

**PROBLEMAS DE ESTRUCTURACION SISMICA Y CONFIGURACION  
ESTRUCTURAL EN LAS EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTORICO DE LA  
CIUDAD DE SINCELEJO**

**TESIS DE PREGRADO  
RODRIGO ALFONSO PORTACIO PEÑAFIEL**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SINCELEJO**

**2010**

**PROBLEMAS DE ESTRUCTURACION SISMICA Y CONFIGURACION  
ESTRUCTURAL EN LAS EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTORICO  
DE LA CIUDAD DE SINCELEJO**

**TESIS DE PREGRADO  
RODRIGO ALFONSO PORTACIO PEÑAFIEL**

**Director  
ALVARO RAFAEL CABALLERO  
Ingeniero civil, magister en estructura**

**Línea de profundización  
ESTRUCTURAS Y CONSTRUCCION**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SINCELEJO  
2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por iluminar mi mente en momentos en los que estuve estancado, sin ánimos de seguir en esta lucha constante en la vida y por la que todos queremos ser mejores cada vez más.

Al profesor Alvaro Rafael Caballero Guerrero por sus aportes que fueron indispensables para lograr los objetivos de este trabajo.

A Luis Cervantes por su aporte y colaboración en este proceso de investigación.

A mi familia, en especial a mi señora madre, por todo el apoyo brindado para realizar esta carrera, brindándome ánimos en los momentos difíciles y guiándome hacia la luz en los momentos de oscuridad, llenándome de fe y optimismo para terminar con éxito estos estudios.

A la Universidad de Sucre por prestarme sus servicios académicos e investigativos.

Al cuerpo docente de la facultad de ingeniería, en especial a los docentes: Alex Bracamonte, Alvaro Caballero, David Díaz, Domingo Guerra, Armando Gutiérrez, Rodrigo Hernández, Carlos Medina, Emel Mulett, Octavio Otero, Margaret Viecco, Juan E. Villalobos, por brindarme sus conocimientos integrales en ingeniería.

A mis amigos y compañeros de UNISUCRE: José Atencia, Denis Ferrer, Harold García, David Martínez, Saily Mina y Robert Lidueña. Quienes me animaron y apoyaron en los momentos difíciles.

## **DEDICATORIA**

A Dios por estar conmigo siempre e iluminarme con su sabiduría, el secreto de mis buenos logros y de mi evolución intelectual en mi vida.

A mi señora Madre Alba Peñafiel, hoy puedo decirle: "lo logramos" por ser mi coequipera en esta larga travesía, por ser mi apoyo, mi luz y mi motivación, a la que le debo lo que soy, nada de esto habría sido posible sin ti Madre.

A mi novia María Elena Martínez, quien apareció en el momento justo de mi travesía y ha estado conmigo en todos mis buenos y malos momentos, con su apoyo en los momentos de ausencia de mi madre.

A todas las personas que nunca creyeron que podría lograr esta meta, la cual es la primera en mi vida, porque de seguro vendrán muchas más.

## RESUMEN

A lo largo de la historia hemos sido testigos del crecimiento acelerado que ha tenido la humanidad y por ende también cada una de las ciudades en las que el hombre se ha asentado, dejando como parte de su legado las edificaciones en las que se refugiaron en la época histórica que ha vivido cada ciudad. Gracias a esto encontramos muchos tipos de construcciones, y los grandes estilos arquitectónicos se han visto en ciudades en las que la amenaza sísmica ha sido alta y media. En Colombia también se ha visto este proceso de crecimiento acelerado y desorganizado el cual ha sido el culpable de los más grandes desastres de tipo sísmico en toda la historia de nuestro país.

La ciudad Sincelejo, en el departamento de sucre, no ha quedado exenta de este tipo de crecimiento, y junto con las fallas de criterios constructivos que se han presentado en cada etapa de nuestra historia han generado una gran incertidumbre respecto al comportamiento que podrían presentar nuestras edificaciones mas antiguas, las cuales representan el patrimonio que los antepasados dejaron para nosotros y nuestros descendientes. A esto se le suman las modificaciones arbitrarias y falta de mantenimiento que han aumentado la problemática de estas estructuras. Cabe decir que Sincelejo se encuentra actualmente en una zona de amenaza sísmica intermedia, lo que aumenta el riesgo de que un evento sísmico pueda ocurrir en cercanías a nuestra ciudad y ocasionar daños que podrían llegar a ser irreparables. Sumado a esto, no se cuentan con programas de prevención y mitigación de riesgos. Es por esto que surge la necesidad de hacer un estudio de estructuración y configuración sísmica en Sincelejo enfatizando este en la zona céntrica de la ciudad que es donde se podría presentar la mayor cantidad de daños económicos, políticos y sociales, evaluado esto mediante una herramienta muy importante como es la tecnología de Sistema de Información Geográfica (SIG).

Los resultados finales de esta investigación, muestran que mas del 80% de las estructuras presentan al menos 1 problema de configuración estructural y estructuración sísmica, sin importar si estas edificaciones son antiguas (con mas de 30 años de construidas) o si son recientes, pues se pudo observar que ambos tipos de edificaciones presentan problemas de estructuración sísmica. Es decir, que se logra ver la falta de control sobre la construcción y remodelación de edificaciones en nuestra ciudad, lo que hace de esta vulnerable a una devastación en caso de que ocurra un evento sísmico.

## **ABSTRACT**

Throughout history we have been witnesses of the rapid growth that has taken humanity and therefore also each of the cities in which man has settled, leaving part of his legacy such as the buildings in which they took refuge in each historical era that has seen each city. Thanks to them we find many types of buildings, major architectural styles have been seen in cities where the seismic hazard is high and half. In Colombia also has seen this process of accelerated growth and disorganized which has been responsible for the greatest disasters of seismic type in the entire history of our country.

The city of Sincelejo in the department of Sucre has not been exempt from this type of growth, and together with the failure of constructive criteria that have been presented at each stage in our history have generated great uncertainty about the behavior that could present our oldest buildings, which represent the legacy that our ancestors left for us and our descendents. This is compounded by arbitrary changes and lack of maintenance has increased the problems of these structures. Sincelejo can be said that is currently in a mid-term seismic hazard zone, which increases the risk that an earthquake may occur in the vicinity of our city, causing damage that could become irreparable. Added to this, there are not programs of prevention and mitigation. That's why the need arises to make a study of seismic structure and configure in Sincelejo emphasizing the central area of the city which is where we could provide as much economic damage, political and social, as assessed by this important tool as the technology of Geographic Information Systems (GIS).

The final results of this research indicate that over 80% of the structures have at least one problem of seismic structural configuration and structure, regardless of whether these buildings are old (with more than 30 years of built) or if they are currents, therefore it was observed that both types of buildings present problems

of seismic structure. That is to say, it fails to see the lack of control over the construction and renovation of buildings in our city, which makes it vulnerable to devastation in the event of a seismic event.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	16
1.1 GENERALIDADES .....	16
1.2 ANTECEDENTES .....	19
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	20
1.3.1 Objetivo general .....	20
1.3.2 Objetivos específicos .....	20
<b>ASPECTOS GENERALES DEL RIESGO SISMICO</b> .....	22
2.1 introducción .....	22
2.2 GENERALIDADES DE SISMOLOGIA .....	23
2.2.1 placas tectónicas .....	24
2.2.2 sismos .....	26
2.2.3 causas de un sismo .....	26
2.2.4 tipos de sismos .....	29
2.2.5 partes de un sismo .....	31
2.2.6 escalas de medición para la intensidad de los sismos .....	33
2.3 SISMICIDAD EN COLOMBIA .....	38
2.3.1 evolución tectónica en Colombia .....	39
2.4 RIESGO SISMICO .....	41
2.5 PELIGROSIDAD SISMICA .....	43
2.6 VULNERABILIDAD SISMICA .....	45
<b>ESTRUCTURACION SISMICA Y CONFIGURACION ESTRUCTURAL EN LA ZONA CENTRICA DE SINCELEJO (SUCRE)</b> .....	48
3.1 LA NATURALEZA DE LA CONFIGURACION .....	48
3.2 LA IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURACION Y CONFIGURACION DEL EDIFICIO .....	49

3.3 LA CONFIGURACION Y LAS NORMAS -----	50
3.4 DEFINICION DETALLADA DE LA CONFIGURACION -----	51
3.5 INFLUENCIA DE LA CONFIGURACION SOBRE EL COMPORTAMIENTO SISMICO -----	65
3.6 IRREGULARIDADES SIGNIFICATIVAS EN CONFIGURACIONES SENCILLAS -----	76
3.7 DISCONTINUIDADES DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ -----	88
<b>PROBLEMAS DE ESTRUCTURACION SISMICA Y CONFIGURACION ESTRUCTURAL EN LA ZONA CENTRICA DE SINCELEJO -----</b>	<b>102</b>
4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	102
4.2 ZONA DE ESTUDIO -----	103
4.3 BASE DE DATOS -----	107
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----</b>	<b>146</b>
5.1 CONCLUSIONES -----	146
5.2 RECOMENDACIONES -----	147
<b>REFERENCIAS -----</b>	<b>150</b>
<b>ANEXOS -----</b>	<b>153</b>

## FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Principales capas que componen la tierra -----	23
<b>Figura 2.</b> Discontinuidad de mohorovicic -----	24
<b>Figura 3.</b> Iteración entre placas tectónicas. (a) Subducción; (b) deslizamiento; (c) extrusión; (d) acrecencia. -----	25
<b>Figura 4.</b> Esquema general de los deslizamientos de las placas tectónicas -	26
<b>Figura 5.</b> Partes de un sismo -----	33
<b>Figura 6.</b> Comparación grafica de las diferentes escalas de intensidad en el mundo -----	35
<b>Figura 7.</b> Diagrama de subducción de la placa nazca en la suramericana -	41
<b>Figura 8.</b> Propagación de la energía sísmica desde el epicentro hasta la estructura -----	44
<b>Figura 9.</b> Definición ampliada de configuración -----	49
<b>Figura 10.</b> Interpretación grafica de irregularidades en estructuras de sistemas de marcos -----	51
<b>Figura 11.</b> El concepto de sencillez y complejidad -----	52
<b>Figura 12.</b> Formas sencillas y complejas. Planta y elevación -----	53
<b>Figura 13.</b> Matriz compuesta por las cuatro formas básicas de edificios -	54
<b>Figura 14.</b> Variaciones dimensionales aplicables a formas sencillas y complejas -----	58
<b>Figura 15.</b> Componentes de la configuración. Requisitos de diseño del perímetro -----	59
<b>Figura 16.</b> Componentes de configuración. División del espacio interior --	62
<b>Figura 17.</b> Componentes de la configuración. Situación de núcleo -----	63
<b>Figura 18.</b> Componentes de la configuración. Situación de núcleo -----	64
<b>Figura 19.</b> Adición de muro de cortante para reducir el claro del diafragma	66
<b>Figura 20.</b> Relación de esbeltez. De izquierda a derecha:	

monumento a Washington, edificio woolworth, edificio Pirelli, Centro de comercio mundial, torre Sears, edificio Empire estate y el edificio U.S. Steel. (no todos son dibujados a la misma escala) -	67
<b>Figura 21.</b> Simetría en planta y en elevación -----	69
<b>Figura 22.</b> Simetría en planta. Manzana del gran centro El parque -----	69
<b>Figura 23.</b> Falsa simetría. Banco central, Managua, redibujado con autorización de Jhon F. Meehah et. Al. Engineering aspect -----	71
<b>Figura 24.</b> El movimiento diferencial produce daños en la esquina débil --	74
<b>Figura 25.</b> Localización de muros de cortante para resistir los movimientos de volteo y torsión -----	75
<b>Figura 26.</b> Localización de muros de cortante -----	75
<b>Figura 27.</b> Resistencia perimetral desequilibrada -----	76
<b>Figura 28.</b> Deflexión por torsión de un edificio con muro frontal blando ---	78
<b>Figura 29.</b> Deflexión por torsión de diafragma, trabajando como voladizo lateral -----	78
<b>Figura 30.</b> Estructura de marcos de perímetro con resistencia y rigidez aproximadamente iguales -----	79
<b>Figura 31.</b> Agregar muros de cortante en o cerca de la cara abierta -----	79
<b>Figura 32.</b> Falsa simetría -----	80
<b>Figura 33.</b> Falsa simetría. Banco central de Managua -----	81
<b>Figura 34.</b> Formas de las esquinas interiores -----	82
<b>Figura 35.</b> Inconvenientes con esquinas interiores -----	83
<b>Figura 36.</b> Soluciones para el problema de esquinas interiores -----	85
<b>Figura 37.</b> Modos de unión del edificio -----	86
<b>Figura 38.</b> Configuración escalonada -----	87
<b>Figura 39.</b> Piso débil -----	88
<b>Figura 40.</b> Piso débil por falta de continuidad en los elementos estructurales -----	89
<b>Figura 41.</b> Variación en la rigidez de las columnas -----	91
<b>Figura 42.</b> Variación de la rigidez de las columnas -----	93
<b>Figura 43.</b> Columna débil, viga fuerte -----	93

<b>Figura 44.</b>	Interacción entre muros de cortante y marcos -----	96
<b>Figura 45.</b>	Modificaciones no estructurales -----	97
<b>Figura 46.</b>	Golpeteo o problema de colindancia -----	98
<b>Figura 47.</b>	Golpeteo por desnivel de losas -----	101
<b>Figura 48.</b>	Área de la zona de estudio -----	104
<b>Figura 49.</b>	Manzanas con su identificación catastral -----	105
<b>Figura 50.</b>	División de los dos sectores de Sincelejo -----	105
<b>Figura 51.</b>	Zona de estudio en tres dimensiones. ArcScene -----	106
<b>Figura 52.</b>	Matriz de forma -----	108
<b>Figura 53.</b>	Matriz de forma. ArcScene -----	109
<b>Figura 54.</b>	Variaciones dimensionales en planta -----	110
<b>Figura 55.</b>	Variaciones dimensionales en planta. ArcScene -----	111
<b>Figura 56.</b>	Variaciones dimensionales en elevación -----	112
<b>Figura 57.</b>	Variaciones dimensionales en elevación. ArcScene -----	113
<b>Figura 58.</b>	Porcentaje de abiertos -----	114
<b>Figura 59.</b>	Componentes de configuración. Porcentaje de abiertos. ArcScene	115
<b>Figura 60.</b>	Componentes de configuración. Uniformidad -----	116
<b>Figura 61.</b>	Componentes de la configuración. Uniformidad. ArcScene ----	117
<b>Figura 62.</b>	Componentes de la configuración. División del espacio interior (Intensidad) -----	118
<b>Figura 63.</b>	Componentes de la configuración. División del espacio interior (Intensidad). ArcScene -----	119
<b>Figura 64.</b>	Componentes de la configuración. División del espacio interior (Adaptabilidad) -----	120
<b>Figura 65.</b>	Componentes de la configuración. División del espacio interior (Adaptabilidad). ArcScene -----	120
<b>Figura 66.</b>	Componentes de la configuración (localización de núcleos) --	122
<b>Figura 67.</b>	Componentes de la configuración (localización de núcleos). ArcScene -----	123
<b>Figura 68.</b>	Relación de esbeltez -----	124
<b>Figura 69.</b>	Relación de esbeltez. ArcScene -----	125

<b>Figura 70.</b>	Simetría. Simetría en planta -----	126
<b>Figura 71.</b>	Simetría. Simetría en planta. ArcScene -----	127
<b>Figura 72.</b>	Simetría. Simetría en elevación -----	128
<b>Figura 73.</b>	Simetría. Simetría en elevación. ArcScene -----	129
<b>Figura 74.</b>	Simetría. Falsa simetría -----	130
<b>Figura 75.</b>	Simetría. Falsa simetría. ArcScene -----	131
<b>Figura 76.</b>	Resistencia horizontal desequilibrada -----	132
<b>Figura 77.</b>	Resistencia horizontal desequilibrada. ArcScene -----	133
<b>Figura 78.</b>	Configuración con esquinas interiores -----	134
<b>Figura 79.</b>	Configuración con esquinas interiores. ArcScene -----	135
<b>Figura 80.</b>	Cambio de rigidez -----	136
<b>Figura 81.</b>	Cambio de rigidez. ArcScene -----	137
<b>Figura 82.</b>	Piso débil -----	138
<b>Figura 83.</b>	Piso débil. ArcScene -----	139
<b>Figura 84.</b>	Viga fuerte -----	140
<b>Figura 85.</b>	Viga fuerte. ArcScene -----	141
<b>Figura 86.</b>	Modificaciones no estructurales -----	142
<b>Figura 87.</b>	Modificaciones no estructurales. ArcScene -----	143
<b>Figura 88.</b>	Golpeteo -----	144
<b>Figura 89.</b>	Golpeteo. ArcScene -----	145

## TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Promedio anual de sismos en relación con su magnitud -----	18
<b>Tabla 2.</b> Comparación entre las escalas de Richter y Mercalli -----	36
<b>Tabla 3.</b> Matriz de forma de las edificaciones -----	108
<b>Tabla 4.</b> Variaciones dimensionales en planta -----	110
<b>Tabla 5.</b> Variaciones dimensionales en elevación -----	112
<b>Tabla 6.</b> Componentes de la configuración (Porcentaje de abiertos) -----	114
<b>Tabla 7.</b> Componentes de la configuración (Uniformidad) -----	116
<b>Tabla 8.</b> Componentes de la configuración. División del espacio interior (Intensidad) -----	117
<b>Tabla 9.</b> Componentes de la configuración. División del espacio interior (Adaptabilidad) -----	119
<b>Tabla 10.</b> Componentes de la configuración (Localización de núcleos) ----	121
<b>Tabla 11.</b> Relación de esbeltez -----	123
<b>Tabla 12.</b> Simetría. Simetría en planta -----	125
<b>Tabla 13.</b> Simetría. Simetría en elevación -----	127
<b>Tabla 14.</b> Simetría. Falsa simetría -----	130
<b>Tabla 15.</b> Resistencia horizontal desequilibrada -----	131
<b>Tabla 16.</b> Configuración con esquinas interiores -----	133
<b>Tabla 17.</b> Cambio de rigidez -----	135
<b>Tabla 18.</b> Piso débil -----	137
<b>Tabla 19.</b> Viga fuerte -----	139
<b>Tabla 20.</b> Modificaciones no estructurales -----	141
<b>Tabla 21.</b> Golpeteo -----	143

## INTRODUCCION

### 1.1 GENERALIDADES

A lo largo de la historia, gran parte de los estilos arquitectónicos han surgido en regiones con presencia de amenaza sísmica considerable. Así, podemos encontrar el hecho de que numerosas edificaciones antiguas han sobrevivido a estos fenómenos naturales. Muchas de ellas están construidas con materiales que sólo son efectivos para esfuerzos de compresión y fueron diseñadas antes del surgimiento de los principios que actualmente rigen el diseño sísmico resistente. Evidentemente, la adecuada respuesta de estas construcciones está en la **configuración**, que es casi la única herramienta de diseño sísmico con la que se podría haber contado en ese entonces (Comoglio 2004).

En la actualidad, muchas de estas estructuras antiguas han sufrido transformaciones debidas a los cambios del uso de estas, es decir, estructuras que hace 100 años eran de uso residencial hoy se han convertido en edificaciones de oficinas, centros comerciales o bodegas, sin ningún estudio previo de las consecuencias que estos cambios pueden generarle a la estructura, como es el hecho de modificar en edificaciones de adobes, los muros de mampostería no reforzada que son los responsables de soportar las cargas, por vitrales que sirven de mostrarios en muchos almacenes de las zonas comerciales de cada una de las ciudades la mayoría de estas ubicadas en países que están en vía de desarrollo.

Esta problemática ha adquirido gran relevancia a escala mundial y a medida que avanza la investigación, el nivel de la práctica del diseño sísmico se vuelve más complejo. De allí la importancia del conocimiento y la responsabilidad a nivel profesional para actuar en el medio. De la seguridad sísmica de las

construcciones no se puede responsabilizar sólo al ingeniero, de ser así, habría escasa motivación para que el arquitecto se interesara por esta temática. Por el contrario, la sismo resistencia del edificio constituye una responsabilidad compartida entre el arquitecto, quien lo diseña, y el ingeniero, quien lo calcula y ambos cuando resuelven conjuntamente los aspectos constructivos. Cabe aquí preguntarse cuál es la función que cumple el Arquitecto que influye en el comportamiento sísmico del edificio. La respuesta es que el arquitecto, en el proceso de diseño, es quien define la configuración de la construcción (Comoglio 2004), cabe decir que esta responsabilidad compartida se sigue manteniendo en las modificaciones arquitectónico-estructurales que se realizan a diario en edificaciones antiguas.

La configuración en general se define como el tamaño y la forma del edificio, esto en muchos casos origina grandes conflictos entre los ingenieros y arquitectos por la falta de comunicación entre estos, lo que a lo largo de la historia se ha traducido en catástrofes sísmicas, aun cuando los estudios en este campo están tan avanzados se siguen presentando problemas de estos tipos por la falta de proyección por parte de los diseñadores, lo cual es fácilmente demostrable en casos en que estructuras relativamente nuevas han sufrido daños estructurales graves después de un sismo, mientras que otras con mucha mas edad que las primeras se han mantenido en pie.

Desafortunadamente Colombia ha tenido que padecer este tipo de eventos como son los sismos. El caso más evidente fue el sismo de Popayán en 1983 y sismo del eje cafetero en 1999. Estos eventos han sido monitoreados a nivel mundial y que han sido objeto de estudio por muchos investigadores. En la Tabla 1 se presenta un resumen hecho por unos investigadores (Person, 1999 y Nyffernegger, 1997), del promedio anual de sismos de diferentes rangos de magnitudes en la Escala de Richter, en las que se describen sismos que van desde Muy pequeños, hasta destructivos.

Tabla 1. Promedio anual de sismos en relación con su magnitud.

Fuente: MENA, 2003.

Descripción	Magnitud	Promedio anual
Destructivo	>8	1
Grande	7 - 7.9	18
Fuerte	6 - 6.9	120
Moderado	5 - 5.9	800
Ligero	4 - 4.9	6.200 (Estimado)
Menor	3 - 3.9	49.000 (Estimado)
Muy pequeño	<3	Magnitud 2-3 1.000 por día Magnitud 1-2 8.000 por día

Es evidente que los estudios sísmicos realizados a pesar de su veracidad no se han llevado a la aplicación en muchas regiones del mundo, hecho que se ha visto reflejado en el sin número de desastres por este tipo de fenómenos, en Colombia se han generados una gran cantidad de estudios de riesgo sísmico, pero muchos de estos no se llevan a cabo por la falta de asignación de recursos económicos orientados a la investigación y tecnología en busca de la prevención y mitigación de estos riesgos.

Una herramienta relativamente reciente en este tipo de estudios son los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos sistemas han venido a facilitar la implementación de las metodologías, el manejo de la información y, sobretodo, la visualización de los resultados, gracias a su capacidad georeferencial, lo que permite modelar los elementos de la zona de estudio de una forma más real. Además, la poderosa estructura en la que están contruidos los SIG facilitan el manejo de la gran cantidad de datos, de un forma sencilla y rápida. El uso de SIG se ha incrementado de manera sustancial en esta última década, como lo demuestran la gran cantidad de estudios realizados por muchos investigadores en el mundo. (Mena, 2002).

## 1.2 ANTECEDENTES

La ciudad de Sincelejo se ha caracterizado, al igual que la mayoría de las ciudades del país, por haber tenido un crecimiento desordenado, unido esto a la poca aplicación de normas de diseño sísmico resistente en la construcción de edificaciones antiguas. Esto ha hecho que muchas de las estructuras presenten deficiencias en su comportamiento sísmico. Es evidente que los nuevos logros que se alcanzan en el campo de diseño de estructuras pueden aplicarse únicamente a las nuevas construcciones, el cual representan un pequeño porcentaje con respecto a las estructuras existentes. Además, los fenómenos naturales, como son los sismos, no han sido descifrados claramente por la ciencia, siendo esto un factor de mucha preocupación en la sociedad y los profesionales que involucra estos fenómenos.

Existen varios estudios de Vulnerabilidad Sísmica a gran escala desarrolladas por grupos de investigación de algunas Universidades de Colombia; en la Universidad EAFIT se diseñaron programas de computador que permiten calcular y graficar las pérdidas por la ocurrencia de un sismo en la ciudad de Medellín (Jaramillo, 2001); en las ciudades de Bogotá, Bucaramanga, Cali y Manizales, se han realizado investigaciones sobre Vulnerabilidad Sísmica y Riesgo Sísmico; y en la Costa atlántica, solo se han hecho estudios de estos tipos en la ciudad de Barranquilla por parte de la Universidad del Norte.

En la ciudad de Sincelejo, capital del Departamento de Sucre, muy poco se ha hecho sobre estudios de Estructuración Sísmica de las estructuras en Zonas urbanas, en especial la zona céntrica que es la parte de alto porcentaje de la economía de la Ciudad y del Departamento. Esto ha motivado a un grupo de docentes de la Universidad de Sucre, realizar estos tipos de estudios, para que sean de utilidad a las diferentes entidades del Municipio y del Departamento, y para que se abran las puertas a una cantidad considerable de proyectos de investigación de estas zonas.

Las líneas de investigación actuales sobre riesgo sísmico se han enfocado al estudio del comportamiento sísmico de los edificios, gracias al importante desarrollo alcanzado en los métodos de análisis estructural y a las técnicas experimentales que permiten conocer las características mecánicas de los edificios construidos, además, del mejoramiento de las normas de diseño sismo resistente para la construcción de nuevos edificios. Sin embargo, a pesar de estos avances siguen ocurriendo grandes catástrofes ocasionadas por los terremotos, debido al colapso de los edificios. Las razones pueden ser que los métodos de análisis o las normas sismo resistentes, no han sido lo suficientemente eficaces para reducir el daño en los edificios, o quizás, que los programas de mitigación de riesgo sísmico no se han aplicado correctamente en el caso que existan.

De esta necesidad nacen los estudios de vulnerabilidad sísmica de estructuras, los cuales merecen una atención prioritaria hoy en día, con miras a cualquier plan de mitigación de futuros desastres por sismos, como las que cuentan muchas de las ciudades desarrolladas del mundo, que se encuentran muy organizadas en estos aspectos, y su punto de partida fue una investigación de este tipo.

## OBJETIVOS

### Objetivo General:

- ✚ Determinar los diferentes problemas de estructuración sísmica y la configuración estructural en las edificaciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo

### Objetivos específicos:

- ✚ Hacer una revisión del estado del arte de los estudios de Estructuración sísmica y configuración estructural actuales, así como su aplicación en los planes de emergencia o mitigación de desastres.
- ✚ Caracterizar estructuralmente el centro de la ciudad de Sincelejo, por medio de unas encuestas de tipología estructural y Realizar estudios directos de Configuración sísmica y configuración estructural de las estructuras representativas en la zona de estudio, por medio de observación directa.
- ✚ determinar los diferentes factores que afectan a la configuración y estructuración de las edificaciones en estudio por medio de estadística descriptiva.
- ✚ Analizar los resultados obtenidos, para así dar las conclusiones y recomendaciones definitivas a las diferentes entidades.

