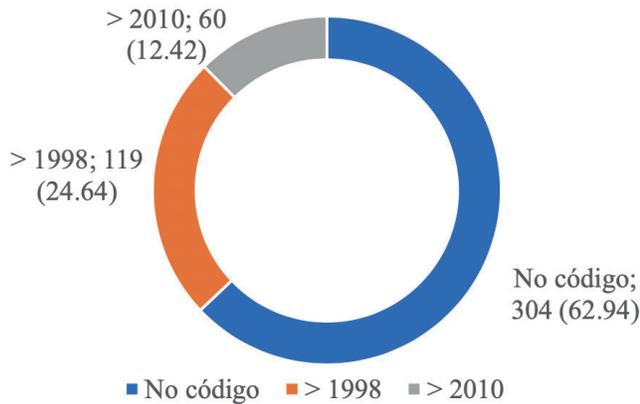


Figura 4. Construcciones vs. código de construcción.

De la figura 4 se puede observar que el 62.94 % que representan 304 edificaciones fueron construidas antes del código colombiano de construcción sismoresistente de 1984 [3], mientras que 119 edificaciones (24.64 %) fueron construidas entre 1998 y 2009. Sólo 60 edificaciones (representa el 12.42 % del total) fueron construidas en la vigencia del actual reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) [5]. El estudio de la zona se estableció que el barrio Cristo rey presenta zonas que pueden estar sujetas o ya tuvieron algún deslizamiento, (Figura 5.)

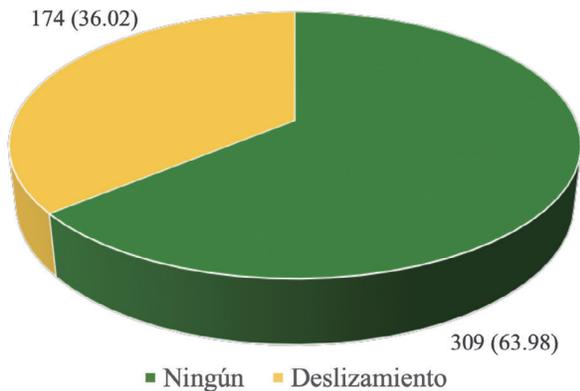


Figura 5. Riesgo geológico.

La auscultación realizada a la zona, determinó que 174 viviendas (36.02 %) están en zona de posible deslizamiento, en cuanto que, 309 viviendas no presentan riesgo geológico. Las viviendas de la zona de estudio presentan varias topologías de irregularidades, (Figura 6.)

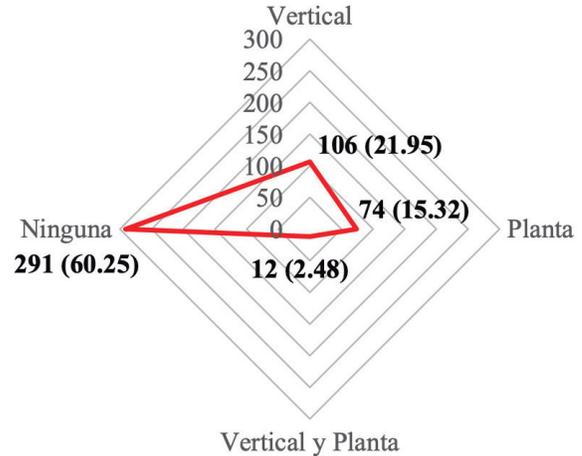


Figura 6. Edificaciones con irregularidades.

Diversos tipos de irregularidad fueron encontrados: 74 viviendas tienen irregularidad en planta (representan el 15.32 %), 106 viviendas con irregularidad vertical (21.95 %), 12 viviendas con irregularidad en planta y altura (2.48 %) y sólo el 60.25 % del total de viviendas no presenta irregularidad estructural, esto es 291 viviendas.

Realizada la evaluación de las viviendas se encontró que sólo 13 viviendas (2.69 %) presenta baja y media vulnerabilidad sísmica, (Figura 7.)

