

Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de Ciudad Bolívar evaluadas por el método cualitativo

Determination about vulnerability seismic index in the Ciudad Bolívar housing by a qualitative method

Fecha de recepción: 30 de marzo de 2007

Fecha de aceptación: 13 de julio de 2007

Wilman Muñoz Prieto*

RESUMEN

A continuación presento los resultados del proyecto de investigación denominado Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas de Ciudad Bolívar y sus posibles soluciones de acuerdo con el método cualitativo. Esta metodología fue empleada para determinar los índices de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería, proyecto realizado en algunos barrios de la localidad de Ciudad Bolívar con el auspicio de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Para el desarrollo del estudio se tomó una muestra de 300 viviendas. La población estudiada pertenece a varios barrios de la localidad 19. El sector visitado permitió conocer las características constructivas de las viviendas y cuál puede ser la respuesta o la reacción de la población ante un evento natural. Los datos preliminares permitieron seleccionar una muestra específica de 100 viviendas, en la cual se logró representar las tipologías estructurales y constructivas presentes en las viviendas de la población estudiada, al igual que las formaciones geológicas superficiales sobre las cuales se encuentran asentadas.

* Wilman Muñoz Prieto, docente de planta Universidad Distrital Francisco José de Caldas, wmunozp@udistrital.edu.co

En el desarrollo del proyecto se empleó el método cualitativo, propuesto por la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS), a partir de la adaptación de las características particulares observadas. Esta metodología se aplicó a las viviendas de la muestra específica. Con base en este procedimiento y en el análisis de los aspectos más incidentes en la vulnerabilidad de las 100 viviendas, se diseñó un procedimiento simplificado para evaluar el grado de vulnerabilidad de las viviendas de la población estudiada.

Como resultado de este estudio, se determinó que el 76% de las viviendas de la población estudiada son altamente vulnerables y que 56 de ellas pueden representar un riesgo para las personas, incluso antes de que ocurra un sismo fuerte, debido a la inestabilidad de los elementos estructurales y no estructurales con fallas graves, que afectan el comportamiento y la funcionalidad de estas edificaciones. El estudio reveló que la situación de las viviendas de ciudad Bolívar es de alto riesgo, ya que en una población de 100 viviendas, se identificaron 37 altamente vulnerables. También se observó que el nivel de daños y el grado de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones evaluadas están correlacionados con el comportamiento de los suelos, en interacción con la mala calidad estructural y constructiva y el deterioro progresivo de los elementos estructurales y no estructurales.

Palabras clave

Vulnerabilidad sísmica, riesgo sísmico, método cualitativo, tipologías, estructuras, entorno, amenaza por remoción en masa.

ABSTRACT

Next I present the results of a research project named Analysis of Housing Vulnerability Seismic in the Ciudad Bolivar District and its possible solutions according to qualitative method, in order to determine the vulnerability seismic index in the rubblework buildings. This project was carry out in some districts of Ciudad Bolivar. With the auspice of The Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

To develop this research a sample in 300 housings was taken, the studied population was taken from different districts on 19 locality, the visited section

permitted to know the housing construction characteristics which can be the answers or the reaction in front of a nature event. The preliminary facts permit to select a specific sample from 100 housings which got represent the structure kind and the constructions present in the housings in the study population as a shallow geological formation in which are settled.

The methodology used in developing this Project was a qualitative method, proposed by the Engineering Seismic Association (ESA), from the adaptation of the the specifics characteristics saw. Taking into account this procedure and the analysis of the most important aspects and the housing vulnerability of these 100 houses, was designed a procedure simplifying to evaluate the vulnerability grade in the houses of the studied population.

As a result of this study it was determined that the 76% of the housings from the studied population are extremely vulnerable and that 56 from them can represent a risk for the people, even before that occurs a strong seismic by the instability of the structural elements and the no structural element with serious failures that affect the behavior and the functionalism of these housings. Besides the study showed that the situation of the Ciudad Bolivar housings presents a higher risk. In 100 houses they were identified 37 extremely vulnerable. Also it was identified that the level of damages saw and the vulnerability seismic in the evaluated houses are connected with the bad structural and construction quality and the progressive damage of the structural and no structural elements.

Key words

Seismic vulnerability, seismic risk, qualitative method, structures, environment threat by mass remotion.

INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad sísmica de las edificaciones construidas en zonas marginales aumentan el riesgo de susceptibilidad de sufrir daños ante la ocurrencia de terremotos, debido a factores como deficiencia en la calidad de los materiales; falta de conocimiento de las normas por los constructores, que por lo general son los mismos propietarios; falta de planificación urbana; elevado

crecimiento demográfico y desarrollos subnormales en áreas propensas a la acción de fenómenos inducidos (deslizamientos, inundaciones, etc.). Estas características se observan en el estudio de Vulnerabilidad Sísmica para las viviendas de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá.

En proyectos desarrollados con características semejantes a las del presente estudio, se encontraron resultados con valores iguales de vulnerabilidad, pero no se puede concluir que estos son válidos para estudios realizados en zonas que presenten características similares, ya que los efectos de un terremoto no afectan de igual manera a estos tipos de viviendas. Los resultados no se deben comparar o asimilar debido a las diferentes clases de materiales, de suelos y procesos constructivos empleados, que van a presentar distinto comportamiento ante un evento sísmico. Cada estudio tiene una problemática diferente; por tal razón, se deben llevar a cabo estudios de vulnerabilidad sísmica estudios para cada caso.

VARIABLES COMO TIPO MATERIALES, AÑO DE CONSTRUCCIÓN, TOPOGRAFÍA, ENTORNO, SUELO, ENTRE OTRAS, PERMITEN EVALUAR LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA, CUYA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL FUE TENIDA EN CUENTA PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN. CON BASE EN ESTOS FACTORES, SE DETERMINÓ EL GRADO DE VULNERABILIDAD, QUE PODEMOS DEFINIR COMO LA SUSCEPTIBILIDAD DE LA VIVIENDA A SUFRIR DAÑOS ESTRUCTURALES EN CASO DE UN EVENTO SÍSMICO DETERMINADO. LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEPENDE DE ASPECTOS COMO LA GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA, Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y ESTRUCTURALES. MIENTRAS QUE EL RIESGO A QUE ESTÁ SOMETIDA UNA ESTRUCTURA ES LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN FENÓMENO NATURAL DAÑINO (AMENAZA) POR PÉRDIDAS POTENCIALES SUFRIDAS POR EL CONJUNTO COMPLEJO DE ELEMENTOS EXPUESTOS DURANTE EL DESENCADENAMIENTO DEL FENÓMENO DE VULNERABILIDAD.

Los estudios de vulnerabilidad nos deben ayudar en la planificación de medidas previas y posteriores a un desastre natural, y deben utilizarse en la preparación del personal médico, paramédico y grupos de emergencia, determinación anticipada de las necesidades de la población después del evento (alojamiento, alimentación, medicamentos y otros).

VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad sísmica puede clasificarse según los elementos que se deben evaluar y de acuerdo con la forma de estimación del grado de daño esperado en las estructuras. Según los elementos por evaluar se clasifica en estructural, no estructural, funcional, social y sistemática; de acuerdo con la forma de estimación de daño, se clasifica en observada, calculada. La vulnerabilidad que se determinó en esta investigación fue estructural e híbrida; el riesgo se obtuvo con base en variables estructurales.

METODOLOGÍA

Siguiendo la metodología propuesta por la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS), implementada en otras ciudades del país con resultados satisfactorios, la cual se basa en la experiencia de cada uno de los profesionales en tipología estructural, materiales de construcción, conocimiento de los suelos, entorno, fue necesario contar con personal de experiencia en el desarrollo de proyectos de este tipo, el procedimiento seguido para la investigación fue:

- Inspección visual y elaboración de formato establecido (aspectos geométricos, constructivos, estructurales, cimentación, topografía, suelos).
- Estudios y ensayos de laboratorio (suelos).
- Levantamientos topográficos y arquitectónicos de los predios.
- Investigación de las estructuras (diseño de mezclas y esclerómetro).
- Investigación de ocurrencia de asentamientos (control de asentamientos de las viviendas por medios topográficos).

ÁREA DE ESTUDIO

La localidad de Ciudad Bolívar se ubica en el suroriente de la ciudad de Bogotá D.C. y limita así: Norte: con la localidad de Bosa; Sur: con la localidad de Usme; Oriente: con las localidades de Tunjuelito y Usme; Occidente: con el municipio de Soacha.

Ciudad Bolívar tiene una extensión de 12.998,46 hectáreas de las cuales 3.237,87 se clasifican en suelo urbano, 204,65 corresponden a suelo de expansión y 9.555,94 se clasifican en suelo rural, que equivale al 73,51% del total de la superficie de la localidad. Es la tercera localidad más extensa después de las de Sumapaz y Usme.



Figura 1 Localización de zonas de estudio en Ciudad Bolívar.
Fuente: Departamento de Planeación Distrital.

DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Tomando como fuente la información del Departamento de Planeación Distrital, la Alcaldía local de la zona 19, realizó un inventario de edificaciones en ocho barrios de la localidad 19, que pertenecen al área de la zona de estudio. Esta actividad tuvo como fin determinar cuáles barrios de la localidad 19 que estuvieran dentro del área podrían utilizarse para realizar los estudios de vulnerabilidad sísmica, teniendo en cuenta la calidad y cantidad de información disponible, y que tuvieran con la menor restricción por parte de la comunidad.

Posteriormente se identificaron las construcciones consideradas como típicas y de distribución homogénea dentro de los perímetros de los barrios seleccionados: Sierra Morena, Juan José Rondón, Jerusalén y Arborizadora Alta. Se inventariaron 300 edificaciones.

La localidad 19 es una zona periférica de la ciudad. De acuerdo con los datos del censo de 1993, Ciudad Bolívar tenía 418.609 habitantes. Según las proyecciones de población para la localidad 19, teniendo en cuenta la tendencia en el crecimiento de la población intercensal del periodo 1973 a 1993, por

métodos indirectos de los parámetros de fecundidad y mortalidad, la capacidad de expansión, la densidad de población, se estima una población de 630.000 habitantes para 2004.

Debido al gran número de viviendas fue necesario seleccionar los sitios del estudio teniendo en cuenta la percepción del riesgo y la ubicación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, por la pertinencia de la universidad con el entorno de la sede Tecnológica.

- Barrio Arborizadora Baja
- Barrio Juan José Rondón
- Barrio Sierra Morena
- Barrio Potosí
- Barrio Jerusalén
- Barrio Santa Rosita
- Barrio Bellavista
- Barrio la Argentina

Los sitios críticos se ubicaron de acuerdo con los conceptos del Plan de Ordenamiento Territorial. Barrios no legalizados en el sector, zonas de alto riesgo mitigable, amenaza por remoción en masa, amenaza por inundación, cercanía a antiguas zonas de explotación de materiales de cantera, condiciones de inestabilidad del terreno, entre otros, fueron los factores que se tuvieron en cuenta para la selección de estos barrios.



INVENTARIO DE EDIFICACIONES

Tabla 1 Barrios inventariados en Ciudad Bolívar.

Barrio	Edificaciones inventariadas
Sierra Morena	90
Juan José Rondón	50
Jerusalén	60
Arborizadora Alta	100

Se estudió el predio cada una de las viviendas teniendo en cuenta variables como número de pisos, año de construcción, localización, tipo de armazón, tipo de muros, etc.

En el registro fotográfico tomado en el sector de estudio, se observan algunos detalles de características de mampostería. Falta de arriostramiento de las estructuras, falta continuidad en los elementos estructurales, tipología de las viviendas, irregularidad en la planta y alturas de las viviendas, pendientes del terreno, tipo de cimentación entre otras, fueron las variables observadas en campo.