## **2. ASPECTOS GENERALES DEL RIESGO SISMICO**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Cada una de las ramas de la Ingeniería Civil se relaciona en alguna forma, con la superficie de la tierra; esto se visualiza en los diseños de Ingeniería con reportes y localizaciones sobre una parte de la corteza terrestre; por esto, es de gran importancia el estudio de la interacción entre las estructuras construidas por el hombre y el entorno natural que las circunda. Para esto, la Geología se ha convertido en un instrumento científico para la determinación precisa de las causas de los mayores problemas que ocurren durante o después de las operaciones de una construcción.

Los grandes terremotos son considerados por muchos como las más grandes catástrofes naturales que azotan a la humanidad. (Yépez 1 et al, 1995). Los grandes sismos ocurridos en los últimos años en Colombia, como el de Armenia en enero 25 de 1.999, han mostrado su acción catastrófica en cuanto a pérdida de vidas humanas, destrucción del medio ambiente y su capacidad perturbadora sobre los procesos productivos y la actividad social del país. Estos hechos han reafirmado la conciencia nacional respecto a la amenaza sísmica en el territorio Colombiano y la necesidad de seguir profundizando los estudios de tectónica y sismicidad para obtener estimativos más realistas de las amenazas y proveer a los técnicos e ingenieros de útiles herramientas para la toma de decisiones que sirvan para el mejoramiento del diseño constructivo y, en general para el planeamiento del uso de la tierra y de las medidas que contribuyan a la reducción de riesgos. (Arteta et al, 2003).

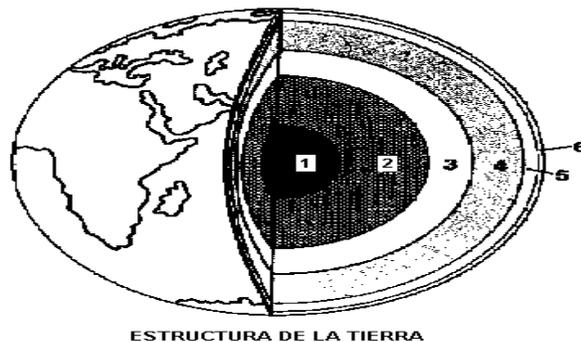
Conocer la terminología asociada a la vulnerabilidad de las edificaciones permite identificar las causas que la generan, y además, hace más eficiente la creación y aplicación de programas de prevención y mitigación de desastres de acuerdo con las condiciones naturales, sociales, culturales y políticas de una comunidad. Por

lo anterior, es necesario hacer una breve descripción de algunos conceptos generales asociados al tema de la Vulnerabilidad Sísmica. (Llanos et al, 2003).

## 2.2 GENERALIDADES DE SISMOLOGIA

La Sismología es la ciencia que estudia las causas que producen los terremotos, el mecanismo por el cual se producen y propagan las ondas sísmicas, y la predicción del fenómeno sísmico.

Desde el punto de vista de la Ingeniería, lo más importante es la definición y cálculo de las acciones que el movimiento sísmico aporta a la estructura. **Estructura interna de la tierra.** La Tierra está formada por tres capas concéntricas: *corteza*, *manto* y *núcleo*, con propiedades físicas distintas. Estas capas han podido ser detectadas y definidas, a partir del estudio de los registros del movimiento de su superficie, y más concretamente por los estudios de los terremotos.



**Figura 1** principales capas que componen la tierra

En la Figura 1 se han señalado las principales capas que componen la Tierra, que son:

✚ **Núcleo**, con un radio de 3470 Km., constituido por *núcleo interior* (1) y *núcleo exterior* (2). Formado por hierro fundido, mezclado con pequeñas cantidades de

níquel, sulfuros y silicio.

✚ **Manto**, con un espesor de 2900 Km, y está dividido en *manto inferior* (3), *manto superior* (4), y *zona de transición* (5).

✚ **Corteza o Litosfera** (6), es la capa exterior de la Tierra, es de elevada rigidez (roca) y anisotropía, sabemos que es de espesor variable, que en algunos casos puede ser de 60 Km., en los continentes las formaciones son graníticas, y basálticas en los fondos oceánicos.

Algunos autores consideran que los siguientes 60 Km. también pertenecen a la corteza. La zona que separa la corteza del manto es conocida con el nombre de *discontinuidad de Mohorovicic*, conocida comúnmente con el nombre de *Moho*. La corteza terrestre juntamente con la Moho, se ilustran en la figura 2. **Tectónica de placas.**

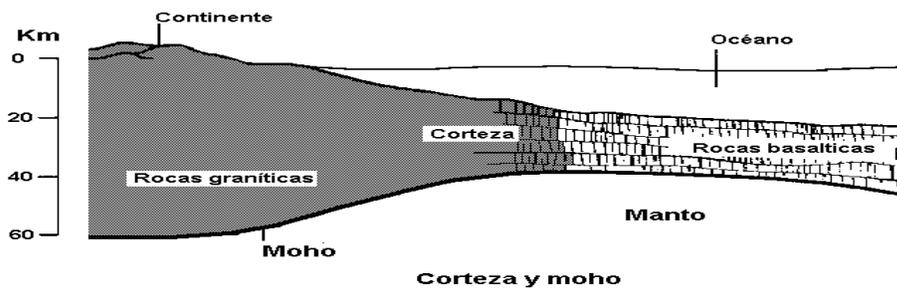
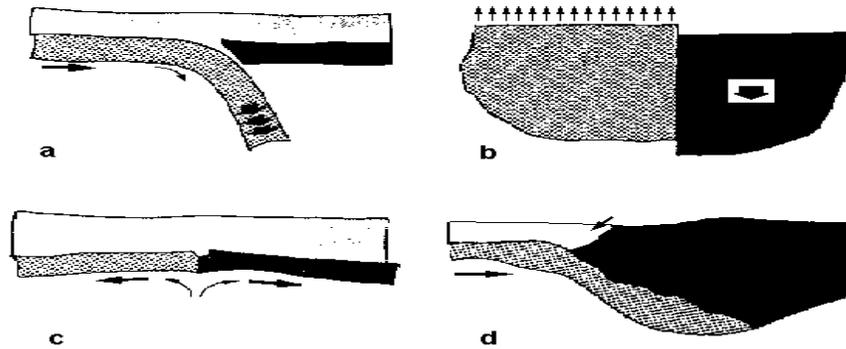


Figura 2. Discontinuidad de mohorovicic

## 2.2.1 PLACAS TECTÓNICAS.

Alfred Wegner en el año 1912 planteó que las doce grandes zonas de la corteza terrestre denominadas *placas tectónicas*, están en continua modificación, y que los continentes se han formado a partir de uno único llamado *Pangaea*.

Los movimientos de deriva son los que han dado lugar a la formación de los actuales Continentes a partir del *Pangaea*. Los modelos de Interacción entre las placas son cuatro (figura 3):

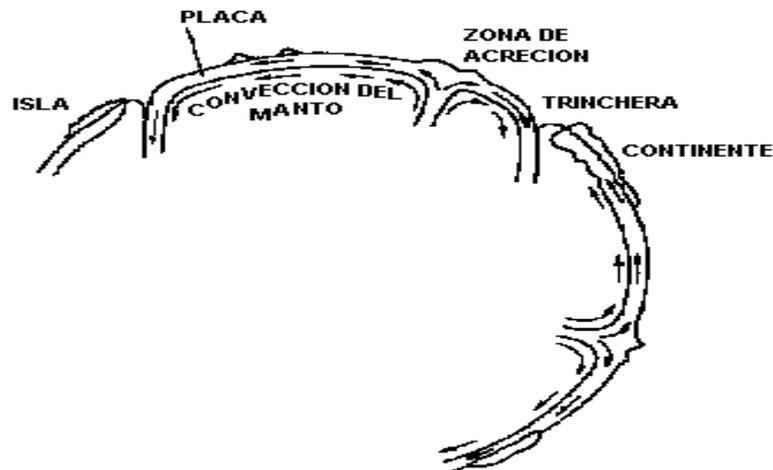


**Figura 3.** Interacción entre placas tectónicas. (a) Subducción; (b) deslizamiento; (c) extrusión; (d) acrecencia.

- a. **Subducción:** ocurre cerca de las islas, donde dos placas de similar espesor entran en contacto entre sí.
- b. **Deslizamiento:** se produce cuando entran en contacto dos placas oceánicas, o bien una continental y una oceánica.
- c. **Extrusión:** este fenómeno ocurre cuando se juntan dos placas tectónicas delgadas que se desplazan en direcciones opuestas, es el caso del contacto de dos placas del fondo del océano.
- d. **Acrecencia:** tiene lugar cuando hay un impacto leve entre una placa oceánica y una continental.

McAlester asocia los movimientos de las placas con la energía calorífica que se concentra bajo la litosfera. Rikitake indica el esquema general de desplazamiento de la figura 4, relacionándolo con los movimientos de convección de las capas inferiores, las cuales están en estado viscoso debido al calor. En las zonas de extrusión aparece "nueva corteza", mientras en las zonas de subducción las

placas que penetran por debajo se funden, por efecto del calor desarrollado en la interacción entre placas bajo condiciones de presión elevada, dando lugar al magma. Por ello los volcanes activos se sitúan frecuentemente en estas zonas de subducción.



**Figura 4.** Esquema general de los deslizamientos de las placas tectónicas.

**2.2.2 Sismos.** Sismo o terremoto son todas esas vibraciones producidas en la corteza terrestre cuando las rocas que se han ido tensando se rompen de forma súbita y rebotan. Las vibraciones pueden oscilar desde las que apenas son apreciables hasta las que alcanzan carácter catastrófico. En el proceso se generan seis tipos de ondas de choque. Dos se clasifican como ondas internas (viajan por el interior de la Tierra), las otras cuatro son ondas superficiales. Las ondas se diferencian además por las formas de movimiento que imprimen a la roca. A continuación se describen las características más importantes sobre sismos, según Arteta et al, 2003.

**2.2.3 Causas de un Sismo:** En la actualidad se reconocen tres clases generales de terremotos: tectónicos, volcánicos y artificiales. Los sismos de la primera de ellas son los más devastadores además de que plantean dificultades especiales a los científicos que intentan predecirlos. Los causantes últimos de los terremotos

de la tectónica de placas son las tensiones creadas por los movimientos de alrededor de doce placas, mayores y menores, que forman la corteza terrestre.

La mayoría de los sismos tectónicos se producen en las fronteras de dichas placas, en zonas donde alguna de ellas se desliza sobre otra (lo que se conoce como subducción), como ocurre en la falla de San Andrés en California y México. Los sismos de las zonas de subducción son casi la mitad de los sucesos sísmicos destructivos y liberan el 75% de la energía sísmica. Los sismos que están concentrados en el llamado Anillo de Fuego<sup>1</sup>, tienen puntos donde se rompe la corteza terrestre y que suelen estar a gran profundidad, hasta 645 Km. bajo tierra.

Los terremotos tectónicos localizados fuera del Anillo de Fuego se producen en diversos medios. Las dorsales oceánicas (centros de expansión del fondo marino) son el escenario de muchos de los de intensidad moderada que tienen lugar a profundidades relativamente pequeñas. Casi nadie siente estos sismos que representan sólo un 5% de la energía sísmica terrestre, pero se registran todos los días en la red mundial de estaciones sismológicas.

Otra categoría de sismos tectónicos incluye a los infrecuentes pero grandes terremotos destructivos producidos en zonas alejadas de cualquier otra forma de actividad tectónica. Los principales ejemplos de estos casos son los tres temblores masivos que sacudieron la región de Missouri, Estados Unidos, en 1811 y 1812; tuvieron potencia suficiente para ser sentidos a 1.600 Km. de distancia y produjeron desplazamientos que desviaron el río Mississippi.

De las dos clases de terremotos no tectónicos, los de origen volcánico son rara vez muy grandes o destructivos. Su interés principal radica en que suelen anunciar erupciones volcánicas. Estos sismos se originan cuando el magma asciende rellorando las cámaras inferiores de un volcán.

---

<sup>1</sup> Banda estrecha de unos 38.600 Km. de longitud que coincide con las orillas del océano Pacífico.

Las causas de los temblores de tierra son muy diversas. Parece ser que algunos terremotos, locales y de escasa importancia, tienen por origen el hundimiento de cavidades internas de la corteza terrestre, tales como cavernas, frecuentes y características de las zonas calizas. Otros pueden ser producidos por desplazamientos de grandes masas o compartimentos del suelo, originados por fenómenos de disolución, lo cual pueden ocurrir donde los yesos adquieren grandes extensiones o abunda la sal gema. En estos casos la importancia del fenómeno es escasa y su radio de acción es pequeño.

Durante mucho tiempo, se creyó que las acciones volcánicas eran la causa primordial de los sismos. Ya se ha indicado el gran papel que en las erupciones desempeñan las explosiones, las cuales van acompañadas por trepidaciones mas o menos intensas y prolongadas del suelo; sin embargo el vulcanismo no parece ser el principal agente de estos fenómenos. Por otra parte, gran número de sismos, a veces de los más intensos y con enorme radio de acción, no han estado acompañados de manifestación eruptiva alguna.

Hoy día se cree que la causa que esta relacionada de modo más directo con el origen de los terremotos sea el conjunto de los complejos movimientos tectónicos, es decir, de aquellos que originan movimientos verticales, plegamientos o roturas de la corteza terrestre. Los terremotos violentos y destructores no se presentan más que en los sitios de menor resistencia de la corteza terrestre, y con preferencia en las cercanías de los grandes desniveles y de los geosinclinales relativamente modernos. Por regla general, a todo terremoto violento siguen otros más débiles (réplicas) y en cada región los terremotos procedentes del mismo foco presentan cierto aspecto similar y ordinariamente, a todo sismo muy fuerte preceden otros más débiles.

La acción geológica no es la única causa de los terremotos, pero las características geológicas pueden tener un efecto muy marcado en los resultados locales del sismo. Esto se manifiesta en el hecho de que las vibraciones de los

terremotos no se sienten en las minas profundas que se encuentran dentro de las zonas sísmicas; puesto que las vibraciones se propagan a velocidades diferentes en materiales distintos, es de esperarse que los efectos en la roca y en los materiales no consolidados será diferente, como ocurre en la práctica, los terremotos provocan muchos mas problemas en las áreas de materiales no consolidados que en la que tienen roca expuesta en la superficie. En el gran terremoto de San Francisco en 1989, la aceleración máxima que se registró en un terreno pantanoso fue de unos 3 m/s cada segundo; en los afloramientos correspondientes de roca se observaron 0.027 m/s cada segundo.

**2.2.4 Tipos de Sismos:** los sismos se pueden clasificar en Temblores, Tsunami y Terremotos.

**Temblores.** Movimiento involuntario, repetido y continuado. Movimiento telúrico. Los temblores terrestres se dividen en cuatro grandes géneros según los casos que les suponen:

Temblores de hundimiento o desmoronamiento. Caracterizados por golpes bruscos y producidos por la erosión subterránea.

Temblores de fluctuación. Son oscilatorios y consisten en resbalamiento de las masas terrestres que inducen a las aguas internas a golpear los pilares sustentadores de la corteza, adquiriendo la tierra el movimiento de un navío bajo el influjo de las aguas marinas.

Temblores de ondulación. Las tempestades del aire subterráneo elevan y hunden la superficie terrestre.

Temblores de expansión. Son los temibles, impetuosos torbellinos de viento, procedentes del exterior o nacidos en el seno de la tierra, entran en las cavidades

internas e invadiéndola sucesivamente las desquician, rompen los obstáculos y se escapan, abriéndose inmensos abismos.

**Tsunami.** El término tsunami o maremoto (lo que no es muy exacto), proviene del japonés tsu: puerto o bahía y nami: ola. Son olas gigantescas provocadas por terremotos o volcanes que movilizan la tierra bajo el mar, generándose una especie de joroba, que puede no ser detectada en la superficie del agua, pero que va incrementando su fuerza y velocidad llegando a medir 30 metros al llegar a la playa y que avanza a más de 100 Km/h. En los terremotos que se producen cerca de las costas, o en los que su epicentro está bajo el fondo marino, se originan enormes olas, llamadas por los japoneses tsunamis, que se propagan a enormes distancias. El mayor tsunami del que se tiene noticias es el provocado por la erupción del volcán Krakatoa, en el que la ola producida alcanzó una altura media de 42 metros. Japón, por su ubicación geográfica en las orillas del océano pacífico es golpeado por los tsunamis más que cualquier otro país.

**Terremotos** - Estos Figuran entre los más terribles y devastadores de todos los fenómenos naturales que afectan a la superficie de la tierra y, por ello, a la vida de mucha gente. Tienen verdadera importancia en la ingeniería a pesar de que por fortuna no son frecuentes. Cuando suceden los terremotos, pueden desencadenar tanta destrucción, que sorprende encontrar que su investigación científica data, relativamente, de fecha reciente en el occidente. Los perjuicios de los terremotos en las obras de ingeniería han estimulado el estudio de las fuerzas sísmicas por medio de la sismología, rama relativamente joven de la ciencia.

Los terremotos se clasifican como sigue a continuación:

Según la Intensidad.

En macrosismos y microsismos, los primeros son sensibles para el hombre, siendo observables en una superficie más o menos extensa; los segundos, al contrario, no son perceptibles más que por aparatos especializados.

Según la Ubicación en la Placa.

Sismos interplacas. En las profundidades superficiales, donde los bordes de las dos placas rígidas de la Litosfera se están presionando una contra la otra, existe una actividad sísmica intensa. Muchos de los grandes sismos que ocurren en el mundo, así como los de menor intensidad, ocurren en la zona de cizalladura o de corte entre las dos placas, o sea, la oceánica de subducción y la continental o de arco de islas.

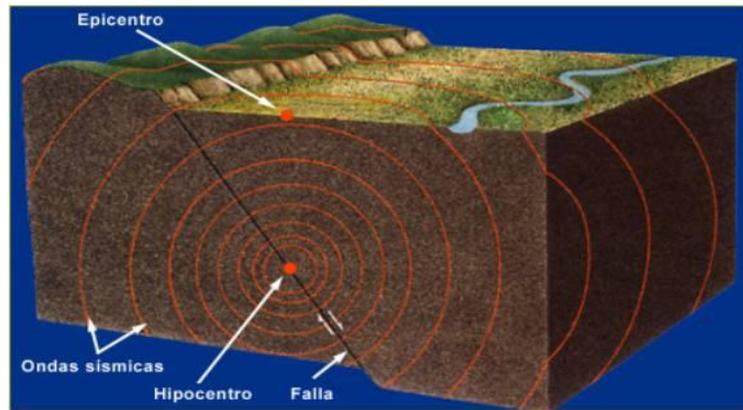
Sismos intraplaca dentro de la placa oceánica. Los sismos de gran profundidad y de profundidad intermedia ocurren generalmente en una zona que se ha denominado Zona de Benioff. Esta zona es un plano de la placa oceánica que se inclina hacia el continente.

Sismos intraplaca dentro de la placa continental. En la placa continental también se encuentran zonas de debilidad denominadas fracturas o fallas geológicas, o sea zonas que han tenido desplazamiento o movimiento de una pared con respecto a la otra. Las zonas de la placa continental que se encuentran más cerca de la zona de contacto con la placa oceánica están más propensas a una acumulación de esfuerzos debido a la subducción de la placa oceánica bajo la placa continental. (Arteta et al, 2003).

**2.2.5 Partes de un Sismo:** El origen de estos movimientos se encuentra en el interior de la corteza terrestre en profundidades variables, pues a veces puede ser solo de unos cuantos kilómetros, y en ocasiones de unos centenares de metros.

Las partes de un sismo son: Hipocentro, Epicentro, Isosistas, Homosistas - Dentro de las partes de un sismo se tienen en cuenta:

- ✚ **Hipocentro o Foco.** Es la zona o punto donde ha tenido origen un terremoto y que por lo general es reducida; también es llamada zona hipocentral. La liberación súbita de la energía elástica acumulada constituye el origen de un temblor de tierra o terremoto, evento al cual se asignan dos conceptos para su ubicación; el foco es la región del campo de esfuerzos donde se inicia la liberación de energía. El foco hipocentro es llamado algunas veces foco o epifoco. La ubicación del foco se logra a partir del análisis de los sismogramas, registros que dejan en los sismógrafos las ondas de esfuerzo al desplazarse por la tierra.
- ✚ **Epicentro.** Punto o zona superficial donde emerge el movimiento vibratorio, y por lo tanto donde mayor intensidad adquiere el fenómeno; también es llamada zona epicentral. El epicentro es la proyección del foco en la superficie terrestre.
- ✚ **Isosistas.** Se le llama así a las zonas concéntricas que pueden delimitarse por curvas que unen los puntos donde la intensidad de la sacudida es la misma, ya que en los alrededores de la zona epicentral la intensidad del sismo va decreciendo.
- ✚ **Homosistas.** Curvas que unen los puntos donde se perciben con exactitud las primeras sacudidas. Por este medio también se puede ubicar el epicentro.



**Figura 5.** Partes de un sismo

**2.2.6 Escalas de Medición para la Intensidad de los Sismos:** La intensidad del terremoto es prácticamente el elemento fundamental a considerar, puesto que su valor habitual o medio define el peligro que representa para el hombre y el grado de atención que requiere. Así pues, han sido establecidas numerosas escalas de intensidad, empíricas o convencionales, experimentándose la necesidad del establecimiento de una media racional y universalmente aplicable, ya que las determinaciones de intensidad sísmica, dependen actualmente de circunstancias contingentes y locales y de la mayor o menor familiaridad del observador con las conmociones sísmicas. El estudio metódico de los terremotos se viene haciendo desde 1846. Desde esta fecha, se vienen catalogando los datos de los terremotos. Al mismo tiempo, el empleo de aparatos registradores de gran exactitud ha permitido hacer el estudio comparativo de la intensidad de los sismos, la hora en que se produjeron, su duración, el número de sacudidas, así como la dirección de éstas. Lo más importante para clasificar los terremotos es la determinación de su intensidad. Como no suele haber bastantes sismógrafos instalados en el área epicentral, se recurre para realizar el trazado de isosistas, a los datos suministrados por diferentes personas, las cuales, con arreglo a escalas empíricas ya formuladas, asignan cada una un número representativo de la intensidad sísmica en el punto de observación, ya que se conoce de manera aproximada, la relación entre los grados y la aceleración. Las escalas empíricas más empleadas son las de Omori, Sieberg, Mercalli y Richter (MENA, 2002).

En el área de Ingeniería Sísmica a menudo se describen los efectos del movimiento del terreno sobre las estructuras construidas por el hombre en términos de intensidad, es decir, de una manera subjetiva, ya que no depende de medidas instrumentales, sino de la información que un observador tenga del daño o del movimiento producido por un terremoto. Sin embargo, la naturaleza subjetiva de la intensidad sísmica crea problemas para comparar los efectos de los terremotos evaluados durante diferentes épocas de estudios ó por los efectos provocados por el terremoto. Por ejemplo, valores bajos de la intensidad dependen de lo que ha sentido la gente, valores medios dependen de la respuesta de las estructuras y valores altos describen lo que ha ocurrido cuando se produce la ruptura de una falla. Una de las escalas más utilizadas para medir la intensidad sísmica es la Mercalli Modificada, a partir de la cual se han desarrollado otras en el mundo. (Mena, 2002). En el anexo 1, se muestran con detalle algunas de las Tablas de Intensidad sísmica más usadas. A continuación se muestra en la Figura 3, la comparación gráfica de las diferentes escalas de intensidad utilizadas en el mundo. Si se observa esta Figura, a excepción de de las escalas JMA y Rossi-Forel, el resto tienen valores muy similares, lo cual permite pensar que existe un relativo consenso en la evaluación de los efectos máximos causados por un terremoto.

Daño %	Rossi - Forel	Mercalli Modificada	Geofian	PRC	JMA	MSK	EMS - 98
0	I	I	I	I	I	I	I
	II	II	II	II		II	II
	III	III	III	III		III	III
	IV	IV	IV	IV	II	IV	IV
	V	V	V	V	III	V	V
	VI	VI	VI	VI	IV	VI	VI
	VII				V	VII	VII
	10	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
	20	IX	IX	IX	IX	IX	IX
	30						
	40	X	X	X	X	X	X
	50						
70							
90	XII	XII	XII	XII	XII	XII	

**Figura 6.** Comparación Gráfica de las diferentes escalas de Intensidad Utilizadas en el mundo.

Fuente: MENA 2002.

**Escalas de Mercalli y Richter.** Las escalas de Mercalli y Richter se utilizan para evaluar y comparar la intensidad de los terremotos. La escala de Richter mide la energía de un temblor en su centro, o foco, y la intensidad crece de forma exponencial de un número al siguiente; es decir que un sismo de siete grados en la escala Richter, es diez veces mas intenso que uno de seis grados. La escala de Mercalli es más subjetiva, puesto que la intensidad aparente de un terremoto depende de la distancia entre el centro y el observador. Varía desde I hasta XII, y describe y evalúa los terremotos más en función de las reacciones humanas y en observaciones que la escala de Richter, basada más en las matemáticas. (Arteta et al, 2003).

Tabla 2. Comparación entre las escalas de Richter y Mercalli.

Magnitud en Escala Richter		Intensidad en Escala de Mercalli	
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado	Grado I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
		Grado II	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
		Grado III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores	Grado IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
		Grado V	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios	Grado VI	Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.

		Grado VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.	Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en la personas que guían vehículos motorizados.
		Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños	Grado X	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
8 o mas	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.	Grado XI	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran

			torsión de vías férreas.
		Grado XII	Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

Fuente: <http://www.angelfire.com/nt/terremotos>

### 2.3 SISMICIDAD EN COLOMBIA

De acuerdo con la información disponible relativa a la sismicidad y tectonismo de la parte noroccidental de América del Sur se han identificado para Colombia las tres principales fuentes de sismicidad: (Arteta et al, 2003)

- ✚ **Sismos “interplacas” entre dos placas.** Estos sismos son los que se originan en la zona de contacto entre la placa Nazca (Oceánica) y la placa América del Sur (Continental) debajo de la costa Pacífica.
- ✚ **Sismos “intraplaca” dentro de la placa América del Sur.** Estos sismos son los originados por liberación de energía a través de las fallas geológicas, localizadas en la placa América del Sur o sea en la placa Continental. Los orígenes o focos de estos sismos están localizados superficialmente, generalmente en los primeros 40 Km de profundidad.
- ✚ **Sismos “intraplaca” dentro de la placa de Nazca.** Estos sismos son los originados dentro de la placa de Nazca ubicada en el occidente colombiano.

