

COMPORTAMIENTO ANTE MOVIMIENTOS SÍSMICOS, DE VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA DE UNA Y DOS PLANTAS EN EL BARRIO LA PAZ DE BARRANQUILLA*

Por: Nayib Moreno Rodríguez**

Fecha de recibido: 5 de julio de 2010 • Fecha de aceptación: 30 de septiembre de 2010

RESUMEN:

Para un evento sísmico ocurrido en un determinado sector, se ha evidenciado que edificaciones con una misma tipología estructural sufren diferentes daños, así, podemos definir la vulnerabilidad sísmica como la susceptibilidad de una estructura a sufrir daños ante un evento sísmico determinado y que esta vulnerabilidad sísmica depende de factores y detalles como la geometría de la estructura, metodologías constructivas, modelos estructurales, tipo de suelo, entorno, cimentación y estado de conservación. En este artículo se presenta la metodología italiana del índice de vulnerabilidad donde cada factor se califica a partir de criterios sencillos visualmente evaluados y estableciendo una comparación con patrones generales en tres niveles: vulnerabilidad baja, vulnerabilidad media y vulnerabilidad alta.

PALABRAS CLAVE:

Evento sísmico, Mampostería, Vulnerabilidad sísmica, Tipología estructural, Cimentación.



* Artículo resultado de la investigación Vulnerabilidad Sísmica por Medio del Método del Índice de Vulnerabilidad en las Viviendas de una y dos Plantas en el barrio La Paz, al suroccidente de Barranquilla - Grupo de investigación Suelos Estructurales -Línea: Control y Calidad de Materiales y Procesos en Diseño y Construcción de Obras Civiles.

** Ingeniero Civil. Especialista en Hidráulica de Ríos y Costas. Especialista en Estudios Pedagógicos. Candidato a Magíster en Ingeniería Civil.





6

BEHAVIOR BEFORE EARTHQUAKE MOVEMENTS OF ONE AND TWO PLANTS HOUSES OF MASONRY IN BARRANQUILLA'S "LA PAZ" NEIGHBORHOOD

By: Nayib Moreno Rodríguez

ABSTRACT:

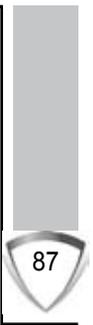
For a seismic event occurred in a given sector, it has been shown that structures with a different type suffer structural damage, and we can define seismic vulnerability as the susceptibility of a structure damaged by a seismic event and determined that the seismic vulnerability depends on factors such as geometry and details of the structure, construction aspects,

structural aspects, soil type, environment, foundation and state of preservation. This article presents the methodology AIS where each factor is scored by using some simple criteria and visualization and comparison with general patterns at three levels: low vulnerability, middle vulnerability, and high vulnerability.

KEY WORDS:

Seismic event, Masonry, Seismic vulnerability, Structural type, Foundation.





NOMENCLATURA

N: Número de pisos.

A_t : Área total cubierta en (m^2).

$A_{x,y}$: Área total de los muros resistentes en el sentido X e Y respectivamente en (m^2). El área resistente de los muros inclinados, un ángulo α diferente de cero, respecto a la dirección considerada, se debe multiplicar por $(\cos \alpha)^2$.

τ_k : Resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en (Ton/m^2). En el caso de que la mampostería se componga de diferentes materiales, el valor de τ_k se determina como un promedio ponderado de los valores de resistencia a cortante para cada uno de los materiales τ_i , utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área A_i de cada uno de ellos.

h: Altura media de los pisos en (m).

P_m : Peso específico de la mampostería en (Ton/m^3).

P_s : Peso por unidad de área del diafragma en (Ton/m^2).

