

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

9.1.1 Características arquitectónicas.

Se pudo observar que las edificaciones responden a una espacialidad que ha sido transformada, con algunas excepciones, hecho que ha incidido en el deterioro de los inmuebles generando una pérdida o alteración de su valor documental e histórico, contribuyendo con esto al incremento de la vulnerabilidad.

9.1.2 Estado de conservación.

Se puede concluir de acuerdo con las investigaciones realizadas para este estudio, que aunque se han realizado esfuerzos para la protección y recuperación, urbanística y arquitectónica del barrio, muchas edificaciones tienden a deteriorarse por el paso de los años, trayendo como consecuencia el aumento de la vulnerabilidad.

9.1.3 Causas de la vulnerabilidad.

El barrio San Antonio presenta una vulnerabilidad por origen debido a que la mayoría de las edificaciones se construyeron con técnicas tradicionales que no consideraban la sismo resistencia para su estructuración, así mismo, ha existido una vulnerabilidad progresiva debido a las transformaciones físicas de los inmuebles, que son el resultado del cambio de los aspectos sociales económicos y culturales que han influenciado el barrio desde su conformación.

9.1.4 Posibles causas de falla sísmica.

Se identificaron en la zona de estudio dos de las causas más comunes de vulnerabilidad sísmica, como lo son las cubiertas pesadas y la falta de confinamiento en muros, las cuales han ocasionado daños graves en edificaciones con características semejantes a las del barrio. Este hecho se evidenció en terremotos como el de Popayán 1983 y el de Cúcuta en 1981, entre otros. Por lo tanto, es muy probable que si ocurren movimientos con condiciones e intensidades similares, se presenten de nuevo este tipo de daños en las edificaciones del barrio.

9.1.5 Antecedentes de vulnerabilidad de la muestra analizada.

La experiencia aportada por terremotos pasados (Cúcuta 1981, Popayán 1983, Eje Cafetero 1999, entre otros), ha demostrado la susceptibilidad de las construcciones en mampostería no reforzada de adobe ó ladrillo cocido, a sufrir daños o pérdidas. Además, según la revisión de los efectos de sismos con efectos de gran incidencia, realizada para el presente trabajo, el

mayor número de víctimas de terremotos en América Latina, lo ha ocasionado el colapso de las edificaciones tradicionales, especialmente las de adobe y ladrillo.

Este antecedente es importante si se tiene en cuenta que de acuerdo con los resultados obtenidos de la evaluación de vulnerabilidad sísmica, se encontró que alrededor de un 75 % de las edificaciones estudiadas pertenecen a este grupo (edificaciones mampostería simple o no confinada), sistema que está expresamente prohibido en zonas de amenaza sísmica alta desde 1984, con la aparición del primer Código de Construcciones Sismo Resistentes en el país CCCSR-84, debido a su fragilidad y a la deficiente ductilidad para resistir las demandas sísmicas de un sismo moderado o severo. Es decir, que en caso de un evento sísmico, las edificaciones estudiadas podrían verse seriamente afectadas.

9.1.6 Características constructivas.

La mayoría de edificaciones presentan deficiencias constructivas a la luz de las actuales Normas de Construcción Sismorresistente. Este hecho se evidencia en el peso de la estructura de los techos y en la falta de amarres entre la cubierta y los muros. Así mismo, las cimentaciones no son las más adecuadas para soportar las cargas sísmicas; se presenta combinación de materiales en muros y elementos no estructurales, tales como cornisas, áticos, adornos y aleros que son susceptibles a caerse.

9.1.7 Características estructurales.

Se concluye que la mayoría de las edificaciones presentan deficiencias estructurales debido a la ausencia o parcialidad del confinamiento o reforzamiento lo que las hace más vulnerables frente a la acción sísmica.

