

# Elaboración de un mapa que muestre los grados de vulnerabilidad sísmica, para viviendas de uso residencial en la comuna 7 de la ciudad de Cúcuta

Adriana Rodríguez Lizcano<sup>1</sup>

## Resumen

El riesgo sísmico no depende solamente de la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico, sino también del grado de vulnerabilidad que poseen muchas edificaciones que no han sido construidas bajo las reglamentaciones adecuadas, pues no cumplen con ciertas condiciones mínimas de estructuración, forma, resistencia lo que las hace más susceptibles a sufrir daños. La finalidad de la investigación es elaborar un mapa que muestre los grados de vulnerabilidad sísmica, para viviendas de uno y dos pisos de uso residencial, de los barrios Comuneros, Chapinero y Claret de la comuna 7 de la ciudad de Cúcuta. Se utilizó el método de índice de vulnerabilidad de (Benedetti y Petrini 1984), por medio de una muestra probabilística de 336 viviendas distribuida de manera proporcional según el barrio. El instrumento que se aplicó en la investigación, está diseñado según los parámetros a evaluar que establece la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente **NSR-98**. La investigación dio como resultados que el 70% de las viviendas se encuentran en un grado de vulnerabilidad sísmica alto, el 22% en un grado de vulnerabilidad sísmica intermedio y solo el 8% en un grado de vulnerabilidad sísmica bajo, además la investigación permitió concluir que existe relación entre el Grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas y el estrato.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad Sísmica, Índice de Vulnerabilidad, Grados de Vulnerabilidad, Aspectos Geométricos, Aspectos Estructurales.

## Abstract

The seismic risk doesn't depend on the threat or the probability of occurring a seismic event, but also the highest vulnerability that many buildings have, because they haven't been built with the appropriate regulations, also they don't have minimum structure conditions, shape, strength which make them more susceptible to damage. The purpose of the research is to develop a map that shows the seismic vulnerability of housing one or two floors of residencial Comuneros, Chapinero and Claret neighborhoods in the comuna 7 of Cúcuta city. We used the Vulnerability index method by (Benedetti and Petrini 1984) we chose a probability sample of 336 houses distributed proportionally according to the neighborhood. The instrument applied in this research is designed according to the parameters that The Colombian Earthquake Resistent Design and Construction NSR-98 established, the investigation showed that 70% of these houses are into the highest vulnerability seismic level, the 22% is into the intermediate vulnerability seismic level and just the 8% of the tested houses are into the lowest vulnerability seismic level, and the research also conclude that exists a big relation between the level of the seismic vulnerability of these houses and the social level of their habitants.

**Key words:** Siesmic vulnerability, vulnerability index, vulnerability levels, geometric aspects, structural aspects

<sup>1</sup>Mg. En educación, Ingeniera Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, Departamento de Matemáticas y Estadística. [adrianarodriguez@ufps.edu.co](mailto:adrianarodriguez@ufps.edu.co)

## Introducción

Colombia está localizada dentro de una de las zonas sísmicamente más activas de la tierra, la cual se denomina Anillo Circumpacífico y corresponde a los bordes del Océano Pacífico. El emplazamiento tectónico de Colombia es complejo pues en su territorio convergen la placa de Nazca, la placa Suramericana y la placa Caribe. Toda la costa occidental de Sur América se ve afectada directamente por la presión que ejercen las placas tectónicas sobre el continente americano; esta zona se conoce como el Cinturón de Fuego del Pacífico y sobre él se encuentra ubicado Colombia [1].

En Cúcuta se ha presentado una actividad sísmica activa, entre las más relevantes, se encuentran el movimiento ocurrido el 18 de Mayo de 1875, terremoto que destruyó la ciudad; en 1950 tres fuertes sismos, 126 personas murieron y dejaron miles de Nortesantandereanos sin vivienda; el 18 de octubre de 1981 ocurrió un sismo de amplitud moderada y con epicentro en Cúcuta, ocasionando daños en San Cristóbal - El Piñal (Venezuela), esto trae también un deslizamiento de tierra y causa la muerte de más de 200 personas [2].

Por otra parte, en Cúcuta, se han edificado viviendas de uno y dos pisos de uso residencial, las cuales no contienen ningún tipo de control técnico, dichas construcciones se encuentran en zonas de alto o intermedio riesgo sísmico que no cumplen con las normas mínimas para resistir fuerzas dinámicas y en muchos casos por falta de entendimiento o desconocimiento del Título E de la Norma Sismo Resistente de 1998, el Ingeniero Civil o Arquitecto deja en manos del Maestro de Obra la construcción de la vivienda y no tiene en cuenta los parámetros de dicho título mencionado.