I. INTRODUCCIÓN

Factores económicos y sociales han ocasionado que con frecuencia las edificaciones bajas de una y dos plantas en concreto sean construidas sin el concurso de profesionales en ingeniería civil o arquitectura, con la implementación de normas no vigentes o con inadecuado cumplimiento de normas vigentes como la NSR-98, lo que hace que este tipo de estructuras tengan elementos susceptibles a sufrir daño con los consecuentes efectos directos sobre la seguridad de las estructuras y sus habitantes. Adicionalmente, Barranquilla se encuentra localizada en una zona con amenaza sísmica, donde la probabilidad de ocurrencia de sismos de alta intensidad es baja, mientras que sismos de baja intensidad son relativamente frecuentes e imperceptibles al ser humano, hecho que genera confianza en las personas, quienes desconocen que los terremotos como fenómeno natural son los generadores de la mayor cantidad de pérdidas de bienes materiales y vidas humanas y que sismos poco proba-

bles de alta intensidad pueden darse en cualquier momento sin que se esté adecuadamente preparado para esta eventualidad como sucedió en el Eje Cafetero el 25 de enero de 1999 ocasionando una cifra estimada de mil muertos y colapso en infraestructuras básicas como Estación de Bomberos, Cuartel de Policía, Oficina de Medicina Legal y Defensa Civil.

La experiencia en los últimos 40 años acerca de los daños producidos por sismos en estructuras, está cambiando el paradigma de anticipar las amenazas en vez de reaccionar ante el desastre, implementado mediante metodologías que permiten evaluar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, entre estas, la implementada en Italia con motivo de los estudios post-terremotos realizados a partir de 1976.

2. MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

El método del índice de vulnerabilidad ha sido ampliamente utilizado en Italia durante los últimos quince años y su gran aceptación en este país ha quedado demostrada por el GNDDT (Grupo Nazionale per la Difesa dei Terremoti) que lo ha adoptado para los planes de mitigación de desastres a nivel gubernamental. Esto ha permitido la evolución del método, como resultado de la experimentación durante todos esos años, y la obtención de una extensa base de datos sobre daño y vulnerabilidad que, como ninguno de los otros métodos subjetivos presentados anteriormente. La mayoría de estos estudios se concentran en la evaluación de la vulnerabilidad de edificios de mampostería, ya que representan un gran porcentaje de las construcciones de los pueblos antiguos.

De acuerdo con la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, el índice de vulnerabilidad se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales que, se considera, juegan un papel importante en el comportamiento sísmico

de las estructuras de mampostería.

A cada parámetro se le atribuye, durante las investigaciones de campo, una de las cuatro clases: A, B, C, D, siguiendo una serie de instrucciones detalladas con el propósito de minimizar las diferencias de apreciación entre los observadores. A cada una de estas clases le corresponde un valor numérico K_i que varía entre 0 y 45, como se observa en la Tabla I. Así, por ejemplo, si el parámetro número cuatro “posición del edificio y de la cimentación” corresponde a una configuración insegura desde el punto de vista sísmico, se le asigna la clase D y el valor numérico $K_4 = 45$.

Por otra parte, cada parámetro es afectado por un coeficiente de peso W_i , que varía entre 0,25 y 1,5. Este coeficiente refleja la importancia de cada uno de los parámetros dentro del sistema resistente del edificio. De esta forma, el índice de vulnerabilidad VI se define por la siguiente expresión:

$$VI = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i$$

Al analizar la ecuación se puede deducir que el

índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382,5 que es el máximo valor posible. Este se divide por 3.825 para obtener un valor de índice de vulnerabilidad normalizado a un rango de $0 < I_v < 100$. Para interpretar mejor los resultados que se tienen en el presente estudio se definen los siguientes rangos de vulnerabilidad:

- ★ VULNERABILIDAD < 15%: BAJA
- ★ $15\% \leq$ VULNERABILIDAD < 35%: MEDIA
- ★ VULNERABILIDAD \geq 35%: ALTA

Al analizar la ecuación se puede deducir que el índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382,5 que es el máximo valor posible. Como puede verse, los parámetros 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11 son de naturaleza descriptiva, mientras los parámetros 3, 6, 7 y 8 son de naturaleza cuantitativa y requieren de ciertas operaciones matemáticas muy sencillas para su solución.