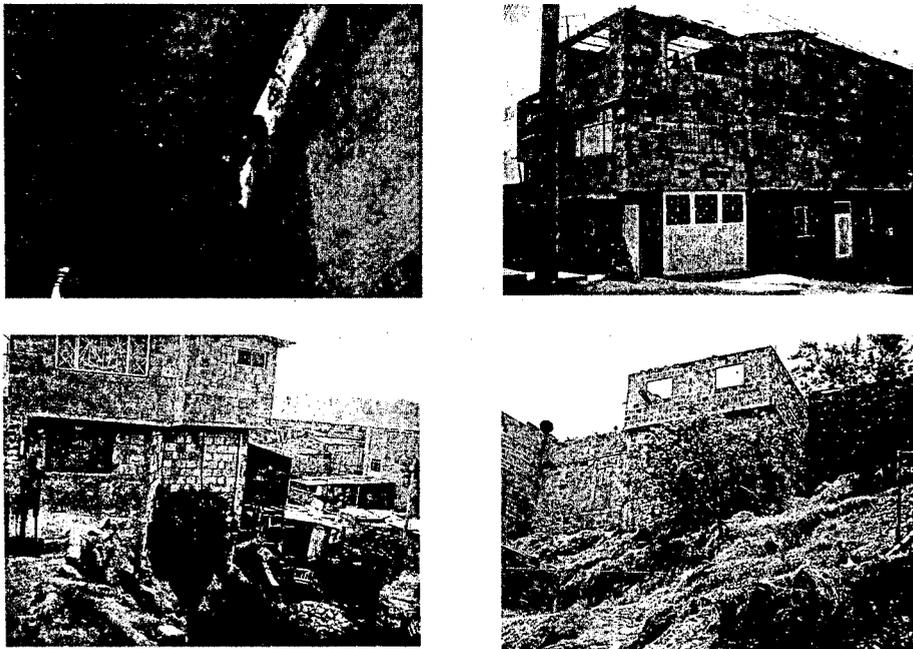


Figura 2 Registro fotográfico zonas de estudio en Ciudad Bolívar

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA MÉTODO CUALITATIVO

A continuación describe el método aproximado empleado en el proyecto, propuesto por la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS), para la evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones existentes, las cuales comúnmente no cuentan con información detallada de su diseño estructural. Esto impide realizar su análisis mediante los sofisticados métodos modernos utilizados para la evaluación del comportamiento o desempeño y la confiabilidad estructural. Si en ocasiones es necesario evaluar edificaciones relativamente antiguas, de las cuales no se conservan memorias de su diseño, en otras es necesario evaluar en forma ágil un amplio número de edificaciones, como es el caso del presente estudio, estas técnicas son realmente útiles, dado que no es posible en la práctica llevar a cabo este tipo de evaluaciones de otra forma.

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) publicó el documento Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismorresistente de viviendas de mampostería, en el capítulo II presenta un método de evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería.

Cada aspecto investigado se califica mediante criterios muy sencillos y mediante visualización y comparación con patrones generales. La calificación se expresa en tres niveles: vulnerabilidad baja, vulnerabilidad media y vulnerabilidad alta.

Inspección visual

En la inspección a las viviendas se observaron algunos detalles en el nivel de construcción:

- Calidad de los materiales de construcción.
- Calidad o falta de control de la mano de obra.
- Defectos estructurales tanto de forma como de cantidades de refuerzo.
- Fallas por la forma irregular y o el dimensionamiento desproporcionado de las construcciones.

- Fallas de orden socioeconómico por necesidad de realizar la vivienda por autoconstrucción sin supervisión de personal idóneo.

Procesamiento de la información

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica cualitativa, a cada aspecto investigado en campo, se le asignó una calificación M, con una cifra de 3 para vulnerabilidad baja; R, con una cifra de 2 para media; y B, con una cifra de 1 para vulnerabilidad alta. De acuerdo con la inspección visual, fue necesario contar con la experiencia de un ingeniero especializado en estructuras, que asesoró el proyecto. Las personas que estuvieron en campo son estudiantes tecnólogos en construcciones civiles, que tuvieron la oportunidad de participar en el proyecto, tomando decisiones con criterio para adoptar los valores considerados para la calificación de vulnerabilidad cualitativa.

RESULTADOS DE LOS ÍNDICES CUALITATIVOS POR VIVIENDA INVENTARIADA PARA ALGUNOS BARRIOS DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR

A cada vivienda inventariada se le calculó el índice con base en la calificación de vulnerabilidad para cada uno de los aspectos levantados físicamente en el terreno (geométricos, constructivos, estructurales, cimentación, suelos y entorno). Fue necesario adoptar un porcentaje de acuerdo con el orden de importancia considerado ante un evento sísmico.

Tabla 2 Promedio Calificación Vulnerabilidad.

% Geométrico 20%	% Constructivo 20%	% Estructural 30%	% Cimentación 10%	% Suelos 10%	% Entorno 10%	Índice de Vulnerabilidad

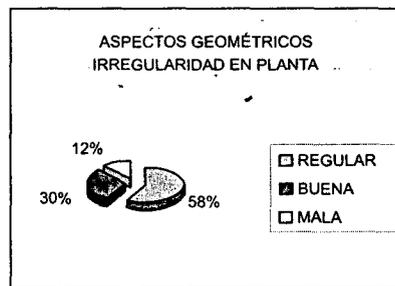
La calificación obtenida como resultado de evaluar las 100 viviendas es 2.14, que revela un índice de vulnerabilidad media para las viviendas inventariadas. A continuación se muestran gráficamente los porcentajes de incidencia en cada uno de los aspectos contemplados en el estudio de vulnerabilidad por el método cualitativo para las viviendas inventariadas de los barrios en estudio.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN EL ASPECTO EVALUADO

Aspectos geométricos

Irregularidades en planta

La gráfica 1 indica que el 58% de las viviendas inventariadas tienen forma irregular. En algunos casos, el largo es tres veces mayor que el ancho. En cuanto a la irregularidad en planta, son deficientes, no existen simetrías, tienen aberturas excesivas para ventanas sin confinamiento.