De acuerdo a lo anterior, cabe preguntarse: ¿Qué tan vulnerable son las viviendas de uno y dos pisos de la comuna 7 de la ciudad de San José de Cúcuta, cuando es sometida a una acción sísmica?, ¿el grado de vulnerabilidad sísmica depende de el estrato socioeconómico?

La finalidad de la investigación es elaborar un mapa que muestre los grados de vulnerabilidad sísmica, para viviendas de uno y dos pisos de uso

residencial, de los barrios Comuneros, Chapinero y Claret de la comuna 7 de la ciudad de Cúcuta. El grado de vulnerabilidad sísmica se calculó por medio del método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini 1984), que utiliza los datos obtenidos mediante inspección para realizar una calificación de la calidad del diseño y construcción sismoresistente de las viviendas mediante un coeficiente denominado índice de vulnerabilidad, IV. El método hace una calificación numérica de parámetros estructurales y parámetros geométricos preestablecidos por expertos y calcula, a partir de estos valores, el índice de vulnerabilidad [3].

## Materiales y Métodos

Para el proyecto la investigación, está enmarcada dentro de un enfoque cuantitativo apoyado en un estudio de tipo campo que sigue un nivel descriptivo de corte transversal, por medio de un diseño no experimental por que se observo lo ya existente [4].

La población está conformada por 5983 viviendas, de las cuales 2.530 corresponden al barrio Chapinero, 2.270 al barrio Comuneros y 1.183 al Barrio Claret [5], se tomo una muestra estratificada de 336 viviendas.

El tamaño de la muestra se calculó con la fórmula para un muestreo estratificado, se estableció un nivel de confianza del 99% y un error de muestreo del 5%. Como no se conoce la varianza poblacional, se recurrió al resultado de la varianza muestral del porcentaje de viviendas de los barrios Claret, Comuneros y Chapinero de la comuna 7 que tienen grado de vulnerabilidad sísmica alto de acuerdo con los resultados de la prueba piloto realizada a la encuesta.

La selección de las viviendas fue proporcional al tamaño del barrio, utilizando el método de muestreo aleatorio estratificado de manera sistemática [4], la muestra quedo distribuida de la siguiente manera: para el barrio Comuneros 128 viviendas, para el barrio Chapinero 141 viviendas y para el barrio Claret 67.

El instrumento que se aplicó en la investigación, está diseñado de acuerdo con los parámetros a evaluar que establece la Norma Colombiana

de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98. Las encuestas fueron aplicadas por personal capacitado a cada una de las viviendas seleccionadas y con ayuda del método de observación directa se recogió y se registró las características que permitieron determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica en que se encuentra cada una de las viviendas.

La confiabilidad del instrumento fue del 83.5% calculada a través del método de mitades partidas, para la validez de contenido del instrumento se revisó como ha sido tratada la variable por otros investigadores anteriormente, Así mismo el dominio de contenido fue definido o establecido por la literatura, teoría y antecedentes.

En el análisis de los datos se uso tanto la estadística descriptiva como la estadística inferencial. Se construyen tablas de frecuencia y gráficos para la caracterización de las viviendas, para determinar el porcentaje de viviendas según el nivel y el grado de vulnerabilidad sísmica en que se encuentran de acuerdo con cada una de las variables medidas: irregularidad en planta, cantidad de muros en las dos dimensiones, irregularidad en la altura, muros confinados y reforzados, vigas de amarre o corona, características de la abertura, entrepiso y amarre de cubierta para viviendas de uno y dos pisos.

Así mismo, se realizó el análisis de correspondencia simple para determinar la asociación entre las variables cualitativas grado de vulnerabilidad vs estrato [6].

En la presente investigación la metodología se adaptó a las características propias de las edificaciones en la ciudad de Cúcuta; correspondiendo las modificaciones básicamente, a la inclusión y exclusión de algunos parámetros y definición de la calificación y el valor de importancia de cada uno. El modelo se basa en la identificación de los parámetros de la estructura que mayor influencia tienen en su respuesta sísmica.