**2.3.1 Evolución tectónica en Colombia:** A continuación, se hace un breve recuento cronológico de los principales eventos tectónicos, responsables de la configuración geológica de Colombia, (Arteta et al, 2003):

- ✚ **Precámbrico.** Es el intervalo de tiempo mas amplio, en el Proterozoico, se da el primer evento tectometamórfico y se localiza en la parte mas oriental del país. Otros eventos proterozoicos han sido documentados en Vichada, Guainía, Caquetá, Amazonas, Guajira, Perijá, Macizo de Garzón, Macizo de Santander y Sierra Nevada de Santa Marta.
  
- ✚ **Cambriano.** Periodo de expansión a nivel mundial. Al occidente del escudo de Guayana se depositan sedimentos de plataforma, tipo mareal, en un margen continental de tipo pasivo. La ocurrencia de gravens en el borde llanero, que generaron un margen continental pasivo. En Colombia, esta tectónica ha sido cubierta por los cabalgamientos de la cordillera Oriental, pero registros sísmicos y de pozos confirman la presencia de los gravens.
  
- ✚ **Ordovídico – Siluriano.** El mar cubre gran parte que comprende el Valle del Magdalena, la cordillera oriental y las cuencas subandinas.
  
- ✚ **Devónico Medio – Carbonífero Inferior.** Etapa de colmentación de la cuenca.
  
- ✚ **Carbonífero Superior – Pérmico Triásico Inferior.** En este momento se postula la acreción de la cordillera Central.
  
- ✚ **Triásico Superior – Jurásico.** Producto de esta tectónica es la boca de un *aulacógeno* (graven intracratónico limitado por fallas), que se extiende en dirección Este hacia Bogotá y luego toma rumbo NE hasta Venezuela.

Hacia finales del Jurásico se establece una zona de subducción en la margen occidental de la cordillera central. Una prueba de esto, es que el magnetismo de la cordillera Central se hace cada vez mas joven de Sur a Norte.

✚ **Cretácico – Paleoceno.** Mientras al occidente continua la acreción de terrenos, al oriente los procesos distensivos continúan hasta el Aptiano, acumulándose sedimentos masivos. Cuando la cordillera Occidental se acreciona a la zona de la falla del Cauca – Patía, a lo largo de la actual falla de Romeral, ocasionando la etapa final de la cordillera Central. También se encuentra en esta etapa, la formación de la cuenca que se extendía hasta los Llanos orientales.

✚ **Eoceno – Mioceno.** Sistema de fallas de Chusma, Girardot. Levantamiento del cinturón de San Jacinto y la deformación inicial del cinturón de Cabalgamiento del Cauca.

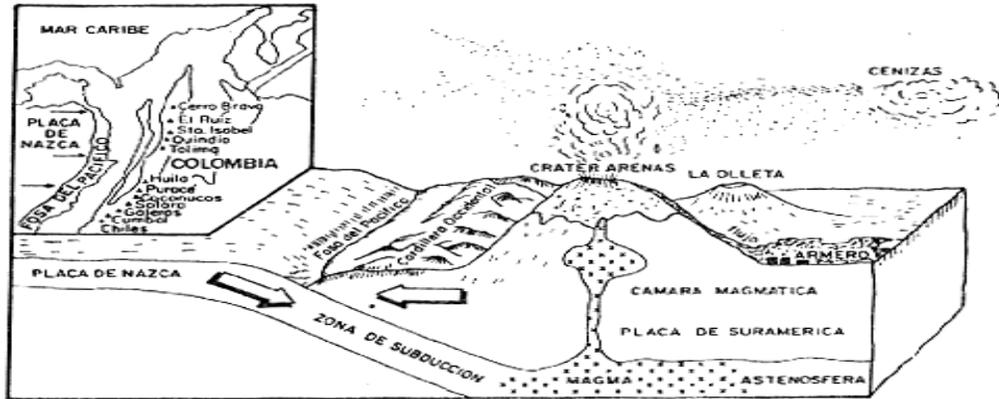
✚ **Mioceno – Plioceno.** Acreción del Arco de Panamá. Finalización de la Orogenia Andina (tres cordilleras) e inicio del vulcanismo.

✚ **Pleistoceno – Holoceno.** Segunda etapa del vulcanismo.

Colombia es un país expuesto a una gran actividad sísmica debido a que está ubicado en el área de influencia del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, la mayor falla geológica que hay en el planeta. Esta falla bordea –con pequeñas interrupciones– toda la cuenca del océano Pacífico. En Suramérica va desde el Sur de Chile hasta el Norte de Colombia.

Más adelante hay otra zona de subducción (deslizamiento del borde de una placa de la corteza terrestre por debajo del borde de otra), que va desde Costa Rica hasta el sur de México, con una interrupción en Estados Unidos y sigue desde el

sur de Canadá, pasando por Alaska, la costa siberiana, Japón y toda la parte del occidente del Pacífico hasta llegar de nuevo al sur de Chile. (Arteta et al, 2003).



**Figura 7** - Diagrama de subducción de la placa de Nazca en la Suramericana.

Fuente: Arteta et al, 2003.

En el caso de Colombia, las mayores probabilidades de terremotos o movimientos telúricos se centran en la zona occidental y la cordillera central. El terremoto de Armenia de enero de 1.999 tiene su explicación en el movimiento que genera la placa de Nazca, la cual se desliza hacia la plataforma continental de Suramérica. Esa presión origina los movimientos telúricos en Colombia y los demás países del cono sur que tienen costa en el Pacífico, incluido Bolivia, que aunque no tiene salida al Océano, sí están influenciados por la falla. La fuerza que ejerce la placa de Nazca contra el litoral hace que la isla de Malpelo esté 6 centímetros más cerca de la costa.

## 2.4 RIESGO SÍSMICO

Según varios comités y trabajos científicos como son el Instituto de Investigaciones de Ingeniería sísmica (EERI), la Asociación Europea de Ingeniería Sísmica (EAEE), la Comisión de Seguridad Sísmica de California (CSSC), el Servicio Geológico de los E.U. (USGS), y trabajos científicos como el del

Ingeniero Fabricio Yépez, definen el Riesgo Sísmico como “las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado de la falla de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por el terremoto”. (Mena, 2002).

Los estudios de riesgos sísmicos a partir de la observación y el análisis de los daños provocados por terremotos han aumentado considerablemente desde los años 80, en los cuales se han presentado terremotos devastadores, que han sido la causa del origen de proyectos, seminarios e investigaciones en todo el mundo, resultado de lo cual se llegó a un cierto consenso sobre las definiciones de los parámetros que intervienen en los estudios del riesgo. El riesgo sísmico, (Yépez 1 et al, 1995), se enmarca dentro los siguientes conceptos:

- ✚ La peligrosidad sísmica, que representa la probabilidad de ocurrencia, dentro de un periodo específico y dentro de un área, de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada.
- ✚ La Vulnerabilidad sísmica de una estructura o grupo de estructuras, definida como el grado de daño debido a la ocurrencia de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada.
- ✚ El Riesgo sísmico específico representa la probabilidad de que una estructura o grupo de estructuras en riesgo, sufra uno o varios grados de daño durante un tiempo de exposición dado.
- ✚ El Riesgo Sísmico se define entonces como el grado esperado de pérdidas sufridas por una estructura o grupo de estructuras en riesgo, durante el período de exposición considerado.

Se aprecia que el riesgo sísmico específico depende tanto de la vulnerabilidad de la estructura como de la peligrosidad del sitio de emplazamiento. Mientras que el

Riesgo Sísmico, depende del riesgo específico y el costo o valor de la estructura o del elemento en riesgo, costo de cualquier tipo ya sea económico, financiero, indemnización, social, humano, etc.

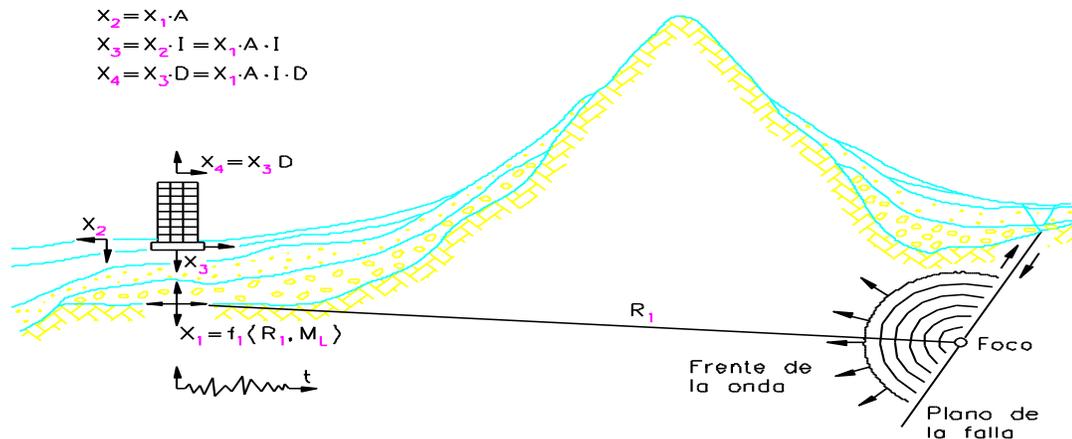
A continuación se presenta un resumen de cada uno de estos conceptos. En el próximo capítulo, se habla detalladamente sobre la configuración estructural y estructuración sísmica, el cual es el objeto de este trabajo de investigación.

## **2.5 PELIGROSIDAD SÍSMICA**

Se entiende por peligrosidad Sísmica de una zona cualquier descripción de los efectos provocados por terremotos en el suelo de dicha zona. Estos efectos pueden venir representados mediante la aceleración, Velocidad, desplazamiento o por la intensidad sentida en el lugar y para evaluarlos es necesario analizar los fenómenos que ocurra desde la emisión de ondas sísmicas en el foco hasta que dichas ondas alcanzan el lugar en cuestión.

En la Figura 5 se presenta el mecanismo de propagación de un sismo desde el epicentro hasta cualquier punto de la estructura. Puede observarse que, al ocurrir un terremoto con unas ciertas características focales (profundidad, mecanismo focal, magnitud, etc.), parte de la energía disipada se convierte en ondas sísmicas, las cuales se propagan por la tierra sufriendo diversos fenómenos entre los cuales se encuentran el de reflexión, refracción, atenuación y amplificación, hasta llegar al basamento rocoso debajo del lugar de emplazamiento bajo estudio, en forma de excitación, la cual está representada en la gráfica como X1. Debido a la existencia de las capas del suelo que se encuentran entre el basamento y la superficie, las ondas sufren nuevos fenómenos generalmente de amplificación, obteniéndose la señal X2, siendo A la función de transferencia de dichas capas de suelo. Debido al fenómeno de interacción suelo estructura representado por la función de transferencia I, la señal sufrirá nuevos cambios de cuyo resultado se

obtendrá la nueva señal  $X_3$ , convirtiéndose en una excitación a nivel de la base del edificio, la que finalmente se aplicará a la estructura provocando a través de la función de transferencia  $D$ , deformaciones y esfuerzos en todo los puntos de la misma. (YEPEZ 1 et al, 1995).



**Figura 8.** (Propagación de la energía Sísmica desde el epicentro hasta la estructura).

**Fuente:** Yépez et al 1, 1995.

Desde el punto de vista práctico, la evaluación de las funciones de transferencia  $I$  y  $D$  corresponde a la Ingeniería Estructural; sin embargo, el cálculo de la función de transferencia  $A$  y la evaluación de la Excitación  $X_1$  son temas a solventar en los estudios de peligrosidad sísmica. En otras palabras, los estudios de peligrosidad tienen como objetivo estimar el movimiento del terreno en un lugar determinado como consecuencia de los terremotos. Si no se puede realizar una estimación del movimiento en sí, es importante una estimación del tamaño del terremoto en el lugar en cuestión, (Yépez 1 et al, 1995).

Los estudios de peligrosidad sísmica a nivel regional (macrozonificación), se dedican a estimar el parámetro  $X_1$ , mientras que los estudios de peligrosidad a nivel local (microzonificación), tienen como objetivo el de evaluar la función de transferencia  $A$  y por ende la señal  $X_2$ . Para realizar estos estudios se requiere de investigaciones muy detalladas que son parte de un amplio campo dentro de

varias ciencias como La Geofísica, la Geología y la Geotécnica, (Yépez 1et al, 1995), lo cuales no son parte de esta investigación, pero si de investigaciones futuras.

## **2.6 VULNERABILIDAD SÍSMICA**

A partir de experiencias de terremotos pasados se ha observado que ciertas estructuras, dentro de la misma tipología estructural, experimentan un daño más severo que otras, a pesar de estar ubicadas en la misma zona. Si al grado de daño que sufre una estructura, ocasionado por un sismo de determinadas características, se le denomina Vulnerabilidad, se puede entonces calificar los edificios en “más Vulnerables” o “menos Vulnerables” frente a un mismo evento sísmico. Si observamos la Figura 6, la respuesta X4 de la estructura es consecuencia de la convolución del movimiento en la cimentación por la función de transferencia D de la propia estructura. Dicha función es única y característica de la propia estructura. Así mismo, el ser más o menos Vulnerable ante un sismo de determinadas características es también una propiedad intrínseca de cada estructura, por tanto, independiente de la peligrosidad del sitio de emplazamiento. Esto quiere decir, que una estructura puede ser Vulnerable, pero no estar en riesgo, a menos que se encuentre en un sitio con una cierta peligrosidad sísmica. (Yépez 1et al, 1995).

La Vulnerabilidad sísmica de una estructura, grupo de estructuras o de una zona urbana completa, se define entonces, como su predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y esta asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño. (Bonett, 2003)

El concepto de Vulnerabilidad sísmica es indispensable en estudios sobre riesgos sísmicos y para la mitigación de desastres por terremotos. La mitigación de desastres, en el ámbito de la ingeniería, corresponde a la totalidad de las acciones que tienen como objetivo la mejora del comportamiento sísmico de los

edificios de una zona, a fin de reducir los costos de daños esperados durante el terremoto. Así, es evidente que para mitigar el riesgo sísmico de una zona, es necesario disminuir la amenaza, la Vulnerabilidad y el costo de reparación de las estructuras afectadas. El conocimiento adecuado de la amenaza sísmica existente, permite definir tanto la acción que debe considerarse en el diseño de nuevas estructuras como el sitio donde pueden ser construidas, de tal forma que las condiciones de los emplazamientos sean optimas, esto es: alejando las fallas, evitando los rellenos, los lugares con posibles asentamientos o deslizamientos y los de alto potencial de licuefacción. Sin embargo, poco puede hacerse para reducir la amenaza a la que están expuestas las estructuras existentes, por lo tanto, si se desea disminuir el riesgo, se requiere una intervención directa sobre la vulnerabilidad.

El conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras, permite definir los mecanismos y acciones de refuerzo requeridos para la reducción de los efectos provocados por los movimientos del terreno. Para el caso de construcciones nuevas, pueden plantearse nuevos sistemas constructivos y/o nuevas filosofías de diseño que garanticen el buen desempeño de cada uno de los elementos expuestos. (Bonett, 2003).

En la actualidad, el análisis de la Vulnerabilidad sísmica de las diferentes estructuras existente en nuestro medio, esto es: edificios, componentes de líneas vitales, estructuras esenciales, entre otras, se encuentran en un nivel avanzado debido a la gran cantidad de estudios hechos por diferentes investigadores. De igual forma, se han desarrollado un gran número de propuestas para la evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica a diferentes niveles de detalle, y se han hecho numerosas aplicaciones en varias regiones del mundo, (Bonett, 2003). No obstante, en países en Vías de desarrollo y con un bajo control de el diseño sismorresistente, como es el caso de Colombia, poco se ha hecho para reducir la Vulnerabilidad sísmica de las estructuras existentes, con lo cual, ante movimiento de intensidad moderada y alta, el número de pérdidas de vidas humanas y la

magnitud de los daños físicos, sociales y económicos, han originado verdaderas catástrofes sísmicas, como las ocurridas en el eje Cafetero.

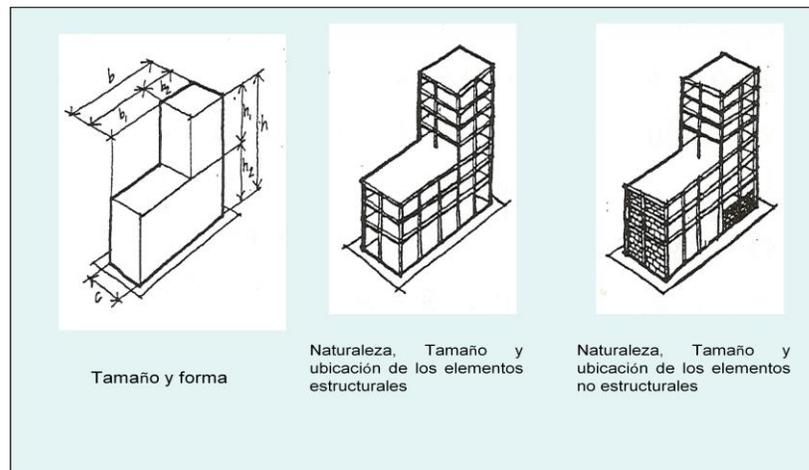
Las aplicaciones de los estudios de vulnerabilidad en entornos urbanos, debe considerar tanto los aspectos estructurales como los funcionales, operativos y urbanos, para que puedan proporcionar información útil para la prevención de desastres, la planificación y la ordenación del territorio. En este sentido, constituyen un importante punto de partida para la toma de decisiones relacionadas con la rehabilitación o demolición de edificios peligrosos, la ubicación de hospitales y puestos de socorro en una determinada zona o por ejemplo, el diseño de las vías alternativas de evacuación y rápido acceso de las ayudas hacia las zonas más vulnerables.

### **3. ESTRUCTURACION SISMICA Y CONFIGURACION ESTRUCTURAL EN LA ZONA CENTRICA DE SINCELEJO SUCRE**

El propósito de este Capítulo es estudiar y aclarar en términos sencillos, la manera como la estructuración y la configuración del edificio influye en su capacidad de resistencia a los sismos. La configuración del edificio (tamaño, forma y componentes), tiene un efecto significativo en el comportamiento del edificio bajo un sismo. La aplicación de los principios de buena práctica de estructuración no ha sido efectiva, siendo frecuente el uso de configuraciones riesgosas. Algunos arquitectos no son conscientes de la importancia sísmica de sus decisiones, y no buscan consejos en los Ingenieros, pero el problema básico consiste en la falta de comunicación entre las dos disciplinas arquitectura – Ingeniería. Aunque también es necesario que el Ingeniero se familiarice con los requerimientos del arquitecto. (Jaramillo, 2006). Problema que se presentan en nuestro medio día a día. Este capítulo es un resumen de las memorias de clase dadas por el Ingeniero Álvaro Jaramillo (Referencia), en el curso de estructuración sísmica, en la maestría en Ingeniería Civil con énfasis en estructuras de la Universidad del Norte, en el II periodo académico del año 2007.

#### **3.1 LA NATURALEZA DE LA CONFIGURACIÓN**

En general, el arquitecto concibe y controla la configuración de la construcción, la cual se define como el tamaño y forma del edificio, junto con la naturaleza y características de los elementos estructurales y no estructurales del edificio, tales como muros, columnas, entrepisos, núcleos de servicios y escaleras, divisorios interiores, etc. (Figura 9)



**Figura 9.** Definición ampliada de configuración.

Fuente: Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

La actividad del hombre demanda el establecimiento de ciertos ámbitos y tipos de divisorios del espacio, conectados por medio de circulaciones. Por las combinaciones de espacio de actividades y de circulación se llega a ciertas dimensiones, y finalmente, a la configuración del edificio, (REITHERMAN, 1982). Pero existen otras determinantes de la configuración que a veces dominan, tales como la geometría, la geología y el clima, los requisitos del diseño urbano y otros aspectos.

### **3.2 LA IMPORTANCIA DE LA CONFIGURACIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DEL EDIFICIO**

Muchos de los errores de ingeniería que ocasiona graves daños y colapsos, se originan en fallas en la configuración. El diseño sísmico constituye una responsabilidad arquitectónica y de ingeniería compartida. El sismo ataca la edificación, no haciendo distinción por disciplina. La US Army “seismic Desing for buildings” indica que:

“Los ingenieros están reconociendo que la forma, simetría y distribución general de la construcción desarrolladas en la etapa conceptual, son más importantes o

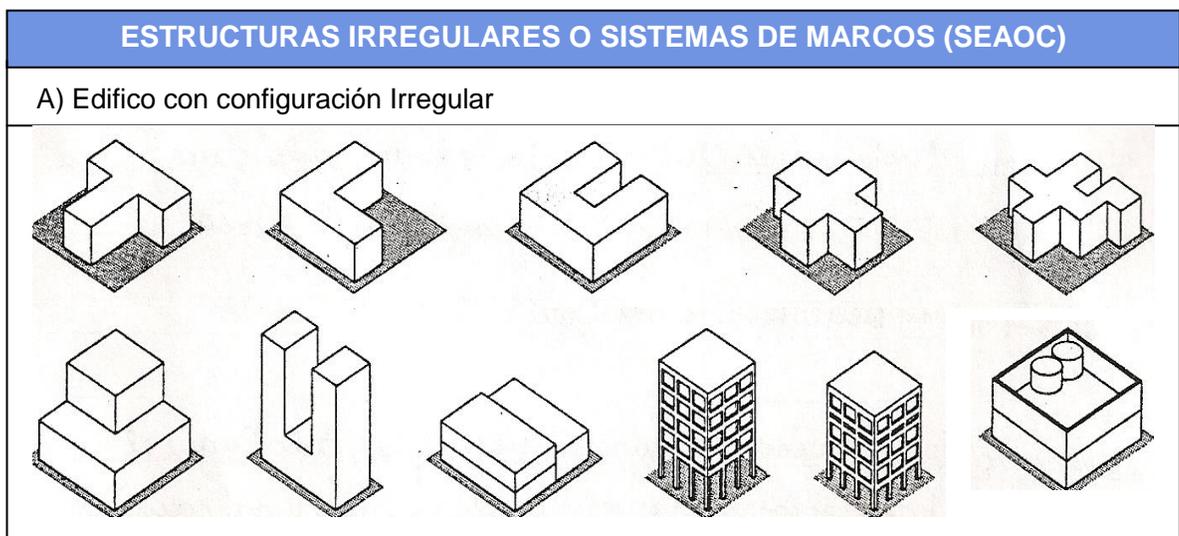
contribuyen de manera más significativa en la determinación exacta de las fuerzas especificadas en el reglamento.”

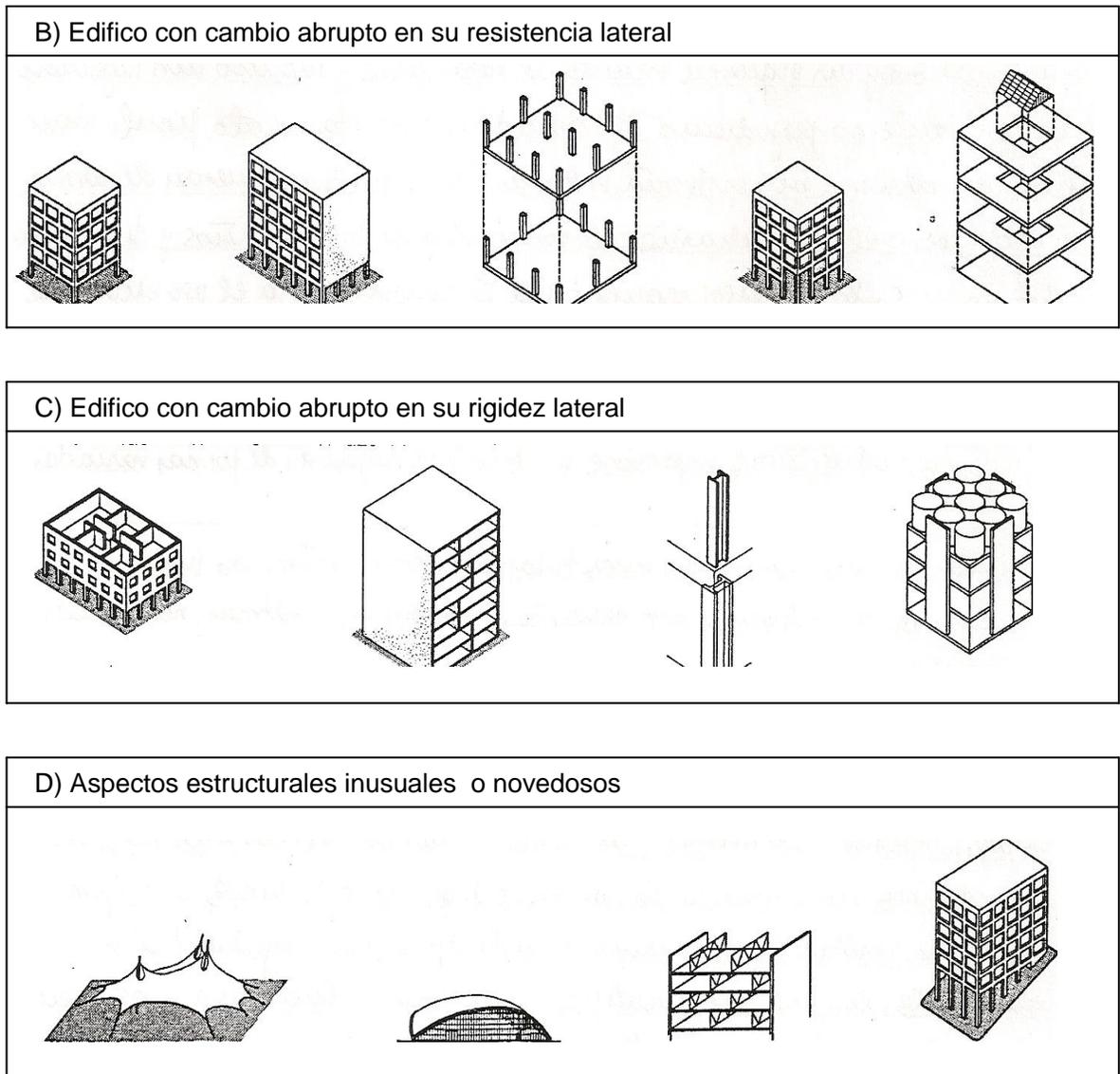
También se ha expresado, en el mismo documento, que: “se sabe desde hace mucho tiempo que la configuración, sencillez y alineación del sistema resistente a los sismos de una estructura, es tan importante, o acaso más, que las fuerzas laterales de diseño.”