Gráfica 1 Aspectos Geométricos. Irregularidades en planta.

El código recomienda que la planta debe ser lo más simétrica posible y deben evitarse las plantas con longitudes 3 veces mayores que el ancho. Cuando no se cumple esta recomendación, la estructura debe dividirse en bloques razonablemente simétricos por medio de juntas; también las aberturas de puertas y ventanas deben ser aproximadamente simétricas.

Cantidad de muros en dos direcciones

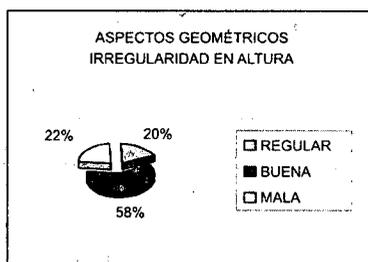
Hay pocos muros confinados o reforzados. La mayoría de los muros están en una sola dirección.

Según el diagnóstico, en su mayor parte los muros se consideran no estructurales, es decir, no están confinados. Por consiguiente, soportan cargas verticales sin mayor riesgo de falla, pero cuando se someten a fuerzas laterales producidas por el viento, o por un sismo, tienden a fisurarse y o volcarse

como consecuencia de no estar confinados adecuadamente, y de la típica mala calidad de ladrillos, bloques y mortero de pega.

Según la gráfica 2, el 22% de los muros no son continuos en altura desde su cimentación hasta la cubierta. De este porcentaje, las viviendas tienen columnas solo en el primer piso. En las que han sido ampliadas en dos o más pisos, el elemento estructural no tiene continuidad y, en muchos casos, la mampostería no tiene confinamiento.

Dado que en algunos casos las alturas o la distancia libre vertical entre diafragmas no pueden exceder 25 veces el espesor del muro, para esta limitación debe considerarse verticalmente la distancia entre la cimentación y la losa de entrepiso o viga de amarre. En algunos casos se presenta esta limitación.

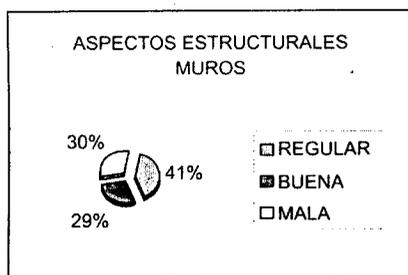


Gráfica 2 Aspectos geométricos. Irregularidad en la altura.

Aspectos estructurales

Los rangos de vulnerabilidad media, indican que los barrios inventariados de la localidad 19 están en riesgo ante un evento sísmico. Según los datos obtenidos en el aspecto estructural, se puede ver que el porcentaje de 30%, asumido para el porcentaje estructural, es un valor que refleja la deficiencia de los elementos estructurales, por la no continuidad de ellos, por la cantidad de mampostería sin arriostramiento, el peso de la placa de entrepiso, frente a los elementos que la soportan, el peso de la cubierta que se utiliza es teja de asbesto o zinc con elementos sueltos como ladrillos o elementos de hierro no anclados.

Muros confinados y reforzados

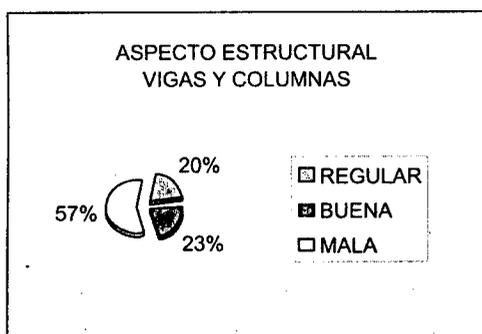


Gráfica 3 Aspectos estructurales. Muros.

La gráfica 3 indica en 41% de las viviendas inventariadas, aspectos estructurales como el confinamiento de muros están construidos de forma regular. Algunos muros de mampostería, a pesar de que tienen columnas y vigas, no cumplen a cabalidad los requisitos de la norma.

Vigas de amarre y coronamiento

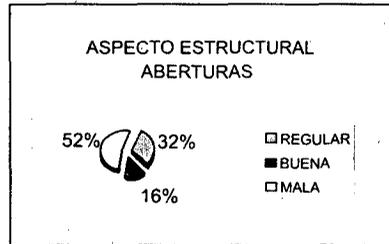
De acuerdo con la gráfica 4 el 57% de las viviendas no tienen columnas y vigas que las arriostren, y las que tienen elementos estructurales no cumplen su función. La mayoría de los muros de mampostería inventariados de las viviendas no tienen confinamiento mediante columnas y vigas de concreto reforzado. Las viviendas no disponen de vigas de amarre y vigas de coronamiento.