Para la elaboración del mapa, se utilizaron los resultados obtenidos de la encuesta con relación a la proporción de viviendas con grado de vulnerabilidad bajo, intermedio y alto como estimador puntual para conocer la verdadera proporción de viviendas que tienen un grado de vulnerabilidad bajo, intermedio y alto. Luego se

calculó el número de viviendas total de la población según el grado de vulnerabilidad y se distribuye para cada uno de los barrios. Así mismo, se calculó el número de manzanas de acuerdo al grado de vulnerabilidad sísmica. Se elaboró el mapa y se categoriza el grado de vulnerabilidad sísmica por manzana a través de los siguientes colores: Color Rojo para alto grado de vulnerabilidad sísmica, color Anaranjado para grado intermedio de vulnerabilidad sísmica, color Amarillo para el bajo grado de Vulnerabilidad sísmica.

## Resultados y discusión

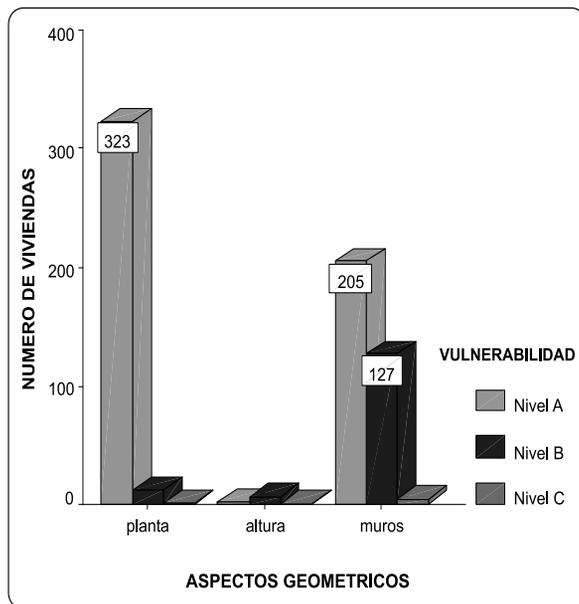
La investigación se desarrolló en los barrios: Claret, Chapinero y Comuneros que pertenecen a la comuna 7 de la ciudad de San José de Cúcuta, la caracterización de las viviendas, se realizó teniendo en cuenta las variables análisis por número de pisos por vivienda y análisis por estrato al que pertenece la vivienda.

Las encuestas aplicadas a la muestra de 336 viviendas, dieron como resultado que las viviendas de acuerdo con el estrato están distribuidas de la siguiente manera: 226 viviendas pertenecen al estrato 2, 102 viviendas al estrato 1 y solamente 7 viviendas pertenecen al estrato 3. Con relación al número de pisos por vivienda se encontró que 327 viviendas son de un solo piso, mientras que sólo 9 viviendas son de dos pisos.

Para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica en las viviendas de un piso y dos pisos de uso residencial en los barrios Comuneros, Chapinero y Claret, se fundamentó en dos parámetros importantes como son: los aspectos geométricos de la vivienda y los aspectos estructurales de las mismas.

El análisis de las viviendas por aspectos geométricos se realizó según las siguientes variables: irregularidad en planta de la edificación, cantidad de muros en las dos direcciones e irregularidad en altura en cada una de las viviendas que conforma la muestra del estudio y a su vez cada una de las variables analizadas en este proyecto se clasificaron en tres niveles: nivel A, nivel B y nivel C y cada uno de estos niveles tiene unos indicadores que miden cada variable.

**Gráfico No. 1** Número de viviendas de acuerdo con el nivel de vulnerabilidad en que se encuentran según los aspectos geométricos.

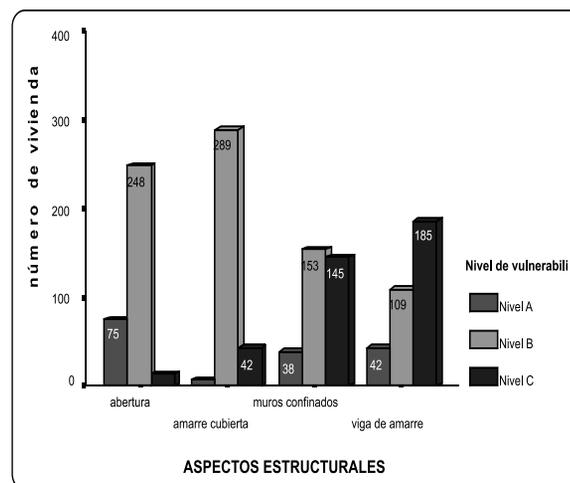


Las encuestas aplicadas a las 336 viviendas mostraron que las variables que se encuentran en el nivel de vulnerabilidad A son: irregularidad en planta de la edificación y la variable cantidad de muros en las dos direcciones. Lo cual significa que las viviendas con relación a estas dos variables se encuentran en un nivel de vulnerabilidad sísmica baja