9.1.8 Vulnerabilidad física-golbal o de conjunto.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la evaluación y con la suma de las calificaciones de los indicadores de vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de 1 y 2 pisos del barrio San Antonio, construidas en mampostería (adobe y ladrillo), se pudo determinar una vulnerabilidad global, donde el 77 % de las edificaciones calificaron con **vulnerabilidad moderada**, y con **vulnerabilidad alta** calificaron el 23 %. Siendo las mas vulnerables las de dos pisos.

9.1.9 Indicadores que generan un mayor grado de vulnerabilidad sísmica.

Con base en las observaciones y el análisis realizados, los indicadores que tienen mayor incidencia en la calificación de la vulnerabilidad del Barrio San Antonio son de mayor a menor:

- Año de construcción
- Tipo de cubierta
- Configuración en planta

- Sistema estructural
- Elementos no estructurales vulnerables

9.1.10 Vulnerabilidad con respecto a la rigidez global de las edificaciones.

1. Tipo de Mampostería.

De acuerdo con los resultados obtenidos se llegó a la conclusión que las edificaciones con mayor grado de vulnerabilidad son las edificaciones construidas en mampostería de adobe, que corresponde al 35 % del total de las edificaciones analizadas, de las cuales el 87 % son de 1 piso, correspondiendo por lo general a edificaciones de tradición colonial y republicanas y un 13 % a edificaciones de 2 pisos, en su mayoría republicanas.

2. Cantidad de muros en las dos direcciones.

Por lo menos un 24 % de las edificaciones del barrio San Antonio presentan una adecuada distribución de muros en las dos dimensiones. De otro lado, la mayoría de las edificaciones, en un 74 % aproximadamente, presentan una buena distribución de muros en las dos direcciones lo que puede garantizar un comportamiento “en cajón” de la estructura portante, sin embargo, a pesar de esta ventaja se puede decir que esta situación se desmejora debido a la falta de elementos que le generen ductilidad a la edificación tales como vigas y columnas que los confinen, generando una vulnerabilidad moderada. El 2 % restante presentaría deficiencias en la mínima cantidad de

muros en una de sus dos direcciones, lo que genera una vulnerabilidad alta.

3. Espesor de muros.

Aproximadamente el 55 % de las edificaciones del barrio, están constituidos por muros con espesores entre 15 cm y 40 cm, lo que supera los mínimos espesores establecidos por la *AIS* (2001), para zonas de alta amenaza sísmica, calificando con una vulnerabilidad moderada, sin embargo, es posible encontrar en el barrio en un 45 % edificaciones con espesores de muros mayores a 40 cm, lo que en teoría podría asegurar un mejor comportamiento sísmico de la estructura frente a las deformaciones, generando una mayor rigidez.

4. Altura de los muros.

Se estableció que las alturas promedio de muros con relación al primer piso encontradas en edificaciones de estilo republicano y ecléctico está entre 4 y 6 metros y en las modernas una altura máxima de 3 metros. De acuerdo con lo anterior se determinó que en todas las edificaciones del barrio San Antonio, la altura de los muros está dentro de los límites especificados por la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica (IAEE), donde se especifica que la altura del muro no debe ser mayor a 20 veces su espesor, lo cual garantiza en teoría un adecuado comportamiento frente a las deformaciones que se puedan presentar en un movimiento sísmico.

9.1.11 Vulnerabilidad con respecto al sistema estructural.

Se determinó que alrededor de un 75 % de las edificaciones no presentan ningún tipo de reforzamiento o de confinamiento, y corresponden en su mayoría a edificaciones de tradición colonial, republicana y ecléctica. Las edificaciones modernas, en su mayoría presentan un confinamiento parcial.

9.1.12 Vulnerabilidad con respecto al tipo de configuración geométrica.

1. Vulnerabilidad en planta.

Los resultados muestran que alrededor del 50 % de las edificaciones analizadas tienen irregularidad en planta, debido a la gran longitud que presentan los predios, con una relación superior a 3 veces el ancho del mismo. Esta característica se presenta con mayor frecuencia en edificaciones republicanas y eclécticas localizadas, la mayoría, en la zona baja y media del barrio. En la parte alta, donde predominan las edificaciones modernas, se observan predios con longitudes menores.