Gráfica 4 Aspectos estructurales. Vigas y columnas.

Características de las aberturas

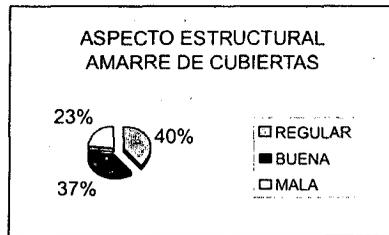
La gráfica 5 indica que el 52% de las viviendas tienen exceso de aberturas o ventanas sin arriostramiento y sin cumplir con la norma. Muy pocos, o ningún muro estructural cumplen los requisitos del código.



Gráfica 5 Aspectos estructurales. Aberturas.

Amarre de cubiertas

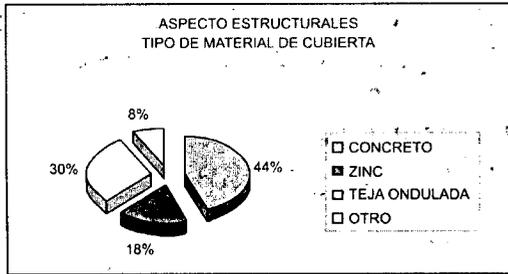
La gráfica 6 revela que el 40% de las cubiertas de las viviendas no están debidamente amarradas. En algunos casos, están sin ningún amarre, y para evitar que el viento se las lleve, les colocan ladrillos o escombros de construcción.



Gráfica 6 Aspectos estructurales. Cubiertas.

Tipo de material de cubierta

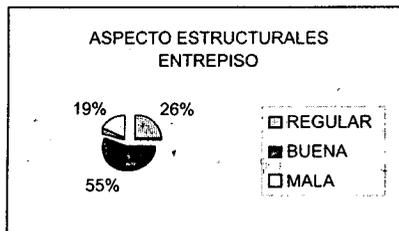
Con respecto al tipo de material empleado en las cubiertas, la gráfica 7 indica que en el 44% de las viviendas, la cubierta es de concreto, el 30% de teja de zinc. Como se observó en el inventario, muchas están sueltas y solamente las sujetan ladrillos o materiales de construcción.



Gráfica 7 Aspectos estructurales. Tipo de material de cubierta.

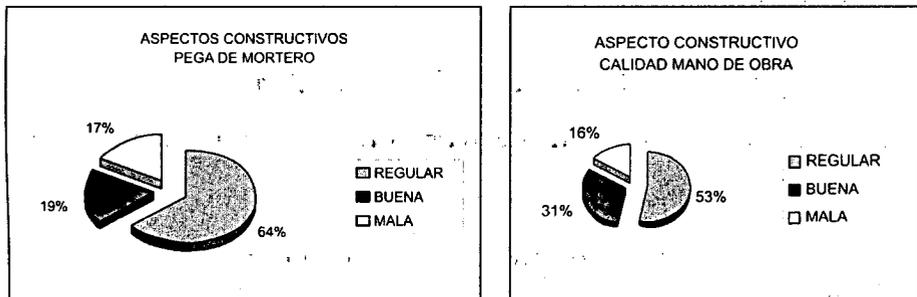
Placa de entrepiso

En cuanto al material como placa de entrepiso, la gráfica 8 indica que el 55% de las viviendas utiliza placas aligeradas con bloque No. 5, El peso es muy alto frente a los elementos estructurales que la sostienen. En la mayoría de los casos utilizan placa de entrepiso la como cubierta.



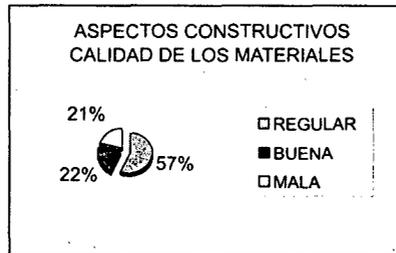
Gráfica 8 Aspectos estructurales. Entrepiso.

Distribución porcentual. Aspectos constructivos



Gráfica 9 Aspectos constructivos. Pega de mortero, calidad mano de obra.

En el desarrollo del proyecto se observó que la mayor deficiencia se presenta en la calidad de los aspectos constructivos, de acuerdo con el inventario. Como se revela la gráfica 9, el 64% del material de pega o mortero es de regular calidad, la calidad de los materiales es regular y la mano de obra es muy deficiente (el 53% es de regular calidad).