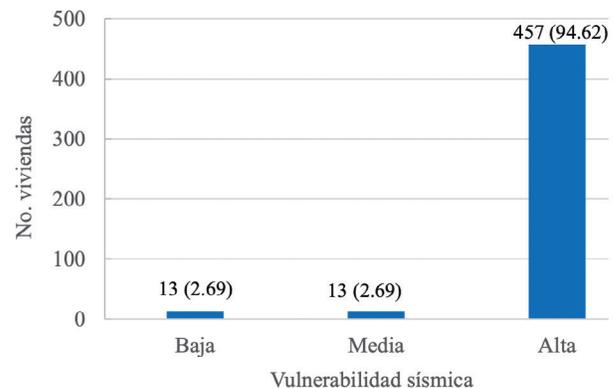


Figura 7. Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

El barrio Cristo Rey es altamente vulnerable, de 483 viviendas el 94.62 % de ellas, es decir 457 viviendas son altamente vulnerables sísmicamente, lo cual representa un porcentaje alto.

En la figura 8 se presenta la ciudad de Ocaña, N. STD. y la zona de estudio (barrio Cristo Rey) es indicada en un círculo, el cual permite observar que tiene un área importante y cuenta una alta densidad de ocupación, este barrio colinda con una circunvalación (de orden nacional).



Figura 8. Ocaña, N. STD.

La ciudad de Ocaña cuenta con una población de 111643 personas, mientras que el barrio Cristo Rey tiene 2277 personas, esto lo hizo objeto de estudio a fin de determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de sus viviendas. Fue elaborado un mapa de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de la zona de estudio, (Figura 9.) La zona de estudio no contaba con un estudio geotécnico y por tanto el tipo de suelo considerado es tipo D. Las edificaciones encontradas corresponden a edificaciones construidas en mampostería simple (380 viviendas, 78.67 %) y en mampostería confinada (103 viviendas, 21.33 %) La viviendas con vulnerabilidad sísmica baja son indicadas en color verde, mientras que las viviendas con vulnerabilidad media son identificadas en color amarillo. Las viviendas con vulnerabilidad sísmica alta son indicadas en color rojo,

lo que representa la mayoría de las construcciones del barrio Cristo Rey.

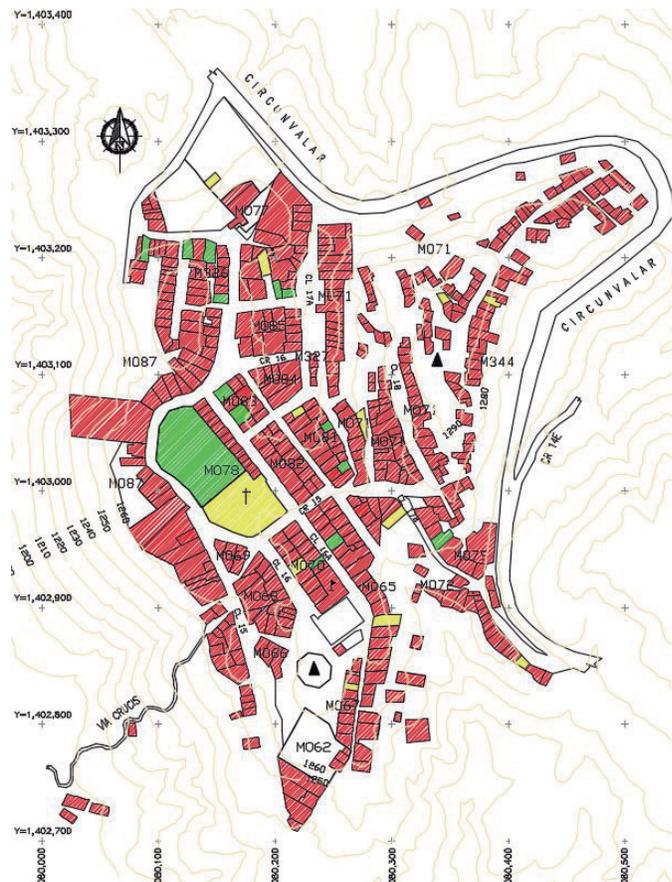


Figura 9. Mapa de vulnerabilidad sísmica usando la metodología FEMA P-154 del barrio Cristo Rey.