De todos modos, una guía para trabajar en zonas sísmicas incluye soluciones de deberían ser sencillas, continuas, simétricas, rectilíneas y repetitivas.

### 3.3 LA CONFIGURACIÓN Y LAS NORMAS

Las normas se han establecido para edificios y condiciones uniformes. Las Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC) ha emitido especificaciones para clasificar las irregularidades estructurales, los cuales se cuantifican como una reducción del coeficiente R de modificación de respuesta para edificios regulares, guía que también usa la Norma NSR-98 de Colombia.





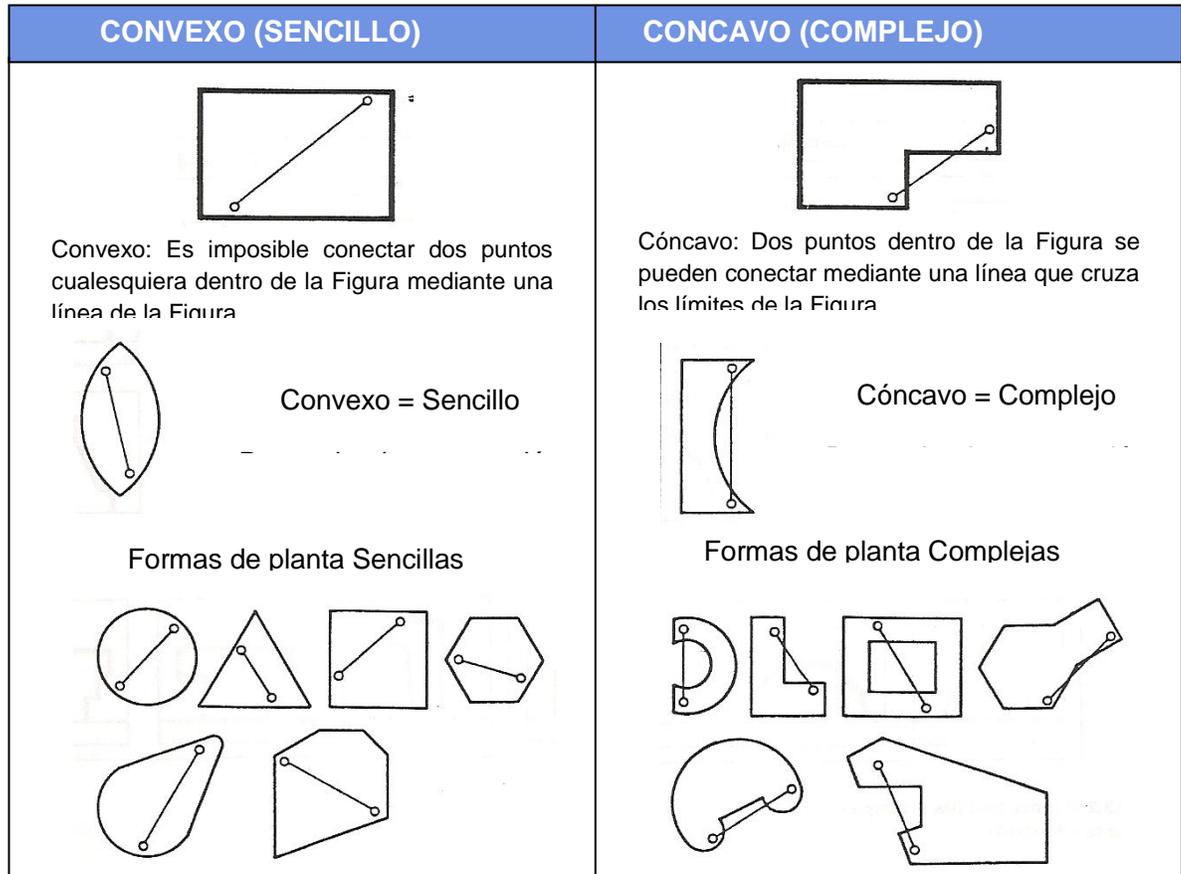
**Figura 10.** Interpretación Gráfica de irregularidades en estructuras de sistemas de marcos.

**Fuente:** SEAOC Recommended lateral force requirements and commentary. Uninorte. 2007

### 3.4 DEFINICIÓN DETALLADA DE LA CONFIGURACIÓN

A continuación se presenta el lenguaje de las configuraciones. La clasificación se basa en combinaciones de geometría pura, importancia sísmica y uso del edificio. La base para el sistema de clasificación proviene de los conceptos de concavidad y convexidad (Figura 8), la cual hace rápidamente una distribución útil entre

edificios de forma sencilla y compleja, implicando esquinas o curvas entrantes tanto en planta como en elevación.



**Figura 11.** El concepto de sencillez y complejidad

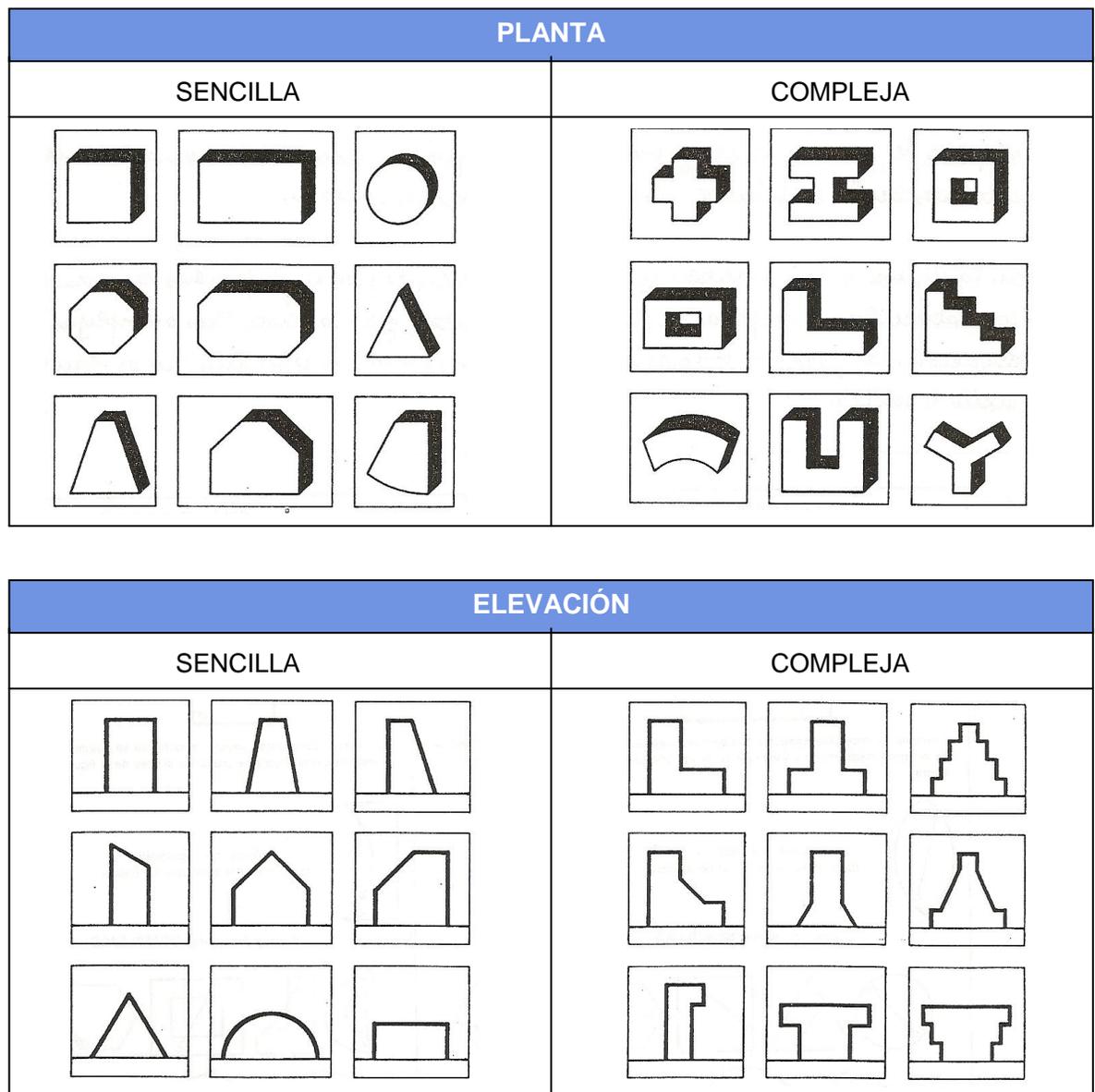
**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Convexo (sencillo): Es un parámetro que sirve para indicar que una configuración en planta es sencilla, por lo tanto una configuración es sencilla cuando es imposible conectar dos puntos cualesquiera dentro de la Figura mediante una línea que cruce los límites de la Figura. Ver Figura 11.

Cóncavo(complejo): Igual que en el caso anterior es un parámetro, pero este sirve para indicar que una configuración en planta o elevación es compleja, por lo tanto

una configuración es compleja cuando dos puntos dentro de la Figura se pueden conectar mediante una línea que cruza los límites de la Figura 11.

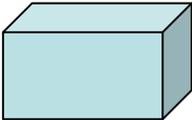
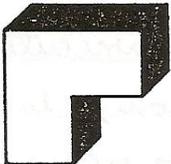
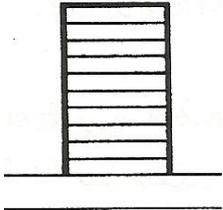
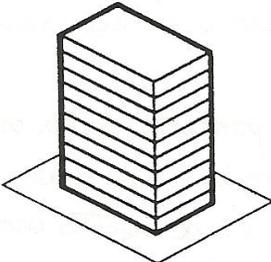
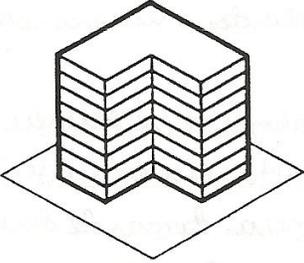
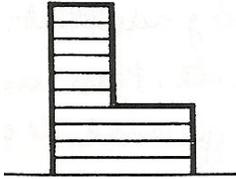
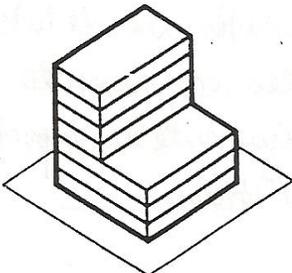
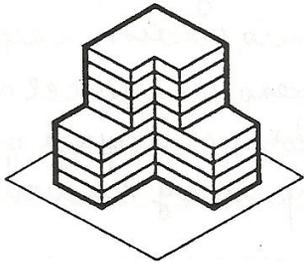
En la Figura 12 aparecen ejemplos de formas definidas separadamente como sencillas o complejas en planta y en elevación. Las formas mostradas son comunes de aquellas que se usan en el diseño de edificios.



**Figura 12.** Formas sencillas y complejas. Planta y elevación

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Si se va de lo bidimensional o lo tridimensional, en la Figura 13 se observa que estos dos pares de características se combinan en una matriz que define las cuatro características básicas de las formas de los edificios. Todas las configuraciones de edificios se pueden relacionar con esta matriz.

MATRIZ DE FORMA DE EDIFICIOS		
Plano Horizontal Plano Vertical	 Planta sencilla	 Planta compleja
 Elevación sencilla		
 Elevación compleja		

**Figura 13.** Matriz compuesta por las cuatro formas básicas de edificios.

Fuente: Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

En las siguientes fotografías se describe primero las cuatro categorías básicas de las formas de los edificios, tomando como ejemplos edificaciones en la ciudad de Sincelejo Sucre.

Ejemplo de edificio con planta sencilla y elevación sencilla: Edificio de aulas en la Universidad de Sucre, sede Puerta roja. Salones X2.



Bloque X2. Universidad de Sucre



Bloque X2. Universidad de Sucre

Ejemplo de edificio que tenga planta sencilla y elevación compleja:



Edificio en el centro de Sincelejo.



Clínica las peñitas

Ejemplo de edificio que tenga planta compleja y elevación sencilla:



Edificio la sabanera. Sincelejo.



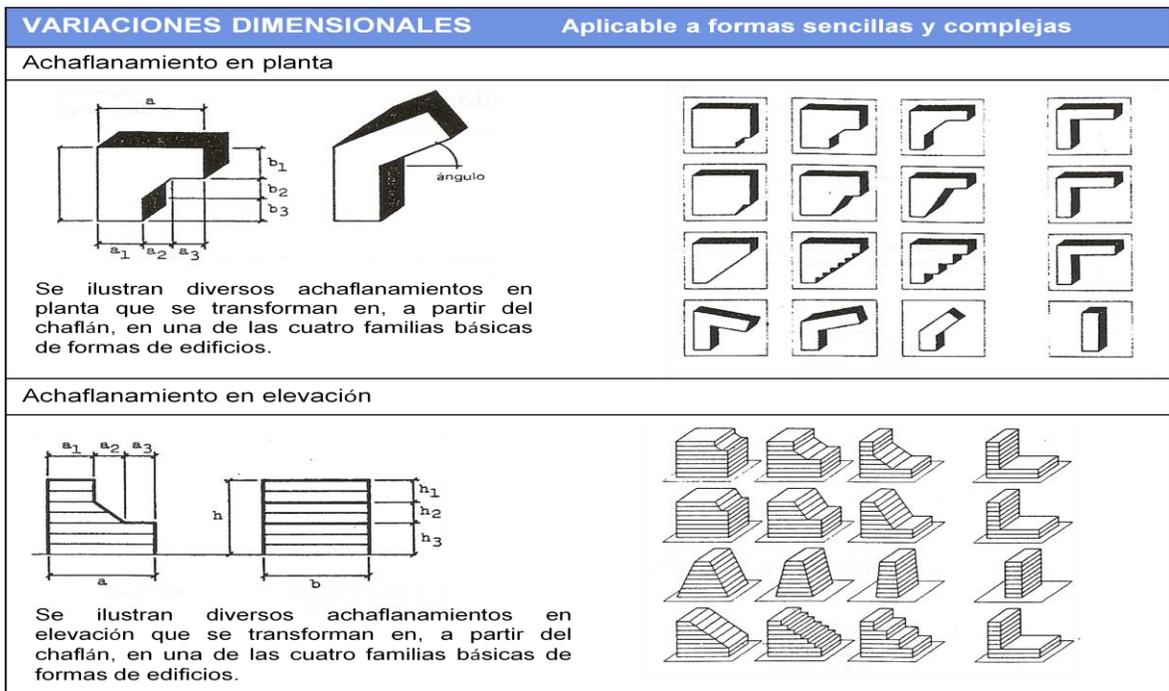
Edificio la sabanera. Sincelejo.

Ejemplo de edificio que tenga planta compleja y elevación compleja:



Edificio al lado de supermercado la cascada.

Una vez definida las cuatro formas básicas, se describe la característica de achaflanamiento, que se aplica a formas sencillas y complejas en planta y elevación, y la manera de transformación progresiva en una forma compuesta por un gran número de escalones que se convierten en “L”. Por lo tanto, las formas en apariencia escalonada se pueden obtener mediante una estructura achaflanada. De este modo, una geometría escalonada no necesariamente significa que hay una estructura de esquina entrante en planta o un escalonamiento de elevación. Figura 14.



**Figura 14.** Variaciones dimensionales aplicables a formas sencillas y complejas.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

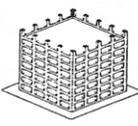
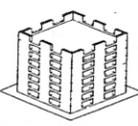
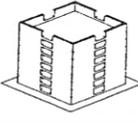
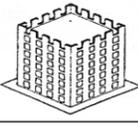
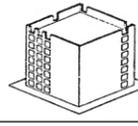


Achaflanamiento invertido en elevación. Almacén El Manicomio.



Achaflanamiento en planta. Edificio Comfasucre.

Finalmente se definen tres componentes de la configuración que tienen importancia en el diseño sísmico y son además el resultado de las primeras tomas de decisiones en el diseño esquemático de los edificios. Primero la naturaleza del diseño del perímetro se define en términos de abertura y uniformidad. Segundo, la naturaleza de la división del espacio interior se define en términos de intensidad y adaptabilidad. Tercero, se define el núcleo como elemento importante. Para cada uno de éstos, se bosqueja gráficamente la importancia general de cada componente y sus características. Se mostrarán gráficas, en las cuatro Figuras a continuación, que representen cada uno de los casos, con fotografías de estructuras de la ciudad de Sincelejo como ejemplos.

COMPONENTES DE CONFIGURACION			Requisitos de diseño perimetral	
<b>PORCENTAJE ABIERTO</b> Define la medida a la cual se puede abrir el perímetro para iluminación natural, vista u otros propósitos			<b>UNIFORMIDAD</b> Define la medida en la que los elementos exteriores opacos y abiertos contribuyen de manera uniforme entre las fachadas o pisos de los edificios	
				
Alto	Mediano	Bajo	Uniforme	No Uniforme

**Figura 15.** Componente de configuración. Requisitos de diseño de perímetro.

Fuente: Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007



Porcentaje abierto: Alto. Almacenes Taboada.



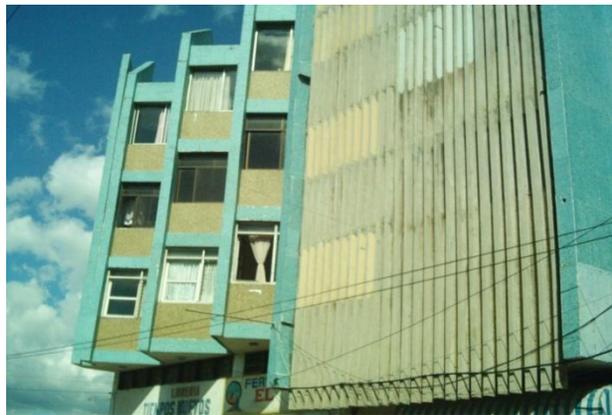
Porcentaje abierto: Mediano. Unidad Materno infantil



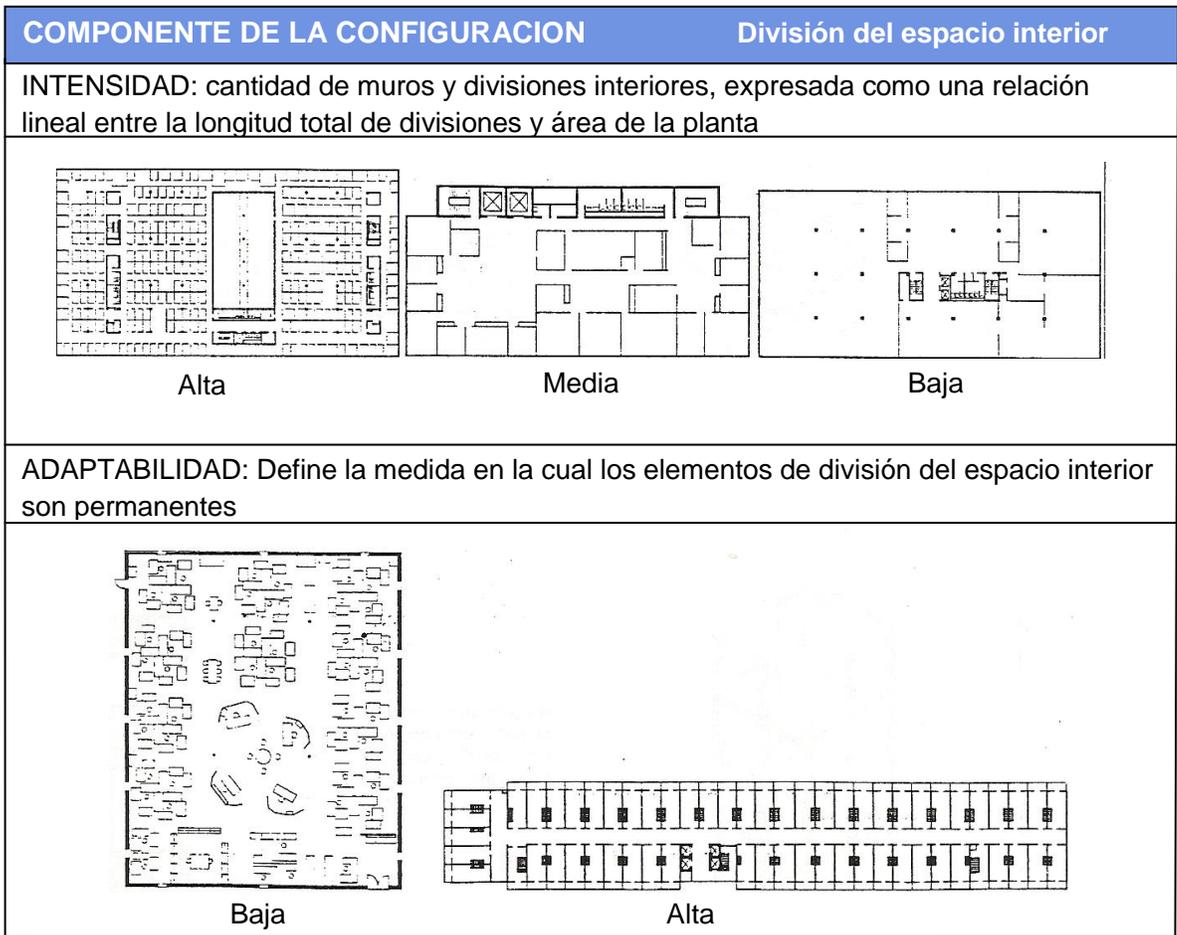
Porcentaje Abierto: Bajo. Edificio Madrid



Uniformidad: Uniforme. Hotel Capilla Real.



Uniformidad: No Uniforme. Edificio en el mercado viejo.



**Figura 16.** Componentes de configuración: División del espacio interior.

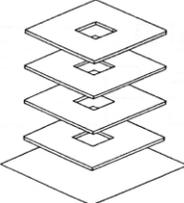
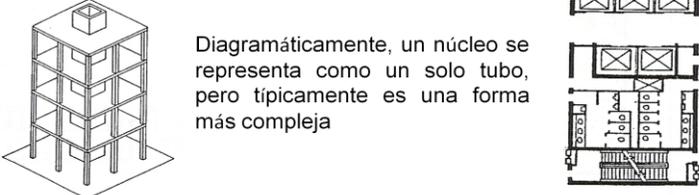
Fuente: Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007



Intensidad: Media. Clínica Medalla de la Milagrosa.



Adaptabilidad: Alta. Clínica Medalla de la Milagrosa.

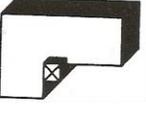
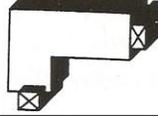
COMPONENTE DE LA CONFIGURACION	NUCLEOS
	<p data-bbox="654 758 1333 884"> <b>NUCLEO:</b> una serie de aberturas en los pisos, alineadas verticalmente para permitir la penetración de servicios mecánicos verticales, elevadores o escaleras, en el edificio.            Un núcleo puede o no estar cerrado con material estructural para resistir fuerzas verticales y/o laterales         </p> <p data-bbox="805 940 1143 1041">           Diagramáticamente, un núcleo se representa como un solo tubo, pero típicamente es una forma más compleja         </p> 

**Figura 17.** Componentes de configuración: Situación de Núcleo

Fuente: Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

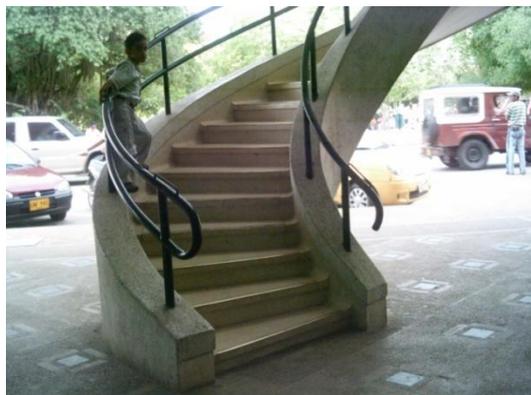


Núcleo: Sencillo, solo exterior. Vivienda sobre la calle 7 de agosto

COMPONENTE DE LA CONFIGURACION		NUCLEOS	
Localización de Núcleos			
	Sencillo	Complejo	
Solo, interior			
Múltiple, interior			
Solo, exterior			
Múltiple, exterior			
Combinaciones			

**Figura 18.** Componentes de configuración: Situación de Núcleo

Fuente: Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007



Escalera Externa



Escalera Interna

Núcleo: Complejo, Combinado. Centro Comercial Gran centro el Parque.

### **3.5 INFLUENCIA DE LA CONFIGURACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO**

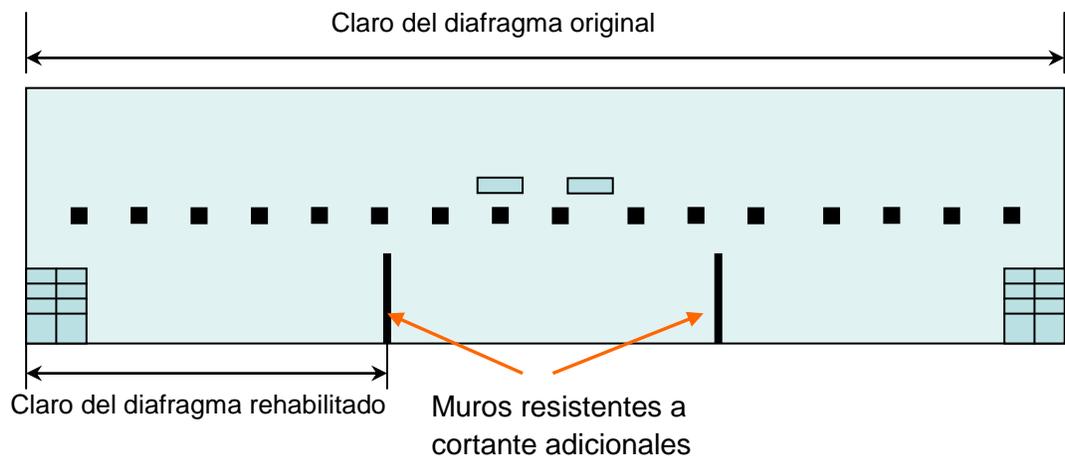
A continuación se presentan los aspectos de la configuración estructural que afecta al comportamiento sísmico de los edificios de concreto y acero principalmente.

**Altura.** En todo proyecto de estructuras, el aumento de la altura de un edificio parece equivalente al aumento de la luz de una viga en voladiza, lo cual hace que aumente su período, generando un cambio en la aceleración sísmica que se aplica sobre la construcción. Los sismos en el pasado han concentrado una energía en los edificios con 0.50 segundos de período, principalmente, si la altura es tal que hace crecer demasiado el período, se obtiene una fuerza sísmica equivalente a la porción decreciente del espectro sísmico de diseño. El período no es solamente una función de la altura, sino también de la relación altura / ancho, altura de piso, tipos de materiales del edificio, sistemas estructurales y distribución de la masa, (Jaramillo, 2006).