2. Vulnerabilidad en altura.

Alrededor del 90 % de las edificaciones son regulares en altura y corresponden, en su mayoría, a edificaciones de 1 piso. El 10 % restante corresponde a edificaciones modernas, en su mayoría de 2 pisos, las cuales presentan irregularidades en altura, como voladizos y altillos, entre otros. Esto debido a la mayor libertad estructural que trajeron consigo los

desarrollos constructivos en lo referente al hormigón armado, los cuales se incorporaron en la arquitectura moderna.

9.1.13 Vulnerabilidad con respecto al estado de conservación.

Se estimó que el 60 % de las edificaciones tienen un estado de conservación bueno, no obstante, un 35 %, aproximadamente, tienen un grado de deterioro moderado, representado en patologías que se evidencian en deterioros en la estructura de cubierta, generalmente en los aleros y áticos con algunas deflexiones, así como humedades y pequeñas fisuras en muros. El 5 % de las edificaciones restantes presentan un estado de deterioro alto, que se manifiesta en patologías acentuadas en muros y cubiertas, que pueden ocasionar la falla de estas edificaciones.

9.1.14 Vulnerabilidad con respecto a los elementos no estructurales.

Aproximadamente un 50 % de las edificaciones del barrio San Antonio presenta elementos no estructurales vulnerables tales como áticos, cornisas, antepechos, y balcones, susceptibles a caerse y a generar daño. Estos elementos en su mayoría están presentes en edificaciones de estilo ecléctico y en algunas republicanas. El 50 % restante no presenta esta situación.

9.1.15 Vulnerabilidad con respecto al peso de las edificaciones.

1. Tipo de cubierta.

Se determinó que el 95 % de las cubiertas que conforman clasifican como pesadas, elemento que puede generar un efecto negativo sobre el comportamiento sísmico de las edificaciones. Por lo menos el 91 % corresponde a cubiertas de teja de barro y un menor porcentaje está representado en losas aligeradas de concreto y combinaciones de teja de barro y asbesto cemento. En un mínimo porcentaje se determinó que el resto de las cubiertas que conforman el barrio clasifican como moderadas (asbesto-cemento) y livianas (teja de zinc).

2. Número de pisos.

Se encontró que de las edificaciones de un piso las mas pesadas son de estilo republicano, seguidas por las de tradición colonial, eclécticas y, por último, las modernas que son las más livianas, este hecho se debe al tipo de material de muros, al tipo de cubierta y la área construida. Las edificaciones de 2 pisos más pesadas son las republicanas, seguidas por las eclécticas y, por último, las edificaciones modernas que son más livianas.

9.1.16 Vulnerabilidad con respecto al tipo de suelo y cimentación.

1. Terreno de fundación.

Se determinó que las edificaciones se encuentran sobre suelo firme, de

buena capacidad portante, que ha permitido que no se presenten asentamientos diferenciales importantes y que garantizan la estabilidad de las edificaciones.

2. Posición del edificio y la cimentación.

Más del 77 % de las edificaciones se localizan en una topografía con pendientes no mayores al 30 %, lo que sumado a la alta estabilidad del terreno pueden descartar empujes desequilibrados que comprometan los elementos constructivos que constituyen la cimentación. Sin embargo, debido a la antigüedad de muchas de las edificaciones y a las formas constructivas identificadas en la cimentación (cimentaciones en piedra), se puede decir que estas tienen deficiencias constructivas que podrían generar un mal comportamiento frente a las solicitaciones sísmicas, debido a la falta de vigas de amarre.

El 23 % restante de las edificaciones están localizadas en zonas de pendiente mayores al 30 %, por lo general con sótanos hacia la zona del desnivel y que posiblemente pueden presentar deficiencias en su cimentación o deterioro por humedad.