3. PROCESO SEGUIDO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ZONA

Para determinar el estado de vulnerabilidad de las viviendas de una y dos plantas, se hizo nece-

Tabla I. Escala de Vulnerabilidad de Benedetti-Petrini

| Parámetros | Clase K_i | | | | Peso W_i |
|--|-------------|----|----|----|------------|
| | A | B | C | D | |
| 1. Organización del sistema resistente | 0 | 5 | 20 | 45 | 1,00 |
| 2. Calidad del sistema resistente | 0 | 5 | 25 | 45 | 0,25 |
| 3. Resistencia convencional | 0 | 5 | 25 | 45 | 1,50 |
| 4. Posición del edificio y cimentación | 0 | 5 | 25 | 45 | 0,75 |
| 5. Diafragmas horizontales | 0 | 5 | 15 | 45 | 1,00 |
| 6. Configuración en planta | 0 | 5 | 25 | 45 | 0,50 |
| 7. Configuración en elevación | 0 | 5 | 25 | 45 | 1,00 |
| 8. Distancia máxima entre los muros | 0 | 5 | 25 | 45 | 0,25 |
| 9. Tipo de cubierta | 0 | 15 | 25 | 45 | 1,00 |
| 10. Elementos no estructurales | 0 | 0 | 25 | 45 | 0,25 |
| 11. Estado de conservación | 0 | 5 | 25 | 45 | 1,00 |

sario clasificar los sistemas de construcción en categorías como el tipo y organización del sistema resistente, los materiales de construcción, posición del edificio y de la cimentación, configuración en planta y elevación, espaciamiento máximo entre muros, tipo de cubierta y estado de conservación.

Se realizó un muestreo de manera aleatoria donde quedaron representadas las viviendas tipo de cada manzana. Previo a esto, y con el apoyo de miembros de la comunidad del barrio La Paz, se dividió en diez sectores asimétricos, pero con densidades para viviendas de una y dos plantas similares. La siguiente figura presenta la distribución de los sectores establecidos para facilitar el levantamiento de la información de las viviendas del barrio.

Para obtener los datos necesarios para la evaluación de la vulnerabilidad, se efectuó la lectura

de un plano cartográfico del barrio adquirido en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Posteriormente, se procedió a efectuar un recorrido de inspección y conocimiento del sector. Mediante trabajo de campo que incluyó el diligenciamiento del formulario y un registro fotográfico, se levantaron trescientas unidades.

4. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo, se realizó con la ayuda de un grupo de estudiantes del 1er. semestre del programa de Especialización en Estructuras y del Diplomado en Estructuras del programa de Ingeniería Civil de la CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA, CUC, quienes realizaron el diligenciamiento de los trescientos formatos de evaluación del sistema estructural de las viviendas en el barrio La Paz al suroccidente de la ciudad de Barranquilla.