**Tamaño Horizontal.** Las grandes áreas en planta pueden producir inconvenientes, inclusive si son de forma sencilla y simétrica, ya que el edificio puede tener dificultad para responder como una sola unidad.

Debido a que la propagación de las ondas depende del suelo y de la altura, las diversas partes de la base del edificio se mueven asincrónicamente con aceleraciones diferentes, causando esfuerzos longitudinales de tensión y de compresión, así como desplazamientos adicionales. Cuanto más largo sea el edificio, mayor será la probabilidad de ocurrencia de estos esfuerzos y mayor será su efecto. Un aumento en la longitud del edificio incrementa los esfuerzos en un piso que funciona como un diafragma horizontal en dirección transversal, la rigidez del piso puede no ser suficiente para redistribuir la carga horizontal durante un sismo.

A menos que haya numerosos elementos interiores resistentes a cargas laterales, por lo general los edificios de planta grande imponen estrictos requerimientos sobre un diafragma, la solución consiste en agregar muros o pórticos que reduzcan el largo del diafragma, aunque esto puede crear problemas en la utilización del edificio un ejemplo de agregación de dos muros en un edificio universitario largo se muestra en la Figura, la cual fue la más importante de la recomendación de rehabilitación sísmica de la edificación, y repuso el 90% del costo de la misma. Figura 19.

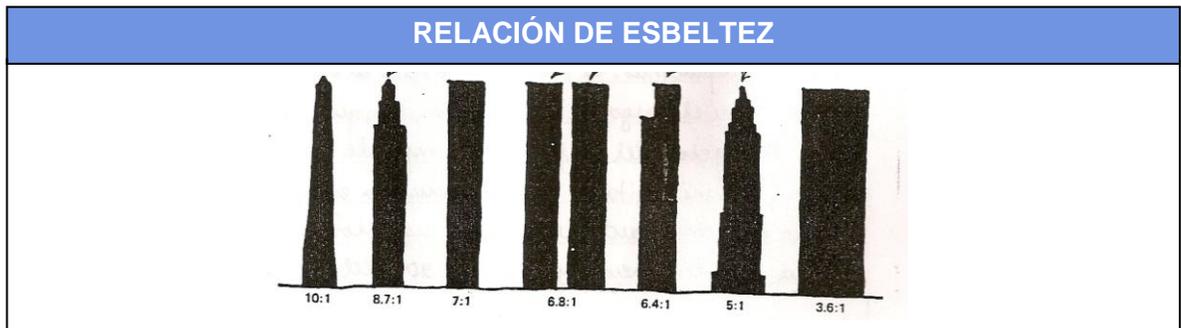


**Figura 19.** Adición de muros de cortante para reducir el claro del diafragma.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

**Proporción.** En el diseño sísmico, las proporciones de un edificio pueden ser más importantes que su tamaño absoluto. Para edificios altos, su relación de esbeltez = altura / ancho es una consideración muy importante.

Muchos autores sugieren limitar la relación altura / ancho a 3.0 ó 4.0, debido principalmente a los efectos de los momentos de volcamiento, la Figura muestra que para 20 pisos ( ~ 73 m), la anchura debe estar del orden de  $\frac{1}{4} * 73 \approx 18$  m, la Figura 20 muestra la relaciones de esbeltez de varios edificios, destacándose que las desaparecidas WTC tienen 6.8 de parámetro de esbeltez.



**Figura 20.** Relaciones de esbeltez. De izquierda a derecha: Monumento a Washington, Edificio Woolworth, Edificio Pirelli, Centro de comercio mundial, Torre Sears, Edificio Empire Estate y el edificio U.S. Steel. (No todos son dibujados a la misma escala)

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Las formas largas y esbeltas son inconvenientes, los terrenos pequeños son propicios para la construcción de edificios esbeltos. En la ciudad de Sincelejo, este no es un problema, ya que no se encuentran edificios de gran altura. Las relaciones de altura/ancho, más altas, están en el orden de 2 a 3, y solo para unos casos especiales. Del resto, presentan relaciones mucho más pequeñas.



Unidad Materno infantil de Sincelejo. Alto/ancho = 2

El edificio que se encuentra abandonado en el centro de la ciudad de Sincelejo, si podría haber tenido una relación Alto-ancho un poco mayor de tres. En las condiciones actuales, su relación alto/ancho es aproximadamente de tres.



Edificio en el centro de Sincelejo. Alto/ancho = 3

**Simetría.** Un edificio es simétrico respecto a sus dos ejes si su geometría es idéntica en cualquiera de los lados de los ejes que se estén considerando. Tal edificio es perfectamente simétrico, pero puede serlo respecto a un eje únicamente. Véase la Figura 21.

SIMETRÍA		
	En planta	En elevación
Respecto a dos ejes		
Respecto a un eje		
Respecto a ningún eje		

**Figura 21.** Simetría en planta y en elevación.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007



**Figura 22.** Simetría en planta. Manzana del gran Centro en parque.

**Fuente:** Datos del estudio. De ArcMap



Simetría en elevación. Simetría respecto a dos ejes.

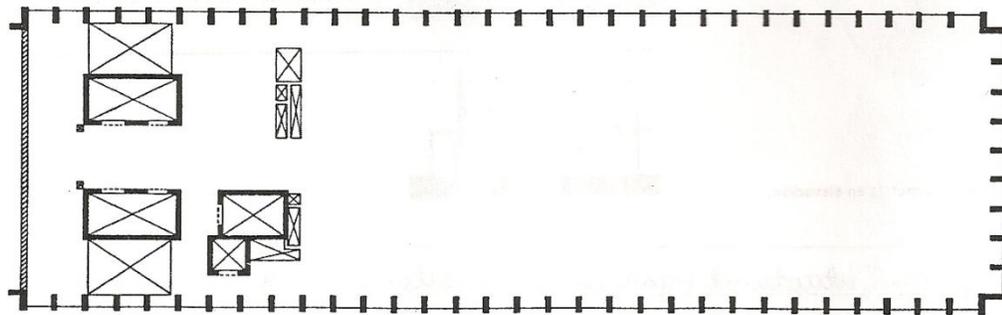


Simetría en elevación. Simetría respecto a ningún eje.

Simetría estructural significa en elevación, pero tiene menor significación dinámica que la simetría en planta, la pirámide tiene la ventaja intrínseca de que su masa se reduce constantemente con respecto a la altura, las normas y especificaciones indican que las formas simétricas son preferibles a aquellas pues no lo son. Esto se basa en que a) la simetría tiene a producir excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez, y por lo tanto provocará torsión, b) la concentración

de esfuerzos que produce la asimetría, no obstaculice lo anterior, la simetría no es suficiente, que muestra una forma simétrica buena y una mala, esta última caracterizada por el hecho de que al ser largas las aletas, en las esquinas interiores se producirán severas concentraciones de esfuerzo y torsión.

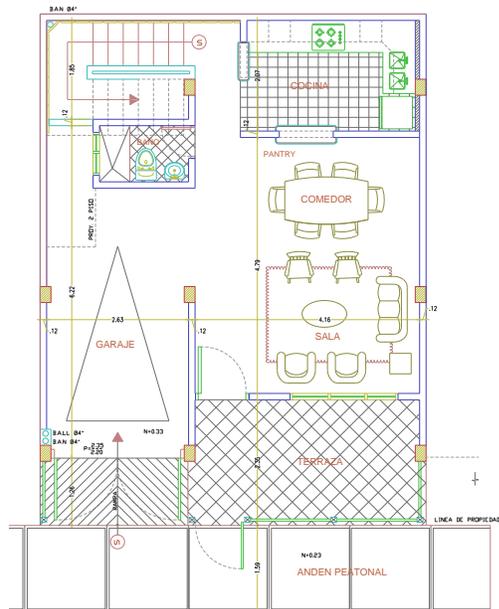
No obstante, los efectos de la simetría no solo se refieren a la forma del conjunto del edificio, sino también a los detalles de un diseño y construcción, tal como ocurre con el caso de un edificio de configuración simétrica con núcleos de ascensores y escaleras asimétricas. Figura 23.



**Figura 23.** Falsa simetría. Banco central, Managua, Nicaragua. Redibujado con autorización de John F. Meehan et. Al., “Engineering Aspect”.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

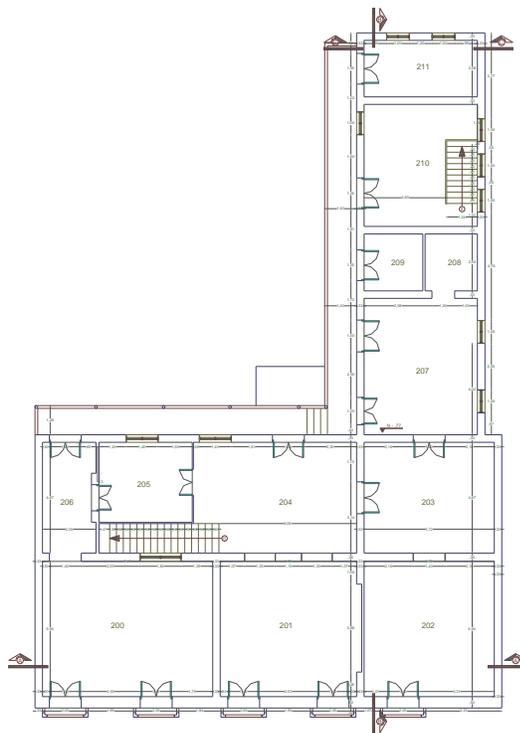
**Distribución Y Concentración De La Estructura En Planta.** Este parámetro se define como la relación del área total de todos los elementos estructurales verticales (columnas, muros, contravientos) y el área bruta del piso. En un edificio moderno típico, este % se reduce al mínimo, del orden del 2% - 3%, pero plantas densamente pobladas de las construcciones antiguas representan un sorprendente contraste, alcanzándose densidades hasta del 50% para el Taj Mahal y otros ejemplos.



Pórtico. Planta edificio en el barrio 7 de Agosto. Densidad de estructuración en planta 3%.



Pórtico. Planta edificio en el barrio 7 de Agosto de Sincelejo. Densidad de estructuración en planta 3%.

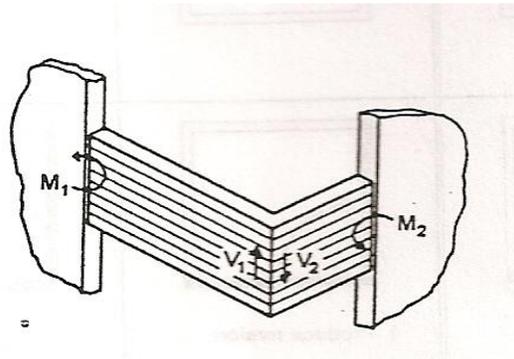


Mampostería No estructural. Planta edificio del centro. Densidad de estructuración en planta 8%.



Mampostería No estructural. Planta edificio del centro. Densidad de estructuración en planta 8%.

**Esquinas.** Se debe prestar especial atención a las esquinas de los pórticos, tomando en consideración los movimientos simultáneos en dirección tanto horizontal como vertical, las columnas de esquinas de un edificio donde la deflexión de un muro en un plano debe interactuar con la deflexión incompatible de un muro en un plano perpendicular. Esto se puede acentuar por la ausencia de un muro sólido en la esquina.



**Figura 24.** El movimiento diferencial produce daños en la esquina débil.

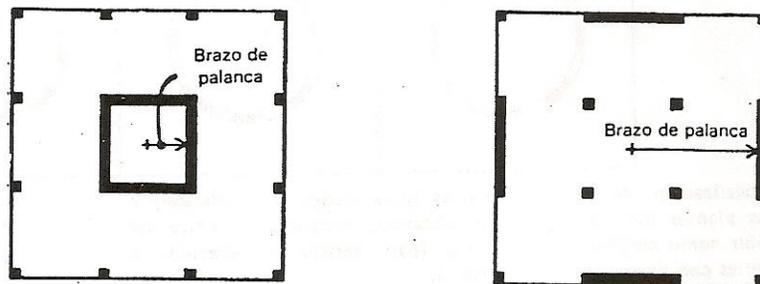
**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007



El movimiento diferencial produce daños en la esquina débil

**Resistencia Perimetral.** Aunque las dos configuraciones mostradas en la Figura 25 son simétricas y tienen la misma cantidad de muros de cortante, los muros de la derecha tienen mayor brazo para resistir en momentos de volteo y torsión. El tamaño y localización de los muros de cortante son críticos. En la Figura 27 se

ilustran algunos aspectos conceptuales de la colocación de muros dentro de plantas con formas geométricas sencillas.



**Figura 25.** Localización de muros de cortante para resistir los movimientos de volteo y torsión

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

LOCALIZACION DE MUROS CORTANTES			
Configuración Esquemática	↑ Elementos resistentes para fuerzas Sísmicas	← Elementos resistentes para fuerzas Sísmicas	Elementos resistentes para torsión

**Figura 26.** Localización de muros cortante.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte.2007

**Redundancia.** Los miembros redundantes son elementos estructurales que son capaces de absorber solicitaciones adicionales a las que soportan usualmente. La idea básica de la redundancia es proporcionar muchas trayectorias alternativas de liberación de los esfuerzos. Esto es especialmente crítico en edificios

prefabricados con paredes, en donde la falta de redundancia es un aspecto crítico, las conexiones son fundamentales para la redistribución de la carga.

### 3.6 IRREGULARIDADES SIGNIFICATIVAS EN CONFIGURACIONES SENCILLAS

En el comportamiento sísmico influye fuertemente la naturaleza del diseño del perímetro. Si existe una amplia variación de resistencia y rigidez alrededor del perímetro, y las fuerzas de torsión causarían la rotación del edificio respecto al centro de rigidez. Véase la Figura 28, en donde los muros laterales cerca de la colindancia encajonan la construcción.

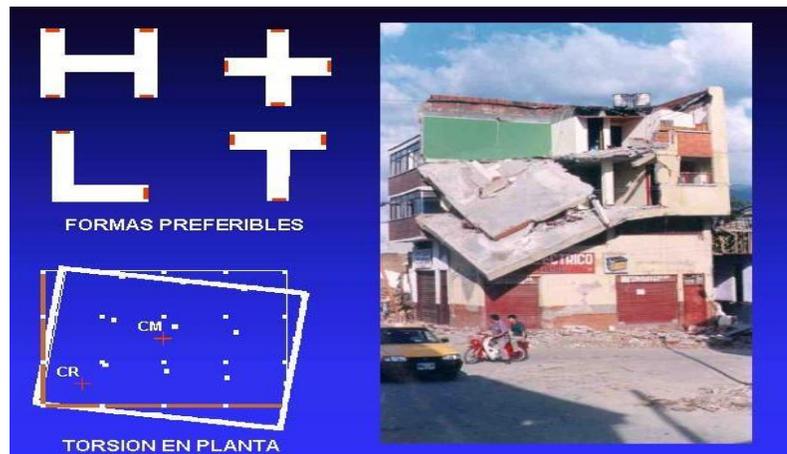


**Figura 27.** Resistencia horizontal desequilibrada.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

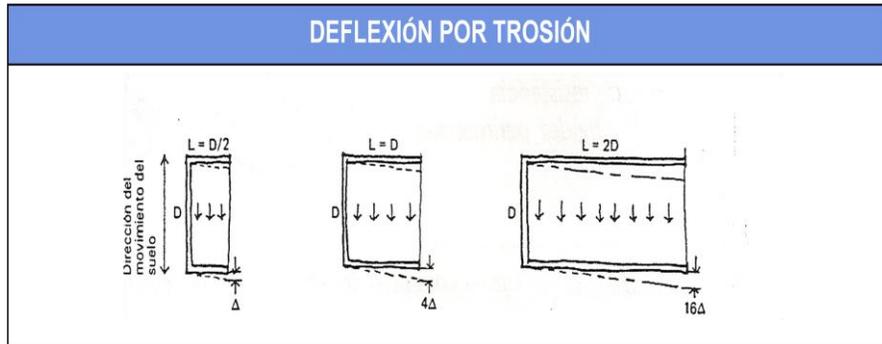


Descompensación Horizontal = Torsión. Almacén El Manicomio.



Daños por desequilibrio de resistencia horizontal causados a una edificación durante un sismo.

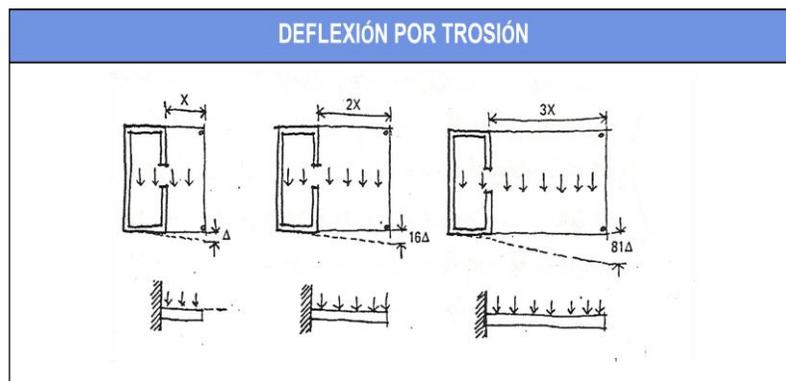
En la Figura 28 se muestra las plantas de tres edificios similares con muros de cortante distribuidos de modo tal que hay un extremo abierto, y por lo tanto, torsiones importantes sobre los edificios. La deflexión torsional del extremo abierto  $\Delta$  con el cuadrado de la longitud  $L$  del edificio, los edificios con  $L / D \leq 1/2$  tendrán escasos problemas de torsión durante un sismo, ya que los desplazamientos totales, incluyendo la torsión, serán más o menos los mismos que los producidos por cargas simétricas del sismo en el sentido perpendicular. Con relaciones  $L / D > 1/2$ , los desplazamientos torsionales  $\Delta$  aumentarán rápidamente, y seguramente podrá haber daño en el extremo abierto, excepto si se toman precauciones específicas.



**Figura 28.** Deflexión por torsión de un edificio con muro frontal blando.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

La Figura 29 muestra el aumento de desplazamiento causado por un incremento de la luz aferente a un núcleo de ascensores típico en un edificio.



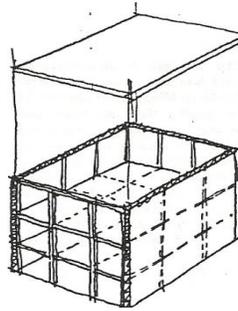
**Figura 29.** Deflexión por torsión de diafragma trabajando como voladizo lateral.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Muchos edificios de estacionamientos, bomberos y talleres, necesitan grandes puertas para el movimiento de los vehículos. En los edificios de bomberos es particularmente importante evitar las distorsiones del pórtico, ya que en este caso, si las puertas no se pueden levantar, la estación queda fuera de servicio, después

del sismo. Para estos casos en donde el objetivo es reducir la posibilidad de torsión, se pueden emplear cuatro (4) estrategias.

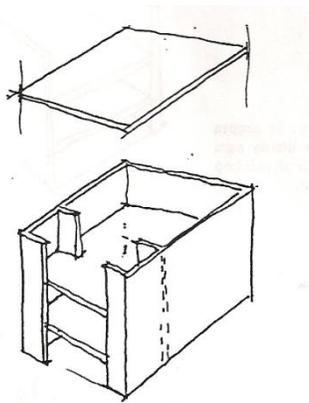
La primera es diseñar una estructura resistencia y rigidez aproximadamente igual en todo el perímetro, en donde los muros no estructurales no se conectan a los pórticos y por lo tanto no afectan el comportamiento sísmico del pórtico (Figura 30).



**Figura 30.** Estructura de marcos de perímetro con resistencia y rigidez aproximadamente iguales.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Un segundo enfoque consiste en aumentar la rigidez de la fachada abierta mediante la adición de muros de cortante en o cerca de la parte abierta (Figuras 31).

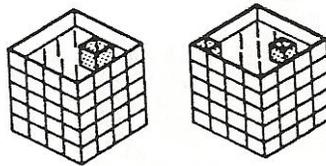


**Figura 31.** Agregar muros de cortante en o cerca de la cara abierta

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Una tercera solución consiste en usar un pórtico muy fuerte, resistente a momentos. Finalmente, se puede aceptar la posibilidad de la torsión y diseñar la estructura para resistirla.

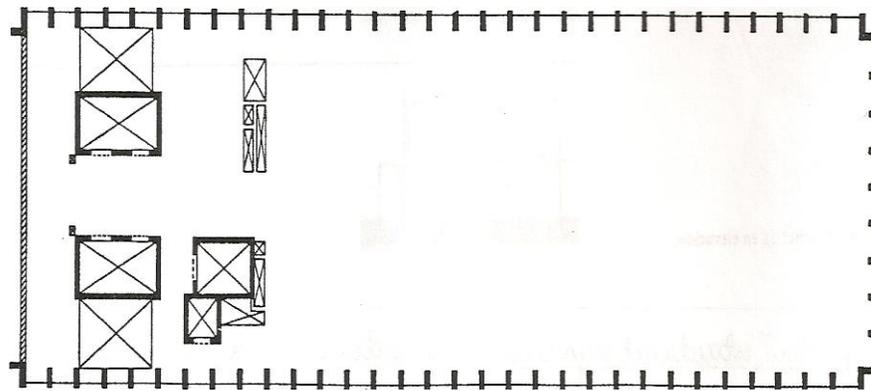
**Falsa simetría.** Los muros perimetrales se contraponen a los requisitos de uso, flexibilidad y amplitud de la edificación, los cuales sólo pueden incluir pequeñas ventanas que no afecten la integridad estructural del mismo, la situación común para los edificios es ubicar los muros de cortante en los núcleos de ascensores, escaleras y servicios.



**Figura 32.** Falsa simetría.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Pero las localizaciones asimétricas tendrán en gran medida incrementar la posibilidad de torsión. El término “falsa simetría” se usa para identificar edificios cuya configuración aparenta ser sencilla, regular y simétrica, pero que debido a la distribución de los elementos resistentes, son estructuralmente asimétricos. Ilustremos la situación anterior con un ejemplo. El Banco Central de Managua, es un edificio de 15 pisos de concreto reforzado construido en 1962, Figura 33:



**Figura 33.** Falsa simetría. Banco Central de Managua.

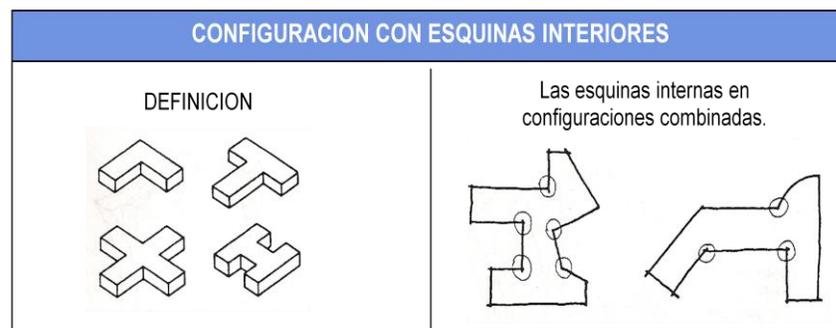
**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Tiene una forma rectangular sencilla constituida por pórticos. Sin embargo, en la dirección oeste-este, los muros del núcleo del elevador están situados en un extremo del edificio, y son suficientemente rígidos para resistir el 35% de las fuerzas laterales de la edificación. Durante el terremoto de Managua de 1972, el edificio sufrió daños considerables estructurales y no estructurales, incluyendo el agrietamiento de la losa de piso cercana a los núcleos de elevadores y escaleras, incrementado por el hecho de la situación del núcleo fuera del centro.

En otras ocasiones y cuando existen varios núcleos, se han detectado fallas e inclusive colapsos por no contar adecuadamente los núcleos, o por no conectarlos, o por conectarlos sólo de forma muy flexible, o bien afectando la conexión entre los núcleos por aberturas de piso. Resulta clara la importancia del equilibrio de los elementos resistentes tanto en su localización general, como en su diseño detallado, de un piso a otro o entre elementos resistentes separados, si el núcleo o núcleos pueden situarse en el centro o en su periferia de un edificio simétrico, entonces se reducirá la posibilidad de torsión y se protegerá más la estructura. Si por aspectos de planeación el núcleo no se puede situar simétricamente, se deben agregar algunos elementos resistentes para equilibrar el sistema, pero en ocasiones esto no es tarea fácil. El núcleo no se puede situar simétricamente, se deben agregar algunos elementos resistentes para equilibrar

el sistema, pero en ocasiones esto no es tarea fácil. El núcleo no se debe usar como único elemento resistente, los cuales se pueden combinar con muros de corte perimetrales. Se recuerda que no se requiere geometría geométrica completa para asegurar compartimientos dinámicos simétricos durante un sismo.

**Configuraciones Con Esquinas Interiores.** Las esquinas interiores o entrantes son una característica común de la configuración general del edificio que toma formas en L, T, U, H ó + en planta, o bien una combinación de estas formas. Tales formas se clasifican como complejas, de acuerdo con la definición dada antes. Véase la Figura 34. Estos tipos de formas permiten distribuir grandes áreas de plantas de una manera mas o menos compacta, pero proporcionando un alto porcentaje de habitaciones en el perímetro, con acceso de aire y luz.



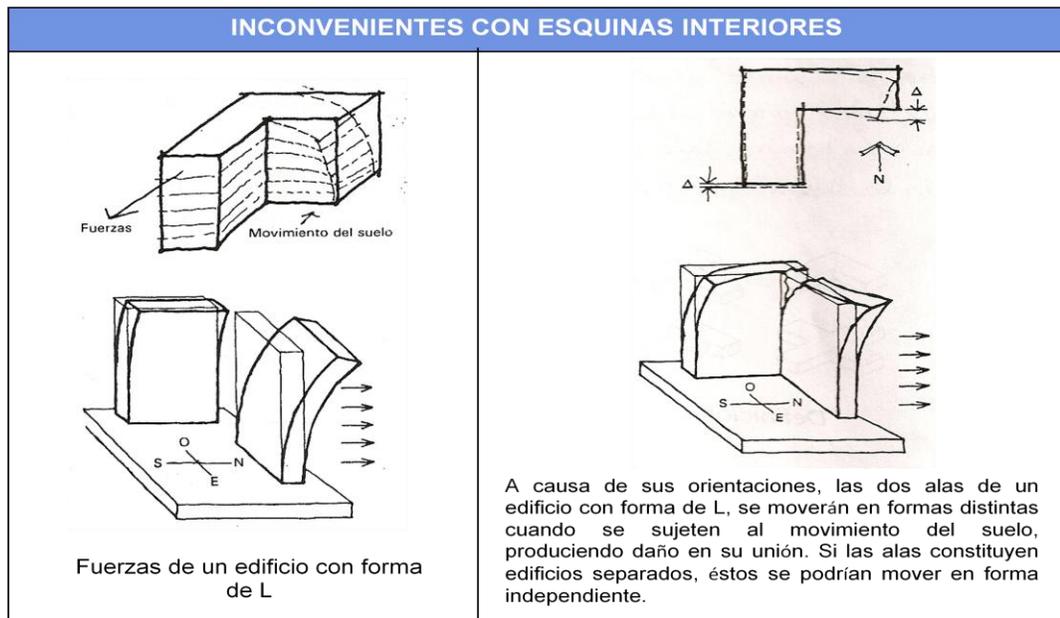
**Figura 34.** Formas de las esquinas interiores.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Inconvenientes de este tipo de configuración: a pesar de su sencillez y del hecho de que son tan comunes, usuales y familiares en la construcción de edificios, la problemática que genera su comportamiento sísmico es sorprendente.