Gráfica 10 Aspectos Constructivos. Calidad de los materiales.

Materiales

En la gráfica 10 se aprecia que el 57% de la calidad de los materiales empleados son regulares. Entre ellos están el tipo de bloque o ladrillo, exceso de arena y poco material cementante. En los elementos estructurales, como vigas, placas o columnas, tienen exceso de arena y son pobres en el contenido de cemento.

Reparación de juntas de mortero

Incluye el proceso de remover el mortero deteriorado de las juntas de los muros de mampostería y remplazarlo por uno nuevo y de buena calidad en proporción 1:4.

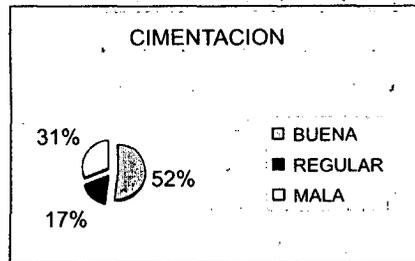
Tipo y disposición de las unidades de mampostería

En algunos casos las unidades de mampostería no están trabadas ni plomadas.

Las piezas no están colocadas de manera uniforme y continua. Algunas piezas presentan agrietamiento y deterioro.

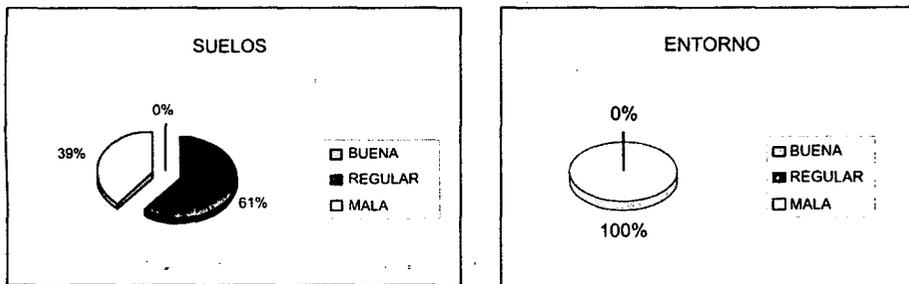
Distribución porcentual aspectos. Cimentación

En la gráfica 11 se aprecia que el 52% de las viviendas conforman su cimentación únicamente en concreto ciclópeo y algunas tienen viga de amarre y zapatas para las columnas, que no tienen el refuerzo adecuado. Se ha calificado como buena pero se aclara que no se observó en el terreno la calidad. Además tienen el agravante de estar construidas sobre terrenos inestables o inclinaciones con rampas de pendiente mayores de 35 grados.



Gráfica 11 Aspectos. Cimentación.

Distribución porcentual aspectos suelos. Entorno



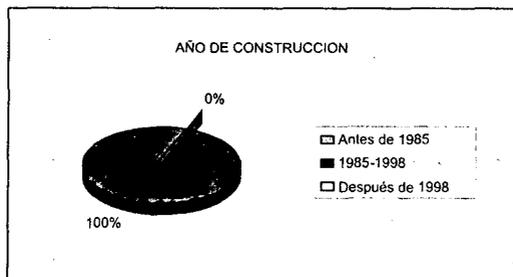
Gráfica 12 Aspectos suelos. Entorno.

En la gráfica 12 se observa que el 61% de los suelos son geológicamente inestables, de acuerdo con los ensayos de clasificación y límites realizados en el laboratorio de la universidad Distrital Francisco José de Caldas. Esto ocurre porque el contenido de arcilla de estos tipos de suelos los hace deformables, el cual aumenta o disminuye de acuerdo con el contenido de agua. Por no existir redes de alcantarillado, en algunas partes de los barrios inventariados, las aguas de escorrentía drenan la superficie aumentando de la erosión.

En cuanto al entorno, se observó que el 100% es de mala calidad por la gran concentración de población en un área reducida y altamente escabrosa. En general, la capacidad de soporte de los suelos de fundación no supera en estos sitios 1 kg/cm^2 . El manejo de aguas es un factor importante para la estabilidad de las viviendas. La mayoría de las zonas requiere un manejo de aguas adecuado.

Distribución porcentual. Año de construcción

La gráfica 13 muestra que el 100% de las viviendas inventariadas se encuentran en el rango de las construidas entre 1985 y 1998. Se puede concluir con un alto grado de confiabilidad que las viviendas no cumplen las normas vigentes de sismorresistencia del código de 1998, lo que puede representar un alto grado de vulnerabilidad ante un evento sísmico.