Gráfica I. Sectorización del barrio La Paz

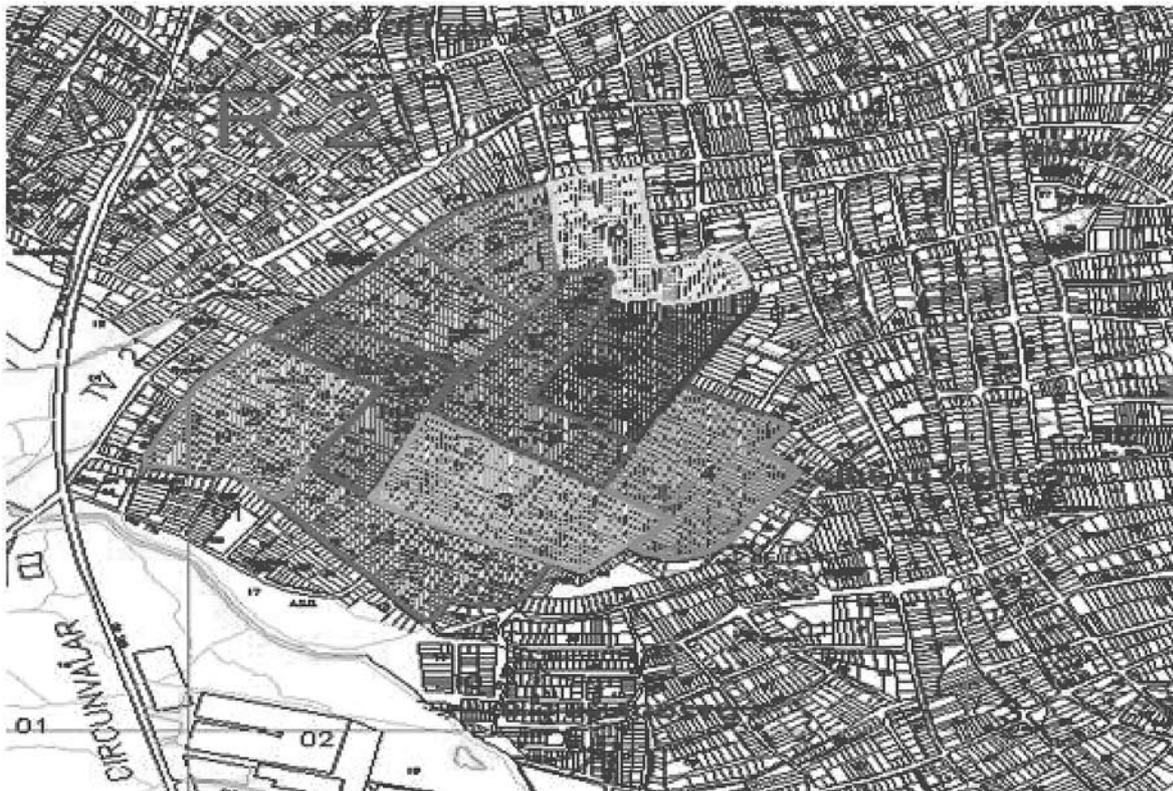


Foto 1. Grupo de estudiantes evaluadores



Foto 2. Discutiendo una encuesta



Gráfica 2. Ubicación del barrio La Paz



Fuente: Google Earth

Gráfica 3. Ubicación del barrio La Paz



Fuente: Archivo Autocad de Generación propia

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del análisis e interpretación de las 300 evaluaciones realizadas, muestran que el 82% de las viviendas presentan índice de vulnerabilidad alto, el 18% índice de vulnerabilidad medio y el 1% índice de vulnerabilidad bajo.

Adicionalmente, como análisis e interpretación de la tabulación del formulario del levantamiento de las características de las viviendas se establece:

- La organización del estado resistente, arrojó como resultado, que un 63% de las viviendas no presentan sus paredes resistentes bien ligadas, careciendo de vigas de amarre o de elementos estructurales que distribuyan de una mejor manera las cargas verticales.
- La calidad del sistema resistente presenta un 49% de unidades de mampostería en bloques de cemento con unidades no homogéneas o irregulares que dificultan la distribución de esfuerzos a través de su masa, presentando sitios débiles susceptibles de fallo ante incrementos de carga.
- El 70% de las viviendas están cimentadas sobre suelos estables. Las viviendas se localizan en terrenos planos, en algunos casos con poca pendiente, sin presentar diferencia de cotas entre cimientos.
- El 52% de las viviendas presentan excesivo espaciamiento entre muros perpendiculares.
- El 40% de las viviendas presentan cubiertas estables y bien unidas a los paneles de mampostería. El 49% presentan cubiertas inestables sin vigas de soporte.
- El 25% de las viviendas muestran muros en buen estado sin daños visibles. El 42% registran grietas con espesores entre capilares y 3 milímetros. El 33% muestran grave deterioro en las unidades de mampostería.

A partir de los resultados obtenidos con esta investigación se puede comenzar un programa de rediseño y reforzamiento estructural de viviendas y edificios, disminuyendo el riesgo que se tiene ante la eventualidad de movimientos telúricos de diversas intensidades.

BIBLIOGRAFÍA

ACI 318S-05 Reglamento para Concreto Estructural. Versión en español. Publicación ACI Colombia, 2008

ACI 318S-02 Requisitos Esenciales para Edificaciones de Concreto Reforzado. Versión en español. Publicación ACI Colombia, 2008.

BENEDETTI, D.; BENZONI, G. M. (1985). Seismic Vulnerability Index versus Damage for Unreinforced Masonry Buildings. *Proceeding of the US-Italy Workshop on Seismic Hazard, Risk Analysis and Damage Assessment Methodologies*. Varenna.

GALLEGO SILVA, M. y SARRIA MOLINA, A. (2006). *El concreto y los terremotos*. Editorial ASOCRETO.

NSR-98 Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo resistente. Ley 400 de 1998 y Decretos Complementarios.

SARRIA MOLINA, A. (2005). *Ingeniería sísmica*. Editorial Uniandes.