3. Coeficiente de Sitio.

Se puede concluir de acuerdo con las investigaciones geotécnicas y características dinámicas de los depósitos de suelo de la zona de estudio, se descarta la posibilidad de que se presente amplificación sísmica de orden geológico, lo cual favorece a las edificaciones del barrio San Antonio. No

obstante, del estudio de microzonificación sísmica se pueden obtener resultados más específicos al respecto, como el efecto topográfico que no se conoce.

9.2 RECOMENDACIONES

9.2.1 Ampliar el universo de estudio de edificaciones en el barrio.

Debido a que la metodología desarrollada para la estimación de la vulnerabilidad sísmica del barrio San Antonio fue diseñada para ser aplicada a gran escala a este sector urbano y que se restringe a viviendas de mampostería de uno y dos pisos, es pertinente que se realicen estudios de vulnerabilidad al resto de las edificaciones que no fueron analizadas en orden de prioridad (edificaciones de más dos pisos) presentando un especial interés por las edificaciones destinadas para albergar a un gran número de personas, tales como centros educativos, teatros, iglesias entre otros., de acuerdo con lo estipulado en la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo resistente NSR-98 (Capítulo A-10 "*Edificaciones Construidas Antes de La vigencia de la Presente Versión del Reglamento*").

9.2.2 Refinamiento del estudio de vulnerabilidad sísmica del barrio San Antonio.

Debido a que el método utilizado para el diagnóstico de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de 1 y 2 pisos del barrio San Antonio, está basado en apreciaciones subjetivas, se recomienda a partir de los resultados obtenidos en este estudio como una primera aproximación, desarrollar trabajos con un mayor grado de detalle y refinamiento, a las edificaciones prioritarias y/o a las edificaciones representativas de las tendencias arquitectónicas que componen el barrio, en donde se involucren ensayos de

laboratorio de materiales y modelamiento de las estructuras de estas edificaciones, con el fin de evaluar con precisión los parámetros físicos que las hacen vulnerables y de esta manera plantear propuestas de reforzamiento.

9.2.3 Considerar el efecto topográfico.

De acuerdo con los antecedentes mostrados en el presente trabajo sobre la incidencia del efecto topográfico en los daños sufridos en construcciones localizadas en zonas con topografía irregular, como colinas, sería importante adelantar estudios conducentes a determinar la posibilidad que se presente este tipo de fenómeno de amplificación sísmica. No obstante, se presenta una baja incidencia del efecto de sitio, por amplificación sísmica en los depósitos de suelo del barrio, según los ensayos realizados por *Rosales* (2001).

9.2.4 Conservación integral del conjunto patrimonial.

Se pudo constatar como los estudios del barrio y los planes de conservación y recuperación se han enfocado más hacia el aspecto arquitectónico y urbanístico, es decir, que sería muy importante, en búsqueda de una conservación integral del conjunto patrimonial, la implementación, en primera instancia, de estudios más detallados que permitan un refinamiento de la información en lo concerniente a la vulnerabilidad sísmica, y posteriormente, la generación de un programa de reforzamiento o consolidación, para la conservación de los inmuebles y de la vida de sus habitantes.

En ese sentido, teniendo en cuenta que las edificaciones de adobe son las más vulnerables, además de representar buena parte del valor patrimonial del sector, se recomienda tener en cuenta las experiencias sobre reforzamiento de edificaciones de adobe desarrolladas en Colombia (si existen) o en países como Perú y Ecuador donde las construcciones de adobe continúan teniendo gran vigencia entre la población como solución habitacional.

Entre estas experiencias se encuentra el programa del Centro Regional de Sismología para América del Sur, *CERESIS* (2001), denominado “Reforzamiento Sismo-Resistente de Viviendas de Adobe Existentes en la Región Andina”, el cual está disponible en la pagina web: [http:// sipan.inictel.gob.pe/cerisis/ proyect /adobe.htm](http://sipan.inictel.gob.pe/cerisis/proyect/adobe.htm), proyecto que fue seleccionado para su aplicación a nivel mundial como uno de los proyectos demostrativos del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales 1990-1999 de las Naciones Unidas.