Gráfica 13 Aspectos. Año de construcción.

CONCLUSIONES

La información es importante porque con ella se pueden inventariar, en un primer nivel, las estructuras de la ciudad, de una localidad, de un barrio o de una manzana. Los materiales que componen los elementos estructurales de las edificaciones acotan en cierta manera las posibles tipologías constructivas y estructurales de una zona en estudio y permiten calcular indirectamente los pesos de la estructura.

La información sobre las áreas construidas por piso de cada una de las viviendas y sus respectivos bosquejos a escala son datos sustanciales que se obtienen en el terreno. Con ellos se puede calcular la configuración en elevación y la irregularidad en planta de las viviendas.

Otra información directa adicional, que se requiere para evaluar la vulnerabilidad sísmica, es lo referente a los elementos no estructurales, a la calidad de los ladrillos, pega y trabazón, y a los soportes de las cubiertas. Esta información debe ser levantada en terreno.

Sobre la metodología cualitativa estudiada, no se puede describir y analizar con exactitud cada una de las viviendas de los barrios inventariados. Sin embargo, cuando se pretende realizar un estudio a gran escala de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones, este tipo de métodos son los idóneos.

El método del índice de vulnerabilidad es el método más completo y apropiado cuando se requiere hacer un estudio de vulnerabilidad más técnico; se debe emplear un método que considere un sistema lógico y que resulte de valores cuantitativos de la vulnerabilidad sísmica de la estructura.

También se puede concluir que dos edificaciones ubicadas en barrio, de diferentes localidades, pueden presentar el mismo índice de vulnerabilidad y, si se presenta la misma aceleración horizontal en el terreno, el mismo índice de daño. La duración del movimiento influirá en la respuesta de ambas edificaciones. Es difícil que el mismo movimiento se presente en ambas sitios, pero de cumplirse estas condiciones, ambas estructuras tendrían el mismo porcentaje de pérdidas, aunque esto no signifique los mismos costos en pérdidas.

Con respecto a los resultados obtenidos de los índices de vulnerabilidad, se concluye que los parámetros que más castigan a las viviendas de estos barrios son la configuración en planta, la irregularidad en altura, la falta de confinamiento y la inestabilidad del terreno. Esto aumentaría los índices de vulnerabilidad y, por tanto, las pérdidas económicas. Infortunadamente no se cuenta con el porcentaje de estas viviendas, construidas después de 1984, que no cuentan con vigas y columnas de confinamiento en toda la localidad; por consiguiente, se tiene que asumir que todas las viviendas no las tienen.

Por lo visto en las viviendas cuando se realizaron las visitas de campo, la utilización de columnas de confinamiento sigue ausente en la construcción de algunas viviendas actuales, aun cuando son obligatorias según las NSR-98.

Esta experiencia ha permitido identificar variables que representan vulnerabilidad: el nivel de vida de la población, la organización y la voluntad de las autoridades. Esto permite concluir que la vulnerabilidad no se podrá mitigar, si no se interviene en los campos sociales y económicos. En general, la población encuestada declara desconocer la reglamentación existente sobre normas de sismorresistencia, y son temerosos de las posibles represalias que tomen las autoridades, como se pudo observar cuando los encuestadores se presentaban para realizar el levantamiento de campo.

Se deben seguir las investigaciones sobre vulnerabilidad sísmica de manera que exista buena voluntad de los diferentes responsables. Se debe mejorar la evaluación técnica, perfeccionando las herramientas de ayuda, automatizando el estudio de vulnerabilidad bajo un sistema de información geográfica (SIG).

BIBLIOGRAFÍA

AIJ (Architectural Institute of Japan), Relación entre la ingeniería civil y la AIJ. Información obtenida en Internet, 1998.

AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica), Código Colombiano de Construcciones Sismorresistentes, CCCSR-84, Ley 11 de 1983, Bogotá, Gobierno Nacional, 1984.

AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica), Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente NSR-98, Ley 400 de 1997, Bogotá, Gobierno Nacional, 1998.

AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica), Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismorresistente de viviendas de mampostería, San Salvador, LA RED (La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina), 2001.

AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica), Requisitos sísmicos para edificios-Norma AIS 100-81, Bogotá, AIS, 1981.

García, L. E.; Sarria, Alberto, "Los terremotos de finales de 1979 y la ingeniería sísmica en Colombia", *Revista Anales de Ingeniería*, Vol. LXXXVII, N° 804, Bogotá, Sociedad Colombiana de Ingenieros, 1980.