4. Discusión

Tener construcciones de 2, 3 y 4 pisos en zonas sísmicas, altamente vulnerables con porcentajes de 17.54, 2.71 y 1.25 del total de edificaciones, es un peligro en la eventualidad que se presente el sismo de diseño. Esto es lo que refleja la aplicación de la metodología FEMA P-154 al barrio Cristo Rey de la ciudad de Ocaña. La localidad presenta alto riesgo al deslizamiento con un 63.98 %, lo cual hace necesario contener los posibles movimientos de tierra con muros de contención, [11]. Es importante que los procedimientos de construcción sean los correctos para la elaboración de muros de mampostería confinados, [12-13-14], esto disminuye el riesgo de fallas tempranas y mejora el comportamiento del sistema de resistencia sísmica a eventos telúricos, además las viviendas fueron construidas en su mayoría en ausencia de códigos de construcción, para que tengan un comportamiento sísmico adecuado.

5. Conclusión

Las viviendas en gran parte del país fueron construidas antes de la entrada en vigencia de los códigos de construcción en Colombia, la ciudad de Ocaña y el barrio de Cristo Rey demuestran nuestra realidad en términos de calidad en la construcción. La investigación realizada al barrio Cristo Rey demostró que es altamente vulnerable a eventos sísmicos, pues sus construcciones presentan diversas patologías que van desde irregularidades en planta, vertical, planta y vertical, riesgo geológico, además las viviendas fueron construidas sin atender las disposiciones de códigos de construcción. Este trabajo le permite a la alcaldía municipal de Ocaña trazar planes de mejoramiento de viviendas que permita la disminución del riesgo sísmico de sus construcciones.

6. Agradecimientos

A la alcaldía municipal de Ocaña, N. STD. y a la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña; por su apoyo y colaboración.

7. Referencias bibliográficas

- [1] C. Chiarabba, P. De Gori, C. Faccenna, F. Speranza, D. Seccia, V. Dionicio & G. A. Prieto. "Subduction system and flat slab beneath the Eastern Cordillera of Colombia." *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol.17 no.1, pp.16-27, jan-2016. Doi: <https://doi.org/10.1002/2015GC006048>
- [2] E. Maldonado & G. Chio, "Estimación de las funciones de vulnerabilidad sísmica en edificaciones en tierra", *Ing. y Desarrollo*, vol. 25, pp. 180-199, nov-2009. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/279504910_Estimacion_de_las_funciones_de_vulnerabilidad_sismica_en_edificaciones_en_tierra
- [3] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. "Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes, 1984." Decreto 1400 de 1984, 1984.
- [4] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), "Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente (NSR-98)", Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 1998.
- [5] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), "Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10)", Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.
- [6] Federal Emergency Management Agency of United States. "Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook" (FEMA 154), Third Ed. 2017.
- [7] C. Scawthorn, editor, *Techniques for Rapid Assessment of Seismic Vulnerability*, American Society of Civil Engineers, New York, New York, 1986.
- [8] Federal Emergency Management Agency, , *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*, Second Edition, FEMA 154 Washington D.C, 2002.
- [9] W. Cando, O. Jaramillo, J. Bucheli & X. Paredes, "Evaluación técnico-visual de estructuras según NEC-SE-RE en el sector "La Armenia 1" para la determinación de riesgo ante fenómenos naturales específicos." *Revista de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador*, no.106, pp. 111-139, nov-2018.
- [10] Federal Emergency Management Agency of United States. "Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation," (FEMA, 2002b), Second Edition, 2002.
- [11] N. Afanador G. "Diseño sísmico de muros de contención en gravedad y voladizo." *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, no.20, vol. 2, pp. 97-104, 2012. Doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v20.n20.2012.195>
- [12] N. Afanador G., G. Guerrero G. & R. Sepúlveda M. "Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería." *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 22 número 1, pp. 53-58, 2012. <https://doi.org/10.18359/rcin.248>
- [13] N. Afanador G., A. Ibarra & C. López. Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. *Épsilon*, vol. 20, pp. 101-109, may-2013. Recuperado de: <http://oaji.net/articles/2015/2065-1432479456.pdf>
- [14] N. Afanador G., M. Carrascal D. & M. Bayona Ch. "Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada." *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 22, no.35, pp. 47-59, nov-2013. Doi: <https://doi.org/10.19053/01211129.2514>