En lo referente a las edificaciones de ladrillo cocido, se recomienda consultar el “Manual de Construcción Evaluación y Rehabilitación Sismo resistente de Viviendas de Mampostería”, desarrollado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica *A/S* (2001), el cual se puede encontrar en la siguiente página web: <http://www.desenredando.org>.

9.2.5 Evaluar la vulnerabilidad sísmica de las líneas vitales.

Se recomienda realizar estudios de evaluación de vulnerabilidad sísmicas de las líneas vitales como las redes de acueducto, alcantarillado, energía, telefonía, etc.

9.2.6 Herramienta para la planificación.

Con relación a los resultados propios de este proyecto, estos deben servir como una herramienta para la planificación, así como una base para diseñar y promover programas de prevención de desastres mediante la intervención de la vulnerabilidad, preparativos, campañas educativas y de información pública.

9.2.7 Estudios en otros sectores de la ciudad.

Incentivar la realización de proyectos de grado en el área del diagnóstico de la evaluación del riesgo sísmico de sectores urbanos, de manera que se vaya conformando una base de datos que puede ser útil para el desarrollo de un estudio de vulnerabilidad sísmica para Cali, con un menor grado de incertidumbre y con información más especializada. En el mismo sentido, los proyectos de grado que investiguen el aspecto geológico y geotécnico, pueden aportar datos valiosos para el estudio de estos aspectos, un ejemplo que corrobora lo pertinente de esta sugerencia, puede encontrarse en la "Zonación Sismogeotécnica de Medellín" (1994), donde las tesis de grado constituyeron gran parte de la bibliografía consultada.

9.2.8 Socialización de los resultados.

Es conveniente que los resultados de este trabajo sirvan para insentivar la participación comunitaria en el conocimiento de las fortalezas y debilidades encontradas por este estudio, en relación con la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, con el fin de que estos resultados puedan servir como herramienta o elemento de análisis para direccionar planes de mitigación.

Una de las formas de realizar la socialización de los resultados es por medio de la implementación de programas específicos a diferentes actores sociales, mediante la capacitación institucional, local y comunitaria.

9.2.9 Reducción de la vulnerabilidad.

Se recomienda implementar para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del barrio, medidas estructurales y no estructurales. Las primeras se refieren a actividades físicas referidas al reforzamiento estructural que consiste en ejecutar físicamente en las estructuras las recomendaciones dadas en una evaluación de la vulnerabilidad, al igual que el mejoramiento de la infraestructura y líneas vitales a partir de su mejoramiento o construcción de nuevas que cumplan con los requisitos especificados hoy en las normas colombianas.

Las medidas no estructurales corresponden a la planificación urbana a la capacitación e información pública, al fortalecimiento educativo a incentivos pro -reducción de riesgo y al cumplimiento de las normas urbanísticas y de construcción para el barrio.

9.2.10 Mantenimiento de las edificaciones.

Debido a las características tipológicas de las edificaciones, así como a su época de construcción, se recomienda desarrollar un programa de mantenimiento preventivo, con especial énfasis en la conservación de estructuras de cubierta, aleros, prevención y control de humedades en muros entre otros que se considere conveniente, para mitigar los efectos de las patologías que inciden en la vulnerabilidad sísmica.

De otro lado, considerando las intervenciones poco acertadas como adiciones, mutilaciones, demoliciones de muros, aperturas de vanos, etc., que se pudieron observar en muchas de las edificaciones del barrio, las cuales van en detrimento del valor patrimonial y de la resistencia sísmica, se recomienda brindar asesoría técnica a los propietarios de las edificaciones que deseen intervenir su inmueble.