El análisis de las viviendas por aspectos estructurales se realizó para las siguientes variables: Muros confinados y reforzados, vigas de amarre, características de la abertura, entrepiso, y amarre de cubiertas, en cada una de las viviendas que conforma la muestra del estudio. Es de aclarar que para las viviendas de un piso no se analiza la variable de entrepiso.

Con respecto al parámetro de aspectos estructurales se encontró que las variables amarre de cubiertas y características de las aberturas que presentan las viviendas están en un nivel B, es decir en un nivel de vulnerabilidad sísmica intermedia, mientras que las viviendas según las variables viga de amarre y muros confinados y reforzados se encuentran en el nivel C, es decir en un nivel de vulnerabilidad sísmica alta.

**Gráfico No. 2** Número de viviendas según el nivel de vulnerabilidad en que se encuentra según los aspectos estructurales



El nivel de vulnerabilidad sísmica en que se encuentran las viviendas de dos pisos a las cuales se aplico la encuesta, según el aspecto estructural de entrepiso indico que todas las viviendas se encuentran en el nivel B, lo que indica un nivel de vulnerabilidad sísmica media.

El índice de vulnerabilidad sísmica varía dependiendo del número de pisos que tiene la vivienda, para las viviendas de un piso no se tienen en cuenta las variables por irregularidad en la altura y la variable entrepisos. A cada una de las variables que se evaluaron anteriormente se le asigna un peso ( $w$ ) de acuerdo a la importancia dentro de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de uso residencial de 1 y 2 pisos.

Teniendo los grados de importancia, se le asigna un valor que se utiliza para el cálculo del índice de vulnerabilidad, entre más alto sea el valor, mas alta es la importancia dentro del sistema resistente del edificio. Este coeficiente puede variar según el número de pisos de las viviendas, los coeficientes para viviendas de 1 piso van desde 0.167 a 1.00 y los coeficientes para viviendas de 2 pisos van desde 0.125 a 1.00.

Teniendo en cuenta las ponderaciones de las variables a cada una se le atribuye uno de los tres niveles A, B, C, donde: A: Nivel Bajo y se le asignara el valor 0, B: Nivel Intermedio y se le asignara el valor 5, C: Nivel Alto y se le asignara el valor 10.

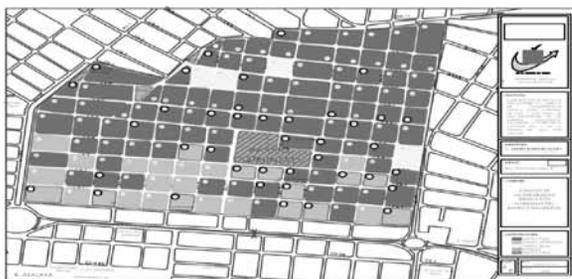
Una vez determinado el nivel de vulnerabilidad sísmica en que se encuentran las viviendas según los dos parámetros, las respectivas variables y los indicadores se procedió a calcular el índice de vulnerabilidad por medio de la ecuación:  $Iv = \sum N \times W$ , donde N es el valor según el nivel de vulnerabilidad y w es el peso de la variable.

Luego de calcular el índice de vulnerabilidad para cada una de las viviendas se realizó un análisis descriptivo de los resultados y se obtuvo que el índice promedio de vulnerabilidad sísmica es de 42.65. Además el índice de vulnerabilidad más frecuente en las viviendas es de 40.39. Así mismo, el 50% de las viviendas tienen un índice de vulnerabilidad sísmica menor o igual a 40.38.