Estas formas plantean dos problemas. El primero es que tienden a producir variaciones de rigidez y por lo tanto movimientos diferenciales entre las diversas partes del edificio, provocando concentraciones locales de esfuerzos en las esquinas entrantes del edificio, Figura 36. En este caso para un edificio en forma

de L, con un sismo predominante en la dirección norte – sur tenderá geoméricamente a ser más rígida que el ala este-oeste, si los dos segmentos del edificio se construyen de forma separada, entonces éstos se moverían de forma independiente cada uno, pero al estar unidos, el nudo trata de moverse en forma diferente en cada dirección, tirándose y empujándose una parte contra la otra.



**Figura 35.** Inconvenientes con esquinas interiores.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

El segundo problema que genera estas formas es la torsión, ya que los centros de masas y de rigidez no coinciden geoméricamente, lo que provoca una rotación y distorsión de la planta.



Edificio con esquina interior. Centro de Sincelajo



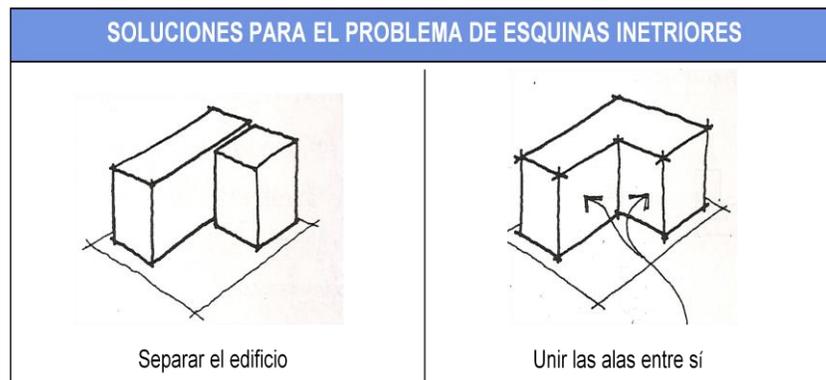
Edificio con esquina interior. Centro de diagnóstico laboratorio ABO

La concentración de esfuerzos y los efectos de torsión están interrelacionados y dependen de las siguientes variables:

- La masa del edificio
- Los sistemas estructurales
- La longitud de las dos alas y sus relaciones de aspecto  $L / D$ .
- La altura de las alas y sus relaciones altura / anchura.

Adicionalmente a lo anterior, es común que las alas de los edificios con esquinas interiores tengan diferentes alturas, de tal forma que la discontinuidad horizontal de la esquina entrante en planta se combina con la discontinuidad vertical de un escalonamiento en elevaciones produzcan problemas graves.

Soluciones al problema de la configuración con esquinas: existen dos enfoques básicos: uno, dividir estructuralmente el edificio en formas más sencillas. O bien, unir con mayor rigidez entre sí los edificios, (Figura 36). Una vez tomada la decisión de hacer junta sísmica, estas se tienen que diseñar y construir adecuadamente para lograr el propósito que se desea.

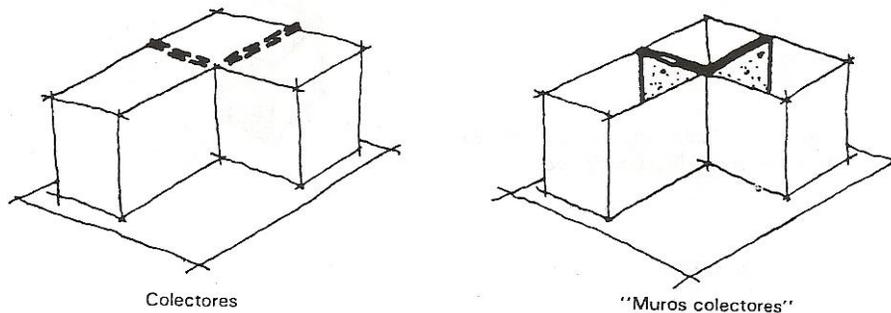


**Figura 36.** Soluciones para el problema de esquinas interiores.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Los bloques por separados deben resistir por sí solos las fuerzas verticales y laterales que le llegan, seleccionando adecuadamente la separación entre juntas, las juntas se pueden diseñar de varias maneras, pero deben lograr una separación estructural completa de los pisos y muros, los componentes no estructurales, tales como divisiones, plafones, tubos y ductos también se deben detallar para permitir este movimiento la construcción con juntas de separación sísmica es similar a las de expansión térmica, pero pueden ser mayores, algunas estructuras se han dañado a causa de los choques en las juntas, concebidas para funcionar únicamente como juntas térmicas, la Figura 34, muestra las ubicaciones

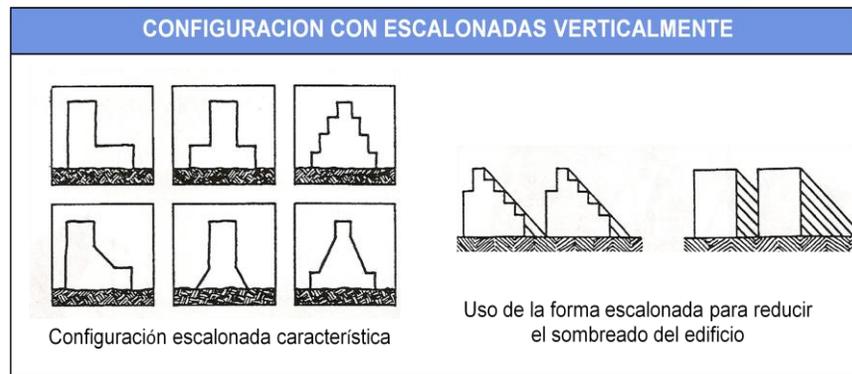
de juntas sísmicas en una planta compleja, mientras que la Figura muestra el adecuado funcionamiento de una junta. Si no se decide omitir las juntas sísmicas y unir entre sí los cuerpos del edificio. En este caso se requieren muros colectores o de transferencia, los cuales transfieren las fuerzas a través de un lado a otro sin interrupción, Figura 37.



**Figura 37.** Modos de unión del edificio

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

**Configuraciones Escalonadas Verticalmente.** Las configuraciones escalonadas constituyen una irregularidad común en la geometría del edificio y consisten en una o más reducciones abruptas en el tamaño del piso en la altura del edificio y se clasifican como elevaciones complejas. Pero los escalonamientos también se pueden aplicar a plantas complejas. La Figura 38 muestra algunas configuraciones escalonadas verticalmente, cuyo requerimiento lo constituye el aspecto de dar luz y aire a los sitios adyacentes escalonados inferiores, o bien el hecho de que se requieren áreas más pequeñas en los niveles más altos, o bien los requisitos de estilo relacionados con la forma del edificio.



**Figura 38.** Configuración escalonada

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Problemas Frecuentes. Las formas escalonadas poseen un cambio abrupto de resistencia y rigidez con la altura, y su gravedad depende de las proporciones relativas y del tamaño absoluto de las distintas partes del edificio. Si la torre o la base son asimétricas, entonces se introducirán fuerzas de torsión en la estructura, haciendo más complejo su análisis y su comportamiento.

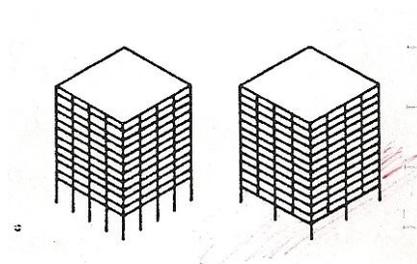


Edificio con forma escalonada. Politécnico indes. Sincelejo

### 3.7 DISCONTINUIDADES DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ

Si hay una sola zona débil en el trayecto de transmisión de cargas, o si hay un cambio brusco de rigidez en la edificación, entonces habrá una zona de peligro. Si una estructura tiene una parte mucho más flexible debajo de una parte rígida, la mayor parte de la absorción de la energía se concentra en la porción flexible, y la porción rígida superior absorbe muy poco.

**Piso Débil.** Es el más importante problema causado por la discontinuidad de resistencia y rigidez. Este nombre se aplica comúnmente a los edificios cuya planta baja es más débil que las plantas superiores, si embargo, un piso débil en cualquier nivel crea un problema, pero como las fuerzas generalmente son mayores hacia la base del edificio (cortante basal), una discontinuidad de rigidez entre el primer y segundo piso tiende a provocar la condición más grave, (Figura 39).



**Figura 39.** Piso Débil.

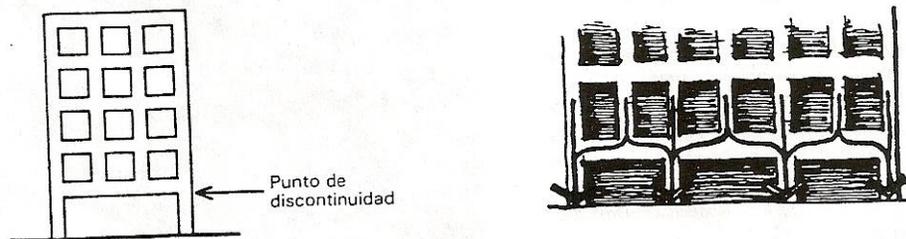
**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Existe piso débil cuando hay una discontinuidad de resistencia y rigidez entre la estructura vertical de un piso y el resto de la estructura. Generalmente, esta discontinuidad es provocada por el hecho de que el primer piso es significativamente más alto que el resto, produciéndose una disminución de rigidez.



Piso débil. Primer piso más alto que los otros. Hotel Panorama. Sincelejo.

También puede haber discontinuidad debido al hecho de que no todos los elementos estructurales verticales se proyectan hacia la cimentación, sino que algunos terminan en el segundo piso para aumentar las luces de la planta baja (Figura 40). Esta condición crea una trayectoria de carga discontinua que produce un cambio abrupto de resistencia y rigidez en el punto de cambio.



**Figura 40.** Piso débil por falta de continuidad de los elementos estructurales.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Adicionalmente, el piso débil se puede producir también por un piso abierto que soporta muros superiores estructurales o no estructurales pesados. Esta situación es más grave cuando el muro superior es de cortante y actúa como elemento principal resistente de la fuerza lateral.



Piso débil. Primer piso menos rígido que los demás. Unidad Materno Infantil. Sincelejo.



Piso débil. Primer piso menos rígido que los demás. Unidad Materno Infantil. Sincelejo



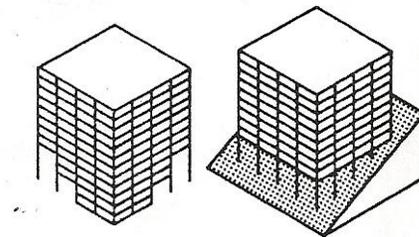
Piso débil desplomado después de sismo.

**Fuente:** fotografía de la USGS

En todos los casos descritos anteriormente es que las fuerzas sísmicas y deformaciones tendrán a concentrarse en el piso débil o en el punto de discontinuidad, en lugar de distribuirse de manera más uniforme entre todos los pisos. En la condición de piso débil, las deflexiones de este piso serán mayores que las de los otros pisos, y por lo tanto, este piso experimentará esfuerzos y daños grandes.

### **Variaciones En La Rigidez De Las Columnas.**

Generalmente, el origen de las variaciones por este concepto radica en consideraciones arquitectónicas: terrenos y cadenas de colina, relleno de porciones de pórticos con material “no estructural” pero rigidizante para crear una faja de ventanas altas, elevación de una porción del edificio sobre el nivel del terreno mediante elementos altos, en tanto que otras áreas se apoyan sobre columnas más cortas, o bien rigidización de algunas columnas con un mezanine o desván, mientras que otras se dejan de doble altura sin contra ventearlas.

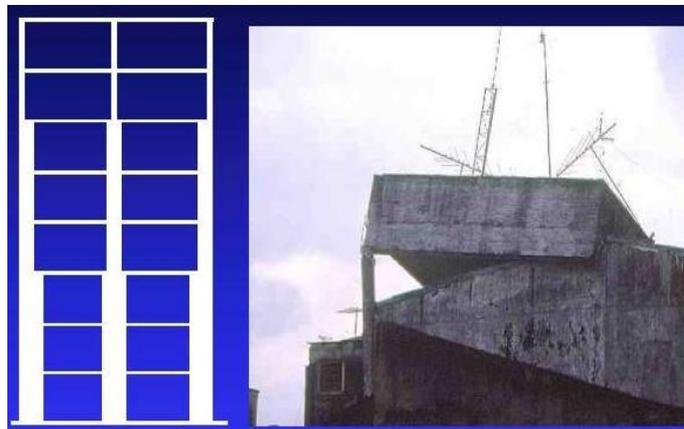


**Figura 41.** Variación en la Rigidez de las columnas

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

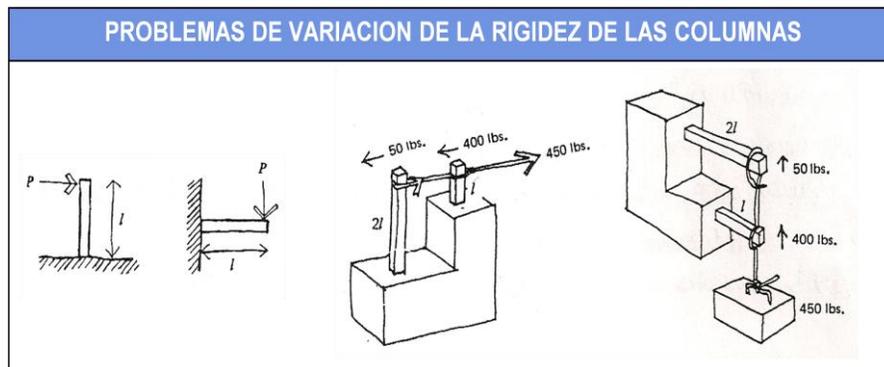


Variación de la Rigidez de las columnas. Gran Centro el Parque. Sincelejo.



Variación en la rigidez de las columnas. Daños causados a la estructura.

La importancia de estos aspectos radica en el hecho de que sus efectos son contrarios a lo que se supone. Por ejemplo, los muros de relleno como producto de una remodelación posterior a la construcción del edificio, sin consultar al ingeniero, puede intuir que se une haciendo más resistente unas columnas, pero lo que realmente se puede estar generando es una grave concentración de esfuerzos en la misma. Parecería razonable que una columna corta fuera más fuerte que una larga con la misma sección, y es improbable que talle o pandee bajo cargas gravitacionales, pero bajo cargas laterales y al ser más rígida esta columna atraerá y absorberá fuerzas que pueden ser desproporcionadas con su resistencia, Figura 42:

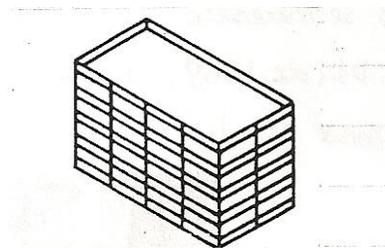


**Figura 42.** Variación de la rigidez de las columnas

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Si definitivamente no se puede evitar esta situación, la solución consiste en igualar las rígidas de las columnas mediante puntales que aumenten la rigidez de las columnas más largas.

**Columna Débil, Viga Fuerte.** Un principio básico de diseño de edificios consiste en diseñar un mecanismo “columna fuerte – viga débil”, en donde aparecerán articulaciones plásticas en las vigas antes que el edificio colapse.



**Figura 43.** Columna débil, viga fuerte.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Lo anterior se basa en el rozamiento de que cuando una viga empiece a fallar, irá de un comportamiento elástico a uno inelástico y empezará a deformarse plásticamente, acción que disipará y absorberá las fuerzas sísmicas del edificio, de manera contraria, si la columna falla primero y empieza a deformarse y a pandearse, las mayores cargas verticales provocarán casi de inmediato el colapso total de la edificación.

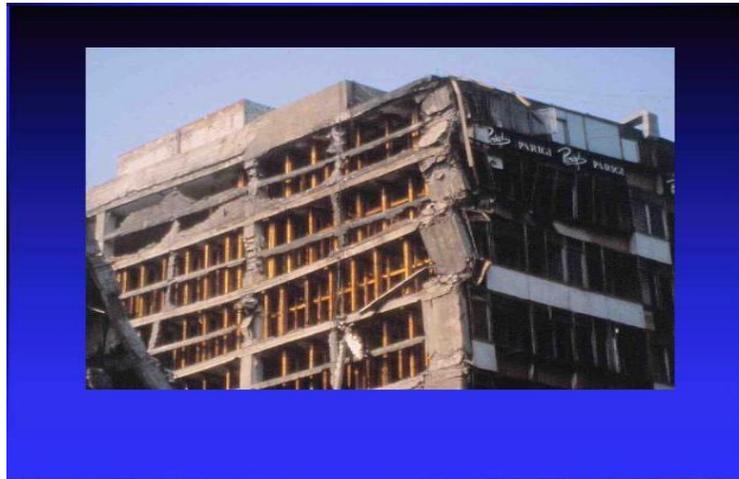
El diseño de columnas débiles – vigas fuertes, sin embargo, es una causa sorprendentemente frecuente de daño y colapso en edificios, en la cual se combinarán vigas gruesas y rígidas de muro con columnas de concreto reforzado en estructuras de escuelas y oficinas que requieren largas franjas de vidrios ininterrumpidas entre columnas muy separadas.



Columna débil, viga fuerte.



Columna débil, viga fuerte.



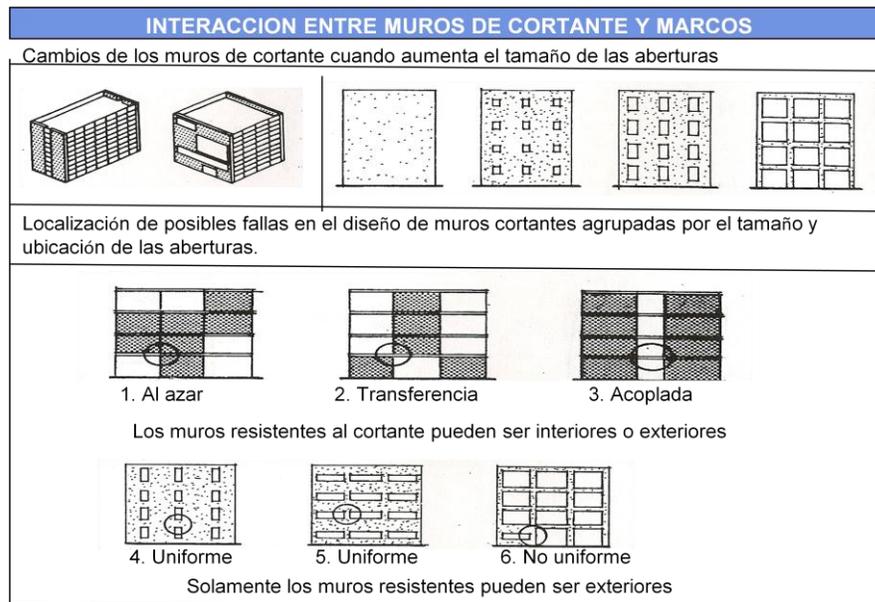
Vigas fuertes y Columnas débiles, falla en las columnas.

La única manera de evitar el problema es repensar el diseño básico y esto es responsabilidad del arquitecto, ingeniero, educadores clientes. Varias son las soluciones posibles. Se puede usar una fachada no estructural, parte en vidrio y parte cerrada que admita luz y calor, alternativamente se puede usar el mismo esquema estructural con una revisión menor; dejar espacios o aberturas verticales entre la viga al muro de concreto y las columnas de modo que estas últimas tengan una longitud efectiva idéntica.

**Interacción Entre Muros De Cortante Y Pórticos.** La condición de columna débil y viga fuerte es un caso especial dentro de problemas, más generales que surgen a causa de la relación entre muros de cortantes y pórticos. Un diseño de columna débil y viga fuerte se puede definir también como un muro de cortante que le ha hecho grandes aberturas reduciendo severamente la capacidad al cortante del muro. A medida que se hacen aberturas en un muro de cortante, su carácter puede cambiar hasta llegar a ser un pórtico, Figura 44.

La forma como el muro es reducido en un pórtico puede producir áreas localizadas de debilidad y de posibles fallas (Figura 44). La condición cinco es potencialmente de columna corta – viga fuerte, dependiendo de la resistencia y rigidez exactas de los muros y las columnas cortas. Si esta condición se hace

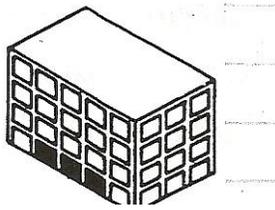
más hermética, como la condición seis, de modo que un número pequeño de columnas cortas soportan las fuerzas entonces se crean más sistemas de muy escasa resistencia.



**Figura 44.** Interacción entre muro de cortante y marcos.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

**Modificaciones No Estructurales.** Los efectos de la adición de elementos no estructurales que cambian gravemente el comportamiento dinámico de una estructura no ha sido adecuadamente estudiadas la rigidización casual de pórticos mediante rellenos de mampostería es una causa frecuente de daños y de fallas. El mecanismo siempre es el mismo; las fuerzas sísmicas son atraídas por las áreas de mayor rigidez, y si esta no se diseña adecuadamente, estarían propensas a fallar, tal como ocurrió en el hospital Oliva View, en el cual se suponía que los muros de relleno de mampostería no actuarían estructuralmente, pero desempeñaron funciones estructurales hasta que fallaron al introducir accidentalmente rigidez a la estructura en diferentes lugares.



**Figura 45.** Modificaciones no estructurales

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

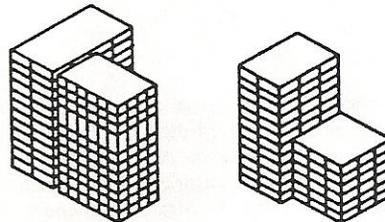
La interacción no intencional tiene dos aspectos negativos: los componentes no estructurales se sacrifican innecesariamente, y desde el punto de vista de la configuración, la rigidez introducida en lugares al azar puede redistribuir cargas en forma desigual y producir torsión. La posibilidad de modificaciones accidentales se reduce si se hace una cuidadosa revisión del diseño al terminar los planos constructivos y se muestran en ellos los elementos arquitectónicos no considerados por el ingeniero al realizar el proyecto estructural.

En general, se deben evitar los muros de relleno situados arbitrariamente en los pórticos, especialmente si son pesados aunque en un muro de yeso no estructural puede tener una rigidez no cuantificable. Los muros de relleno deben figurar ya sea dentro del concepto estructural y detallarlos de acuerdo a este, o bien separarlos de tal modo que la distorsión estructural no provoque esfuerzos al muro, para hacerlo se requiere de cierto análisis de derivas y desplazamientos esperados, así como del desarrollo de detalles arquitectónicos que sostendrán al muro en su lugar en forma segura contra las cargas gravitacionales y las cargas laterales, y aún así, permitir el movimiento del muro de relleno en relación con el pórtico.



Modificaciones no estructurales. Adición de piso para bodega. Galaxia del plástico

**Golpeteo o El Problema De Colindancia.** El problema de los edificios adyacentes que se golpean entre sí está relacionado con las juntas de separación (estructuras conectadas arquitectónicamente para formar un solo edificio), y con la rigidez (ya que influye en el desplazamiento de los edificios), por lo tanto en la magnitud de la separación requerida para prevenir el contacto.



**Figura 46.** Golpeteo o problema de colindancia

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

Durante décadas, el golpeteo ha sido observado durante los sismos en todo el mundo, véase el edificio Lang de Managua antes discutidos. Durante el terremoto de 1964, Andorage, Alaska, el hotel Westward de catorce pisos chocó contra un edificio de seis pisos adyacentes y aunque estaban separador 100 mm entre sí, hubo afectación de columnas y dislocación de la cubierta metodológica del edificio alto. En ocasiones aún cuando exista separación entre dos edificios, este espacio

se rellenará con un material aislante muy rígidos entre los edificios y producir golpeteo. En la ciudad de Sincelejo, este es uno de los problemas que más se presenta, y aún no se ha tomado conciencia.



Problema de Golpeteo entre dos estructuras. Gran centro el parque-edificio ledher



Problema de Golpeteo entre dos estructuras. Almacén El Manicomio-La Galaxia del plástico.

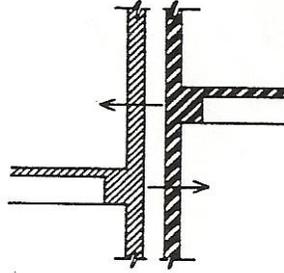


Daños por golpeteo entre edificaciones.

Soluciones al Problema del Golpeteo. Durante un sismo, los edificios adyacentes oscilan fuera de fase, primero alejándose y luego acercándose entre sí, cada uno con su propio periodo de vibración. Por tanto, la separación entre ellos es importante para evitar golpeteos. El asunto no se resuelve fácilmente debido al hecho del alto costo del terreno que es necesario disponer para evitar este efecto. En general los códigos y normas indican que todas las partes de la estructura se deben construir de tal manera que actúen como una unidad integral para resistir las fuerzas horizontales, a menos que separen estructuralmente a una distancia suficiente para evitar el contacto cuando sufren deformaciones por acciones sísmicas o de vientos.

El ancho suficiente puede ser el de la deriva máxima, las reglas arbitrarias pueden causar un severo gravando en algunos casos y ser inadecuados en otros. Una guía al parecer menos rígida pero tal vez más sencilla, es calcular la separación requerida como 25 mm más 12 mm por cada tres metros de altura en exceso de seis metros aplicable a estructuras relativamente rígidas. Otra referencia indica que la separación para edificios de hasta 4.90 m de altura debe ser de 32 mm, y adicionar 19 mm por cada 4.88m de altura adicional.

Nótese que la localización de los elementos es muy importante. Por ejemplo, si las losas coinciden, el problema empeora, y debe ponerse especial cuidado a que los edificios no se golpeen entre sí.



**Figura 47.** Golpeteo por desnivel de losas.

**Fuente:** Memorias de clase de estructuración. Ingeniero Alvaro Jaramillo. Uninorte. 2007

## **4. PROBLEMAS DE ESTRUCTURACION Y CONFIGURACION ESTRUCTURAL EN LA ZONA CENTRICA DE SINCELEJO SUCRE**

### **4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La ciudad de Sincelejo hace parte de la subregión Montes de María, y sus condiciones topográficas se caracterizan por poseer extensiones de tierra elevada, escabrosa y profundamente disertada que maneja alturas relativamente importantes en relación con otros paisajes que la circundan (entre los 180 y 220 metros sobre el nivel del mar); tiene una disección interna que genera relieves de gran energía entre las áreas montañosas y los valles intercalados. (POT Sincelejo y Secretaría de Planeación de Sincelejo 2006).

Por ser la ciudad más poblada del Departamento de Sucre, el accionar del hombre conlleva a que se presenten diversos factores que aumentan el grado de vulnerabilidad de la población ante las amenazas de tipo antrópico y tecnológico, entre las que se destacan la implementación y desarrollo de actividades comerciales, agropecuarias e industriales de baja y mediana complejidad, el transporte y uso de hidrocarburos y derivados y sustancias nocivas; la concentración masiva de personas en temporadas de festividades folclóricas y taurinas.

Las administraciones municipales actuales y las anteriores, de la ciudad de Sincelejo, presentan falencias en materia de prevención y atención de desastres, no existe un verdadero compromiso y apoyo institucional para este proceso. Como reflejo de esto, se tiene que sólo se han hecho los primeros intentos de consolidar el Plan de Emergencias e iniciando la operatividad del Comité Local para la Prevención y Atención de Desastre. Con relación a la existencia de entidades de socorro, Sincelejo posee un Cuerpo de Bomberos, Cruz Roja y

Defensa Civil, entidades éstas que tienen algunas dificultades de tipo logístico; se suma a esto el desconocimiento general por parte de los habitantes, de una cultura de prevención y atención de desastres que permitan acciones oportunas en todas sus fases.

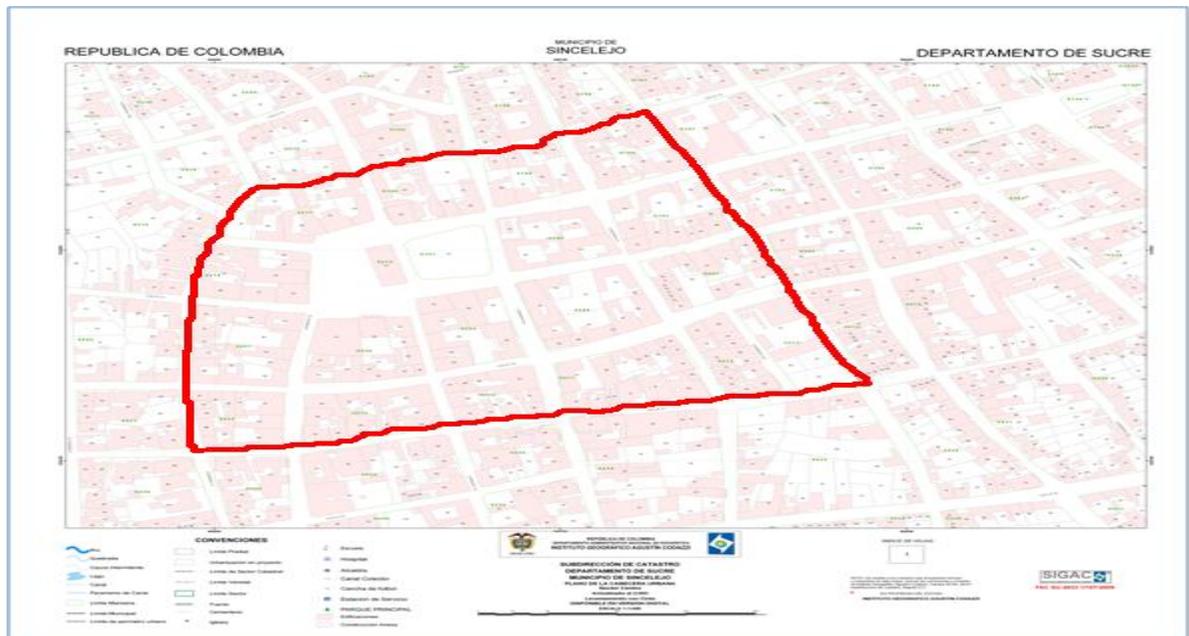
En la zona céntrica de la ciudad de Sincelejo, la mayoría de sus edificaciones, fueron construidas en épocas donde no existían códigos o normas que obligaran al ingeniero a diseñar en base a la resistencia sísmica, observándose edificaciones con más de 50 años, en la que predominan materiales que no brindan una estabilidad o resistencia óptima frente a la acción de un terremoto. Otra observación importante señala que las edificaciones del centro de la ciudad, han sido remodeladas una y otra vez, lo que según conclusiones del terremoto del Eje cafetero, influye directamente en la resistencia sísmica de la estructura por dos razones: la primera porque se aplican nuevas cargas muertas, no incluidas en los hipotéticos cálculos estructurales; y segundo por que son maquilladas las fallas que puede tener la edificación.

Si esta investigación no se desarrollará, el problema seguiría incrementándose, por el grado de incertidumbre que se tiene, y por desconocer cuales serían las posibles causas y consecuencias si un fenómeno natural se presentará en la región, lo cual podría ser devastador para la sociedad.

## **4.2 ZONA DE ESTUDIO**

La zona de estudio está compuesta alrededor de 250 edificaciones de diferentes características estructurales y arquitectónicas. La zona fue escogida debida a la importancia en la economía de la ciudad y del Departamento, ya que en ella se encuentran todas las entidades financieras, así como la mayoría de las edificaciones de más altura. Además, están un gran número de entidades del estado como la alcaldía y las diferentes secretarías, las corporaciones, entidades de la Gobernación, entre otras.

En esta zona se encuentra la parte colonial de la ciudad, en que hay edificaciones que existen desde el siglo XIX y que actualmente están con el mismo sistema estructural con la que fueron construidas. La zona le puede apreciar en la figura 49.



**Figura 48.** Área de la zona de estudio

**Fuente:** planos urbanos del instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAG). 2009

La metodología para crear la base de datos en el Programa ArMap de sistema de información geográfica fue la siguiente: Inicialmente, una vez delimitada la zona de estudio, se busco en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, los planos impresos de la zona en escala 1:1000, en la que se pudiera observar claramente la delimitación de cada uno de los predios con sus área construidas, y su Número catastral, como se observa en la Figura 50. Cada una de las manzanas tiene su número, y en cada manzana están los números de los predios. En general cada predio tiene un total de 12 números que aparecen de la forma XX XX XXXX XXXX donde los dos primeros números son 01, que significa que es una zona urbana; los Dos números siguientes es el sector en la cual se encuentra el predio, en los predios de la zona de estudio hay dos sectores, 01 y 02; los cuatro



Una vez obtenido los planos en el IGAC, se escanearon para copiarlos en AUTOCAD, para así tener cada uno de los lotes y construcciones, en capas diferentes. En AUTOCAD hay que tener todas las manzanas con sus coordenadas exactas. Luego se exportaron a ArMap, y se realizaron los detalles finales. El resultado se puede observar en la Figura 52, que se había mostrado anteriormente. Ya teniendo todas las capas a trabajar, se inserta una nueva capa, el cual se utilizará en ArScene, el cual ya es en tres dimensiones, cuya capa es la de nivelación topográfica. El resultado se puede observar en la Figura 64 en la que se observa la zona en estudio en tres dimensiones.



**Figura 51.** Zona de estudio en tres dimensiones. ArScene.

**Fuente:** Datos del estudio.

Luego en el programa de ArMap, se empieza a crear la base de datos de la zona, en la que se le introduce la información de cada una de las edificaciones, y se empieza a trabajar con la información con métodos estadísticos.

### 4.3 BASE DE DATOS

Para crear esta base de datos y determinar así los problemas de configuración estructural y estructuración sísmica en el centro histórico de Sincelejo se realizó una encuesta, llamada **encuesta de configuración estructural**, esta fue basada en figuras y esquemas que permitieran al encuestador una clara idea de cómo era el estado de la edificación, y para mayor facilidad se simplificó en una tabla de Excel por abreviatura y numeración de cada figura para acelerar el procedimiento, ejemplos de la información tomada es la matriz de forma de los edificios, variaciones dimensionales, los componentes de configuración, entre otros, en el ANEXO 1 se encuentra la encuesta anteriormente mencionada.

La zona va desde la calle 19 (hospital san Francisco de Asís), hasta la calle 23 (parte posterior del teatro municipal), y desde la carrera 22 hasta la carrera 17 (notaria 2ª de Sincelejo).

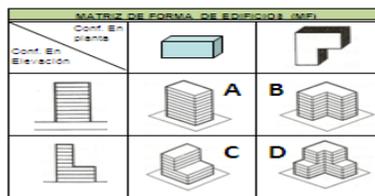
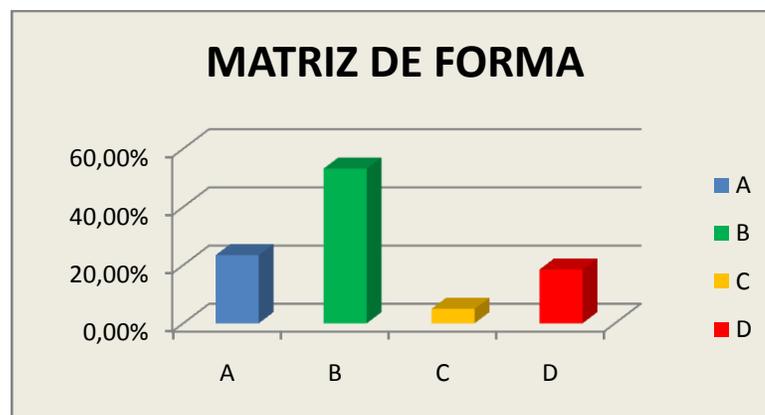
Cada una de los puntos de la encuesta se analiza con gráfica y Tablas en Excel, con la información obtenida de ArMap, donde se ha tabulado la información correspondiente a las estructuras. Esta encuesta se le realizó a la totalidad de las estructuras de la zona. La información obtenida se expresa a continuación:

**MATRIZ DE FORMA** la matriz de forma hace referencia a la configuración en planta y en elevación que permite identificar la sencillez o complejidad de la estructura desde el punto de vista geométrico. De la base de dato de ArMap el resultado es el siguiente:

**Tabla 3:** Matriz de forma de las edificaciones

**Fuente:** datos del estudio.

MATRIZ DE FORMA		
TIPO FORMA	%	CANTIDAD
A	23,42%	52
B	53,15%	118
C	4,95%	11
D	18,47%	41
		222

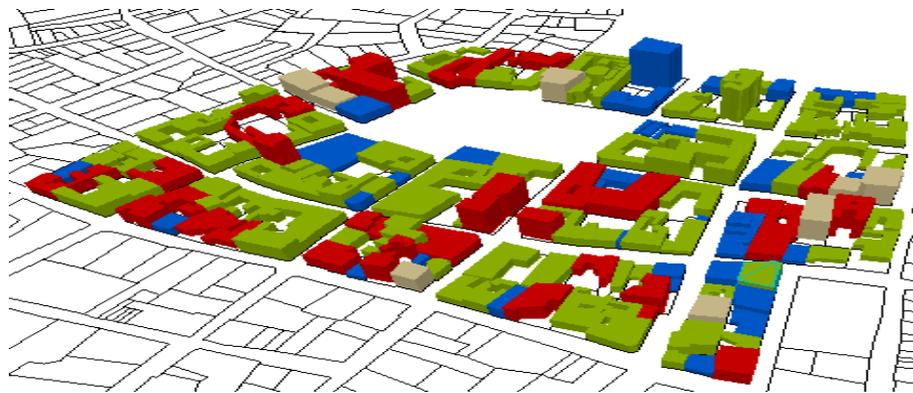


**Figura 52:** matriz de forma.

**Fuente:** datos del estudio.

Como se puede observar el 53,15% de las estructuras se considera que poseen una configuración en planta compleja y elevación sencilla, es decir que tienen escalonamientos en su forma horizontal, ya sea tipo L, C, o T, generando estos escalonamientos las esquinas entrantes de las cuales se estarán analizando mas adelante, mientras que solo un 23,42% de las edificaciones tienen configuración denominada configuración en planta/configuración en elevación (sencilla/sencilla), seguida por un 18,47% de edificaciones que tienen complejidad en

planta y elevación y por ultimo solo un 4,95% de las estructuras poseen complejidad en elevación y sencillez en planta, respecto a estos resultados se puede decir que se podrían llegar a tener problemas de configuración en un 76,58% de las estructuras estudiadas, se llega a esta deducción partiendo de que la configuración ideal para mantener una estructura estable es la de tener una planta rectangular y elevación sin escalonamientos, es decir también rectangular. en la figura 54 se muestra el resultado de este punto desde ArcScene, en la que las estructuras en azul presentan configuración sencilla tanto en planta como en elevación, las verdes complejidad en planta y sencillez en elevación, las beis presentan complejidad en elevación y sencillez en planta y las de color rojo tienen complejidad en planta y elevación.



**Figura 53:** matriz de forma. ArcScene

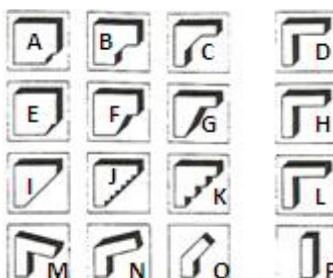
**Fuente:** datos del estudio.

**VARIACIONES DIMENSIONALES** este tipo de parámetro nos permite tener una idea mas clara de cómo esta alterada la configuración geométrica de las edificaciones tanto en planta como en elevación, es decir que detalla aun mas la forma del edificio de acuerdo con el anterior parámetro (Matriz de Forma), las tabla 4 y 5, así como las figuras 55, 56, 57 y 58 muestran los resultados de este parámetro.

**Tabla 4:** variaciones dimensionales en planta

**Fuente:** datos de estudio

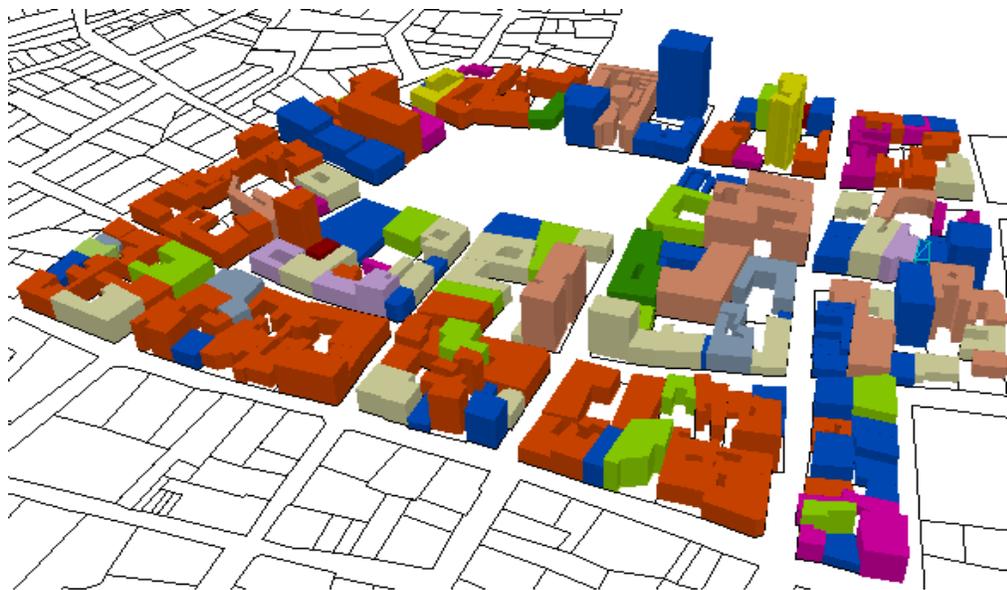
VARIACIONES DIMENCIONALES EN PLANTA		
TIPO VARIACION	%	CANTIDAD
B	5,86%	13
C	9,46%	21
D	4,05%	9
E	0,45%	1
G	1,80%	4
H	9,46%	21
J	0,90%	2
K	31,53%	70
L	3,60%	8
M	1,35%	3
N	2,25%	5
no tiene	28,38%	63
O	0,90%	2
		222



**Figura 54.** Variaciones dimensionales en planta

**Fuente:** datos del estudio

De acuerdo a la tabla anterior se puede comprobar el porcentaje de edificaciones que poseen sencillez en su configuración en planta, pues en este parámetro se evalúa las irregularidades que tienen las estructuras desde la vista en planta, y podemos ver que el porcentaje de las que no tienen estas, son igual a la sumatoria de los porcentajes de las configuraciones sencillas/sencillas y las sencillas/complejas (planta/elevación) del anterior parámetro, es decir que para este parámetro solo un 28,38% de las estructuras no presentaran problemas debido a configuración en planta, superado ampliamente por un 71,62% de edificaciones con complejidad en planta. En este parámetro se muestran los primeros indicios de posibles problemas con las esquinas interiores que se originan al generar figuras geométricas no rectangulares.



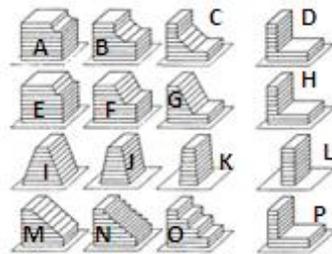
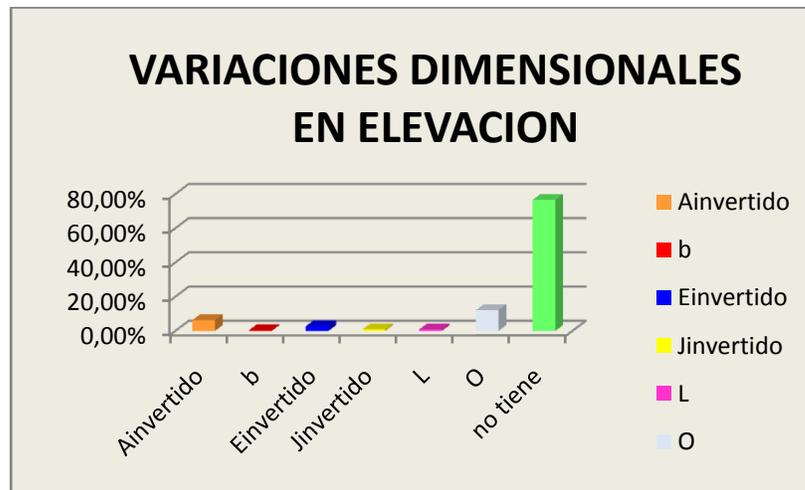
**Figura 55.** Variaciones dimensionales. ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

**Tabla 5.** Variaciones dimensionales en elevación.

**Fuente:** datos del estudio.

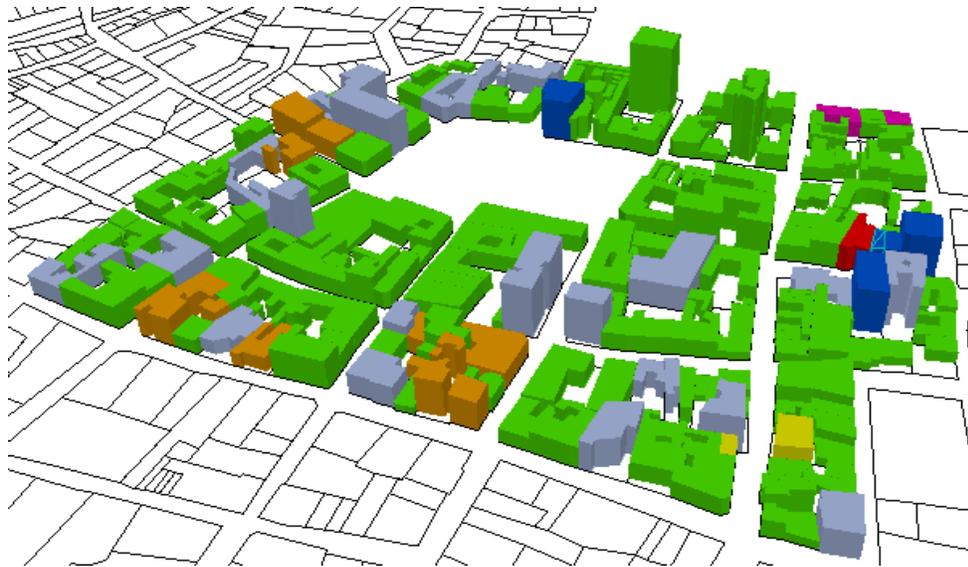
VARIACIONES DIMENSIONALES EN ELEVACION		
TIPO VARIACION	%	CANTIDAD
A invertido	6,31%	14
b	0,45%	1
E invertido	2,70%	6
J invertido	0,90%	2
L	0,90%	2
O	12,16%	27
no tiene	76,58%	170
		222



**Figura 56.** Variaciones dimensionales en elevación

**Fuente:** datos del estudio

en este parámetro se corrobora que la información correspondiente a las irregularidades en elevación concuerdan con los datos obtenidos en la matriz de formas, la manera fácil de verificar esta información es observando que los datos de no tener variaciones dimensionales debe ser iguales a la suma entre las formas (planta/elevación) sencilla/sencilla y compleja/sencilla, es decir a los literales A y B de la matriz de forma, lo cual en nuestro caso son iguales en 170 edificaciones lo que corresponde a un 76,58% del total de 222 edificaciones encuestadas y tan solo un 23,42% de estas edificaciones podría tener inconvenientes en lo que concierne a la configuración estructural, lo que permite decir que la asimetría de estas edificaciones en un evento sísmico puede generar torsiones que podrían ocasionar problemas estructurales graves, llevando al colapso de estas edificaciones e incluso afectando a edificaciones contiguas a estas, esto dicho a groso modo de acuerdo al análisis establecido a partir de este parámetro pero no se puede asegurar de que estas edificaciones fallen por este inciso, porque hay muchas causales que podrían generar inconvenientes y sería muy apresurado hablar de esto, así que se seguirá ahondando en el tema a medida que se avance en los problemas y sus respectivos análisis.



**Figura 57.** Variaciones dimensionales en elevación. ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

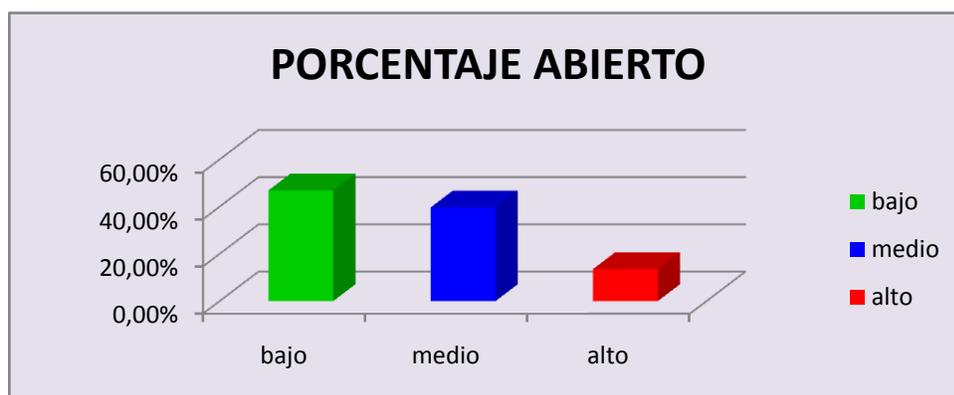
## COMPONENTES DE LA CONFIGURACION.

**PORCENTAJE ABIERTO** este parámetro corresponde a aberturas para iluminación tales como ventanales y puertas, los cuales son los causantes del debilitamiento de los muros y más aun cuando estos últimos se utilizan como si fueran muros de carga aunque hayan sido diseñados separados del sistema de pórticos de la edificación. La tabla 6 muestra los porcentajes de los tipos de aberturas que se encuentran en nuestra zona de estudio, las figuras 59 y 60 muestran estos datos de manera grafica.

**Tabla 6.** Componentes de la configuración (porcentaje de abiertos).

**Fuente:** datos del estudio.

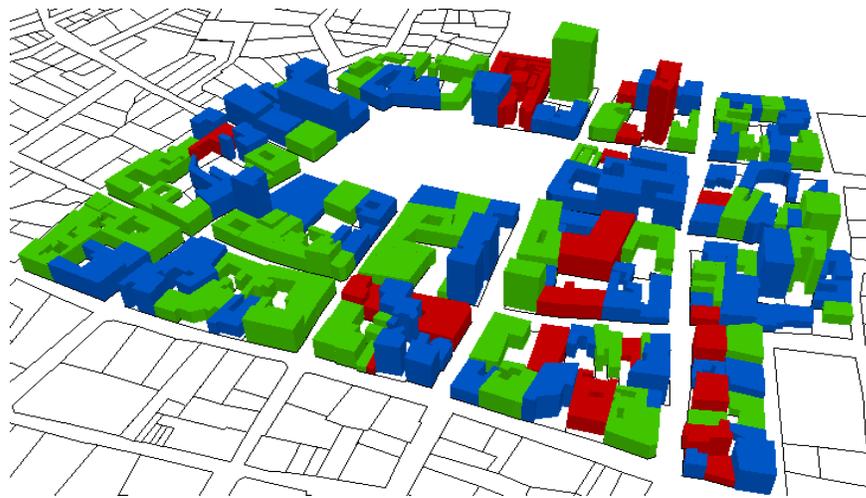
COMPONENTES DE CONFIGURACION		
PORCENTAJE ABIERTO	%	CANTIDAD
bajo	46,85%	104
medio	39,64%	88
alto	13,51%	30
		222



**Figura 58.** Porcentaje de abiertos.

**Fuente:** datos del estudio.

El porcentaje de abiertos no permite tener una idea de que tan densa es la edificación en términos del perímetro, este es un parámetro de configuración fundamental puesto que influye en lo que tienen que ver con la resistencia perimetral de la edificación, de acuerdo a los resultados obtenidos se observa que el 46,85% de las edificaciones presentan porcentajes de abiertos **bajo**, mientras que el porcentaje de abiertos **medio** solo se tiene en un 39,64% y por ultimo el **alto** en un porcentaje de 13,51%, el hecho de que el porcentaje de abiertos **alto** se encuentre en menor proporción no significa que por este parámetro no tendríamos dificultades, ya que tanto los **medios** como **altos** ayudan a que se presenten dificultades de configuración tales como la llamada resistencia horizontal desequilibrada que trataremos mas adelante, por ello es importante tener en cuenta este parámetro.



**Figura 59.** Componentes de la configuración (porcentaje de abiertos).ArcScene

**Fuente:** datos del estudio

**UNIFORMIDAD DE LOS ABIERTOS:** así como los porcentajes de abiertos son importantes en la determinación de problemas de configuración estructural y estructuración sísmica, así también lo es la uniformidad de los abiertos, puesto que este permite decir concretamente el tipo de problema que generarían los abiertos de las edificaciones en lo que tienen que ver con asimetría en masa.