Para determinar el Grado de Vulnerabilidad de la vivienda se tienen en cuenta los siguientes porcentajes: vulnerabilidad <15%: baja, 15% ≤ vulnerabilidad <35%: intermedia, vulnerabilidad ≥ 35%: alto

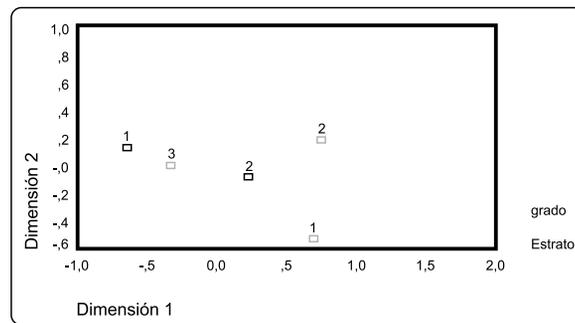
Según el índice de vulnerabilidad calculado de un total de 336 viviendas, se observa que la mayoría (70%) presentan un alto grado de vulnerabilidad sísmica, seguido por el 22% de las viviendas que presentan un grado de vulnerabilidad intermedio y el 8% restante de viviendas presentan un grado de vulnerabilidad bajo, con estos resultados se estimó la proporción de viviendas según el grado de vulnerabilidad sísmica para la población y se procedió a la elaboración del mapa.

**Gráfico No 3.** Mapa grados de vulnerabilidad sísmica en los Barrios Claret, Chapinero y Comuneros



La prueba de independencia para determinar la relación entre las dos variables, dio como resultado un valor de chi cuadrado de 18,93 y un nivel de significancia de 0,001, resultado que permite concluir que el Grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas depende del estrato al cual pertenece la vivienda.

**Gráfico No. 4** Puntos filas y columnas



Así mismo, el análisis de correspondencia permitió identificar qué grado de vulnerabilidad sísmica depende del estrato socio- económico de las familias. En este sentido, se recomienda un programa de reforzamiento o reconstrucción para las viviendas de estrato 1 por que el grado de vulnerabilidad de las viviendas es alto, en las viviendas del estrato 2 se recomienda un programa de reparación estructural y reforzamiento cuyo grado de vulnerabilidad sísmica es intermedio, mientras que las viviendas del estrato 3 no tienen problema de vulnerabilidad sísmica.

## Conclusiones

La realización de la investigación permitió caracterizar la muestra en una zona donde los estratos que más predominan es el 1 y 2 y la mayoría de las viviendas son de un piso.

Así mismo, la investigación permitió determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica para el parámetro de aspectos geométrico que fue medido por las variables irregularidad en planta de la edificación, cantidad de muros en dos direcciones e irregularidad en la altura, ubicándose todas las variables en un nivel de vulnerabilidad sísmica bajo.

De igual manera se encontró que en el parámetro de aspectos estructurales la investigación arrojó que las variables se encuentran en los niveles de vulnerabilidad sísmica intermedio y Alto.

El análisis descriptivo de las medidas de tendencia central con respecto al índice de vulnerabilidad sísmica mostró valores entre 40 y 43 aproximadamente, los cuales son valores altos que reflejan una vulnerabilidad sísmica alta.

La investigación dio como resultado que 70% de las viviendas tiene un alto grado de vulnerabilidad sísmica

El análisis de correspondencia permitió identificar que el grado de vulnerabilidad sísmica depende del estrato socio- económico de las familias.

El número total de viviendas para la población según el grado de vulnerabilidad sísmica bajo es de 477 viviendas, para el grado de vulnerabilidad sísmica intermedio es 1325 viviendas y para el grado de vulnerabilidad sísmica alta es de 4182.

## Agradecimientos

El presente artículo hace parte del proyecto elaboración de un mapa que muestre los grados de vulnerabilidad sísmica, para viviendas de uno y dos pisos de uso residencial en la comuna 7 de la ciudad de Cúcuta, Proyecto financiado en convenio con la Gobernación de Norte de Santander y Universidad Francisco de Paula Santander.

## Bibliografía

- [1] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98, Bogotá, Colombia.
- [2] INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA, Cúcuta
- [3] CAICEDO C, BARBAT A., CANAS J. A. y AGUIAR R. Vulnerabilidad sísmica de edificios, Monografías de Ingeniería Sísmica, 1994. Vol. IS-6 España: CIMNE, Editor A. H. Barbat.
- [4] TAMAYO, Mario y Tamayo. El Proceso de la Investigación Científica. Limusa. Noriega Editores. México 1999.
- [5] DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA, Cúcuta
- [6] VISAUTA, Vinacua Bienvenido. Análisis Estadístico con SPSS - Estadística Básica. Tercera Edición. McGraw-Hill. España 2007.