**Tabla 7.** Componentes de la configuración (uniformidad)

**Fuente:** datos del estudio.

COMPONENTES DE CONFIGURACION		
UNIFORMIDAD	%	CANTIDAD
uniforme	6,31%	14
no uniforme	93,69%	208
		222

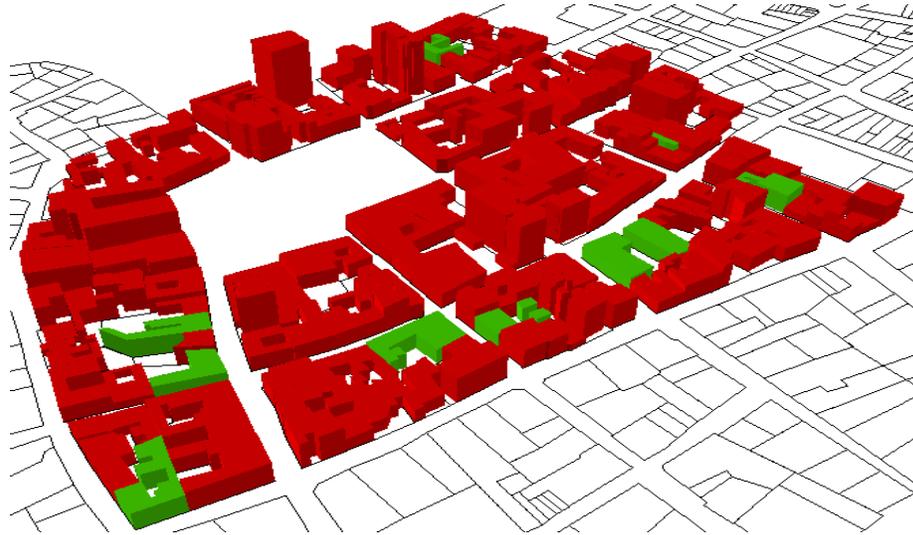


**Figura 60.** Componentes de la configuración (uniformidad).

**Fuente:** datos del estudio.

Como dicho anteriormente que los porcentajes de abiertos son generadores de problemas torsionales debido al desequilibrio de masa que ocasionan siempre y cuando estén mal distribuidos, es la uniformidad de estos quien nos dice finalmente que probabilidad hay de que realmente los abiertos nos generen estos problemas, pues en la estadística generada en la parte superior se muestra que la no uniformidad de los abiertos predomina en la zona de estudio con un valor del 93,69% de las estructuras, hecho que preocupa puesto que si ocurriera un sismo de magnitud medianamente destructiva en esta zona podrían salir a flote las torsiones que posiblemente podrían ser generadas por los abiertos que están mal distribuidos en las estructuras, y por lo visualizado en el sector se puede ver que la gran mayoría de las edificaciones han tenido modificaciones en este parámetro

de la configuración, es decir que los abiertos han sido aumentados de manera atrevida sin considerar los efectos que ocasionan este tipo de modificaciones, mas adelante hablaremos de dichos problemas.



**Figura 61.** Componentes de la configuración (uniformidad).ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

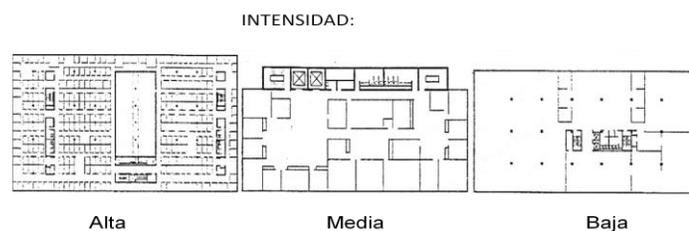
## **DIVISION DEL ESPACIO INTERIOR.**

**INTENSIDAD:** la intensidad en la división de los espacios interiores permite mostrar la densidad en elementos estructurales y no estructurales dentro de las edificaciones, los cuales se a podido comprobar que son los causantes de la mayor cantidad de muertos y lesionados durante los sismos, por este concepto es que se tiene en cuenta este parámetro dentro de este estudio, a continuación se mostrara el resultado obtenido conforme a las encuestas realizadas.

**Tabla 8.** Componentes de la configuración, división del espacio interior (intensidad)

**Fuente:** datos del estudio.

COMPONENTES DE CONFIGURACION división de espacio interior		
INETNSIDAD	%	CANTIDAD
bajo	38,29%	85
medio	54,50%	121
alto	7,21%	16
		222

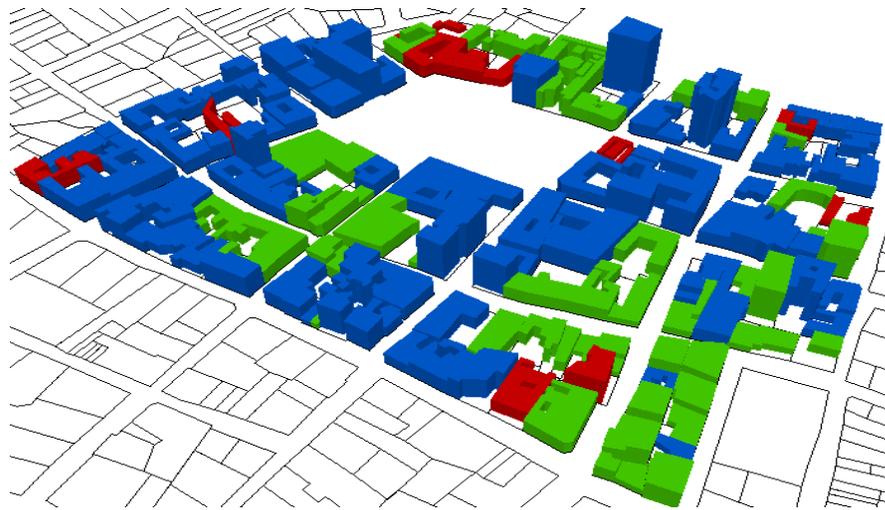


**Figura 62.** Componentes de la configuración, división del espacio interior (intensidad).

**Fuente:** datos del estudio.

si se observa la tabla 8 y con ayuda de la grafica de intensidad se puede apreciar que la intensidad de estos espacios es generalmente medio con un porcentaje de 54,50% seguido de intensidad baja con 38,29% y por ultimo el de intensidad alta con 7,21%, es decir que se conserva la densidad original de estos espacios, ya que la mayor parte de estas estructuras fueron de uso residencial, que

generalmente tienen intensidad de espacios medio y bajo, aunque algunas de las edificaciones que aparecen con intensidad baja y alta han sido modificadas las primeras porque actualmente son utilizadas como almacenes y bodegas y las ultimas porque son oficinas administrativas.



**Figura 63.** Componentes de la configuración, división del espacio interior (intensidad).ArcScene

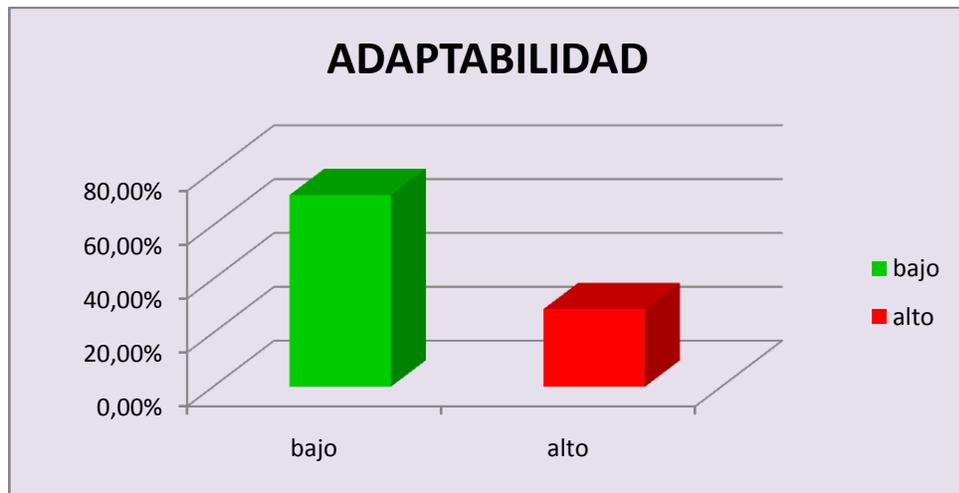
**Fuente:** datos del estudio.

**ADAPTABILIDAD:** la adaptabilidad de la división de los espacios interiores hace referencia a que se pueden modificar estos para su uso sin intervención en la estructura.

**Tabla 9.** Componentes de la configuración, división del espacio interior (adaptabilidad)

**Fuente:** datos del estudio.

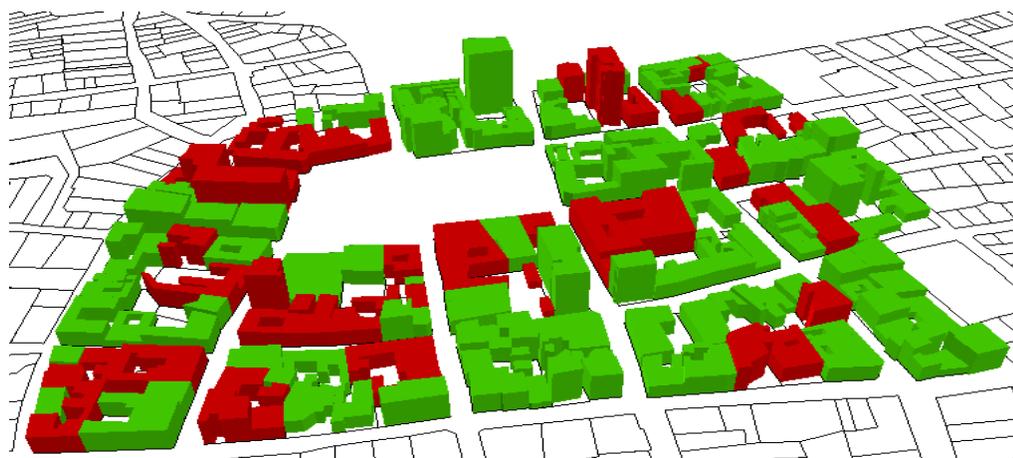
COMPONENTES DE CONFIGURACION división de espacio interior		
ADAPTABILIDAD	%	CANTIDAD
bajo	71,17%	158
alto	28,83%	64
		222



**Figura 64.** Componentes de la configuración, división del espacio interior (adaptabilidad).

**Fuente:** datos del estudio.

de acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 9 permiten ver que predomina la adaptabilidad baja de las estructuras, es decir que hay espacios medianamente amplios como para reorganizar los elementos que se encuentren dentro de el, estas edificaciones están en orden del 71,17% que equivale a 158 estructuras evaluadas mientras que tan solo un 28,83% de las estructuras tienen adaptabilidad alta, lo que significa que estas edificaciones no tienen posibilidad de reorganizarse, solo de una forma como se muestra en las figuras.



**Figura 65.** Componentes de la configuración, división del espacio interior (adaptabilidad).ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

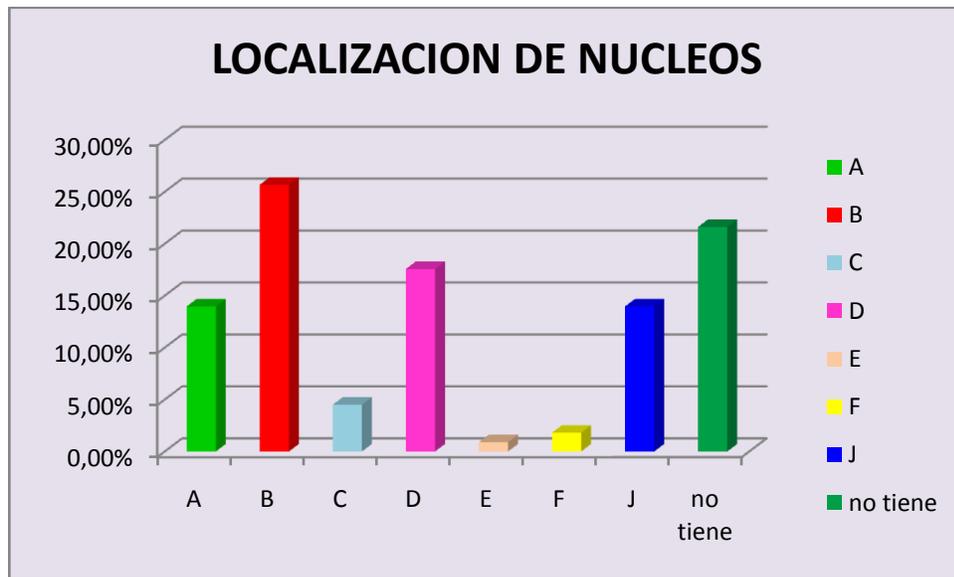
**LOCALIZACIÓN DE NUCLEOS:** uno de los parámetros más importantes en la evaluación de problemas de estructuración sísmica y vulnerabilidad sísmica son los núcleos, estas aberturas que son comúnmente utilizadas para el acceso de equipos mecánicos tales como ascensores o escaleras.

**Tabla 10.** Componentes de la configuración (localización de núcleos)

**Fuente:** datos del estudio.

COMPONENTES DE LA CONFIGURACION NUCLEOS		
LOCALIZACION NUCLEOS	%	CANTIDAD
A	13,96%	31
B	25,68%	57
C	4,50%	10
D	17,57%	39
E	0,90%	2
F	1,80%	4
J	13,96%	31
no tiene	21,62%	48
		222

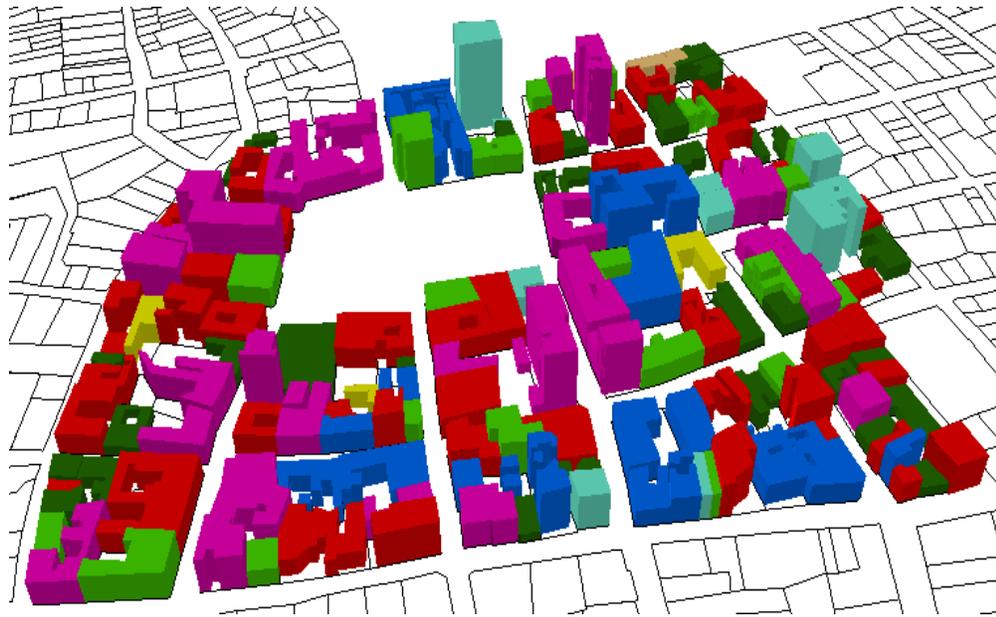
	Sencillo	Complejo
Solo, interior <b>A</b>		
Múltiple, interior <b>C</b>		
Solo, exterior <b>E</b>		
Múltiple, exterior <b>G</b>		
Combinaciones <b>I</b>		



**Figura 66.** Componentes de la configuración (localización de núcleos).

**Fuente:** datos del estudio.

de acuerdo a los resultados se puede ver que la localización de núcleos que mas predomina es la tipo B que corresponde a los unitarios en edificaciones de configuración en planta compleja que es lo equivalente a un 25,68% de las estructuras seguido por un 21,62% de edificaciones que no poseen núcleos, estas edificaciones son de las de 1 piso, otros tipos de núcleos predominantes son de tipo D edificaciones de núcleo múltiple en configuración de planta compleja con 17,57% y con un 13,96% las edificaciones con localización de núcleos combinados en planta compleja así como las edificaciones encillas que poseen núcleo unitario con 13,96%, con estas ultimas se origina lo que llamamos falsa simetría que será evaluado mas adelante, el cual es fundamental en el comportamiento sísmico de la edificación, observamos también que los núcleos se presentan en mayor cantidad en edificaciones de matriz de forma compleja, lo que le suma mayor probabilidad de daño a estas estructuras al producir menor respuesta sísmica en cuanto a rigidez estructural se trata.



**Figura 67.** Componentes de la configuración (localización de núcleos).ArcScene

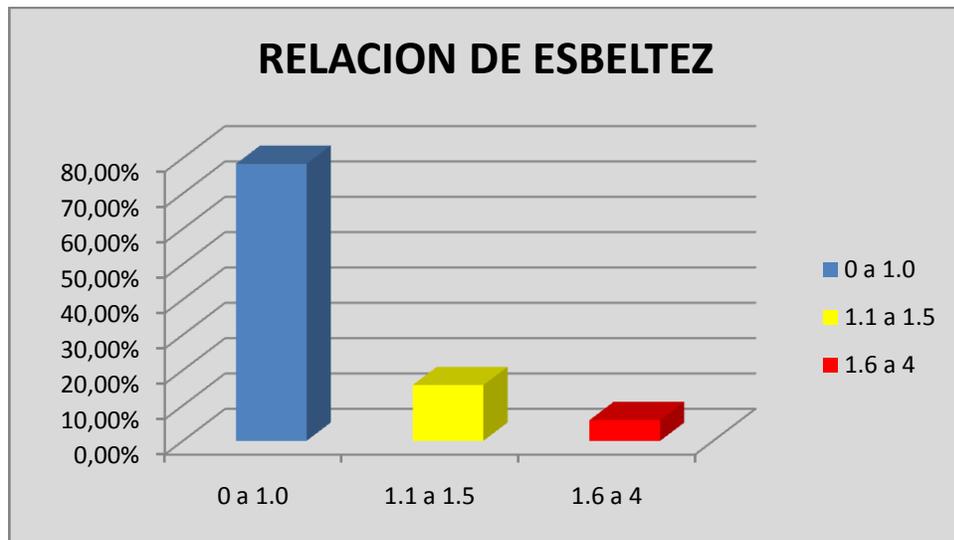
**Fuente:** datos del estudio.

**RELACION DE ESBELTEZ:** si recordamos el diseño de edificios con respuesta sísmica se basa en un movimiento de viga en voladizo con apoyo empotrado de acuerdo a esto es valido decir que a mayor altura de los edificios los esfuerzos causados sobre si mismos será mayor al momento en que actúen fuerzas horizontales, es aquí en donde entra la importancia de la relación de esbeltez, para obtener la cantidad de estructuras que podrían ser vulnerables a fenómenos de esfuerzos por sacudidas sísmicas.

**Tabla 11.** Relación de esbeltez

**Fuente:** datos del estudio.

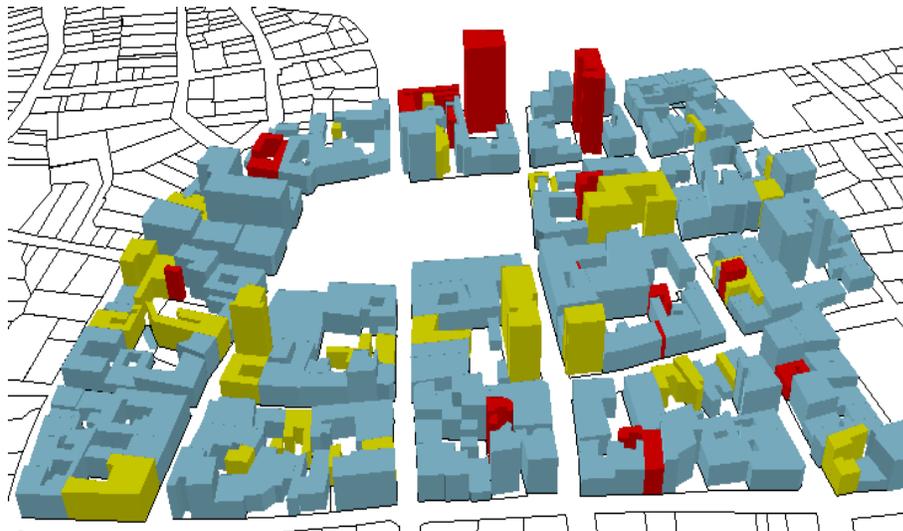
RELACION DE ESBELTEZ		
RANGO	%	CANTIDAD
0 a 1.0	78,38%	174
1.1 a 1.5	15,77%	35
1.6 a 4	5,86%	13
		222



**Figura 68.** Relación de esbeltez

**Fuente:** datos del estudio.

observando los resultados obtenidos según la tabla 11 se puede decir que el 78,38% de las edificaciones de la zona tienen una relación de esbeltez baja, comparado con las de relación de esbeltez mas altas que es de un 5,86%, las cuales no superan las 13 edificaciones, lo que nos tranquiliza al saber que este parámetro no suma problemas a las edificaciones, mientras que si hubiese encontrado que la mayor parte de las edificaciones poseían relaciones de esbeltez altas ahí si seria un punto preocupante, ya que en un caso hipotético de ocurrencia de sismo, se podrían producir tantos esfuerzos sobre toda la altura dela estructura y si estas edificaciones son de épocas en las que aun no existían o eran menos sofisticados los métodos de diseño sísmico se podría tener averías o quizás hasta el colapso, pero afortunadamente ese no es nuestro caso y por este punto nuestra zona esta digamos que libre de este tipo de inconvenientes.



**Figura 69.** Relación de esbeltez. ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

## **SIMETRIA.**

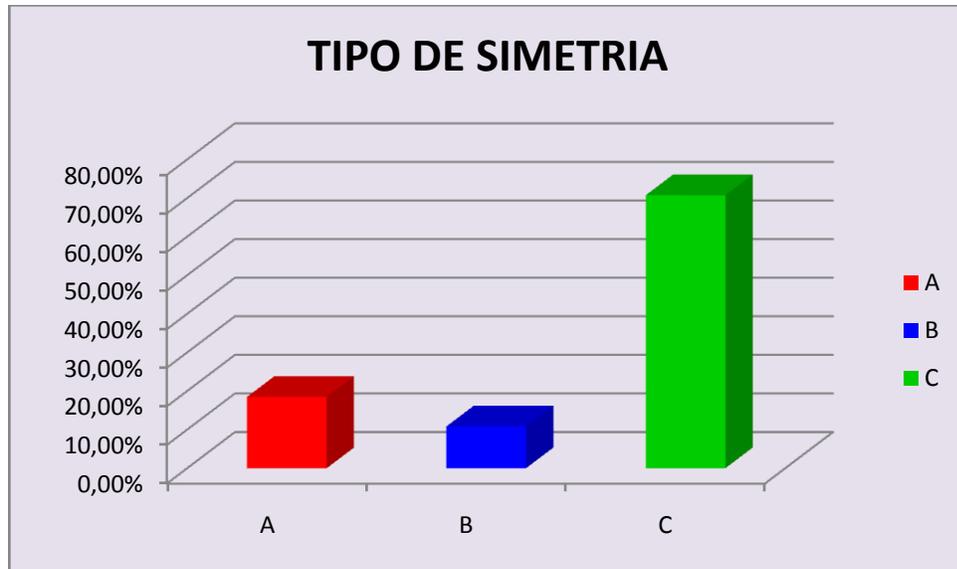
**SIMETRIA EN PLANTA:** la simetría en planta hace referencia a que las edificaciones sean geoméricamente iguales cuando se les traza uno o dos planos de referencia, cabe decir que estos planos de referencia son trazados buscando que la edificación sea dividida en parte iguales y semejantes, pero también puede suceder que al trazar n planos de referencia las edificaciones no sean simétricas por ninguno de ellos, lo que se podrá verificar en este parámetro y que esta ligado a las variaciones dimensionales ya explicadas y analizadas anteriormente.

**Tabla 12.** Simetría. Simetría en planta

**Fuente:** datos del estudio.

SIMETRIA EN PLANTA		
TIPO DE SIMETRIA	%	CANTIDAD
A	18,47%	41
B	10,81%	24
C	70,72%	157
		222

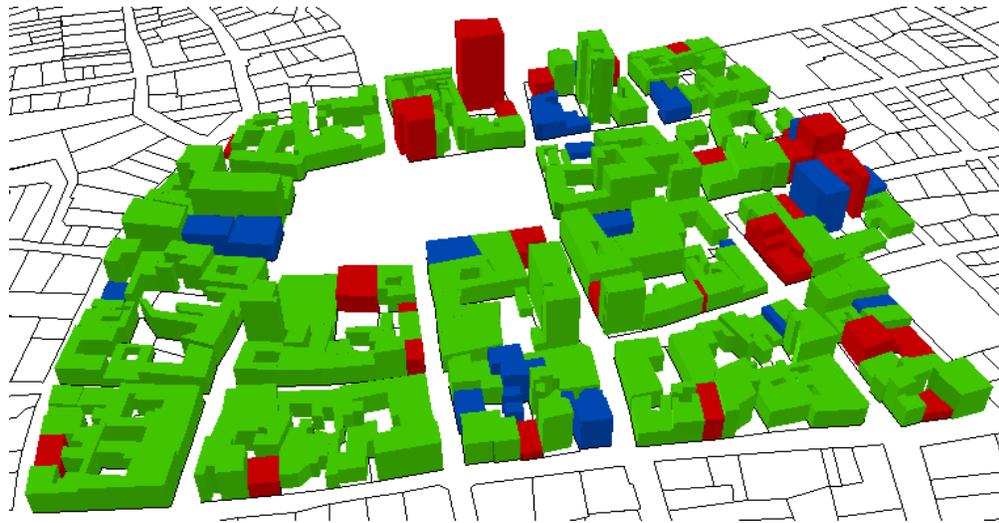
	En planta
Respecto a dos ejes <b>A</b>	
Respecto a un eje <b>B</b>	
Respecto a ningún eje <b>C</b>	



**Figura 70.** Simetría. Simetría en planta

**Fuente:** datos del estudio.

Según la tabla 12 que corresponde a los resultados estadísticos de este parámetro se puede ver que el 70,52% de las edificaciones presenta asimetría geométrica en planta, es decir que al trazar los planos de referencia no presentan equidad en sus partes divididas y que las hace diferentes entre si.



**Figura 71.** Simetría. Simetría en planta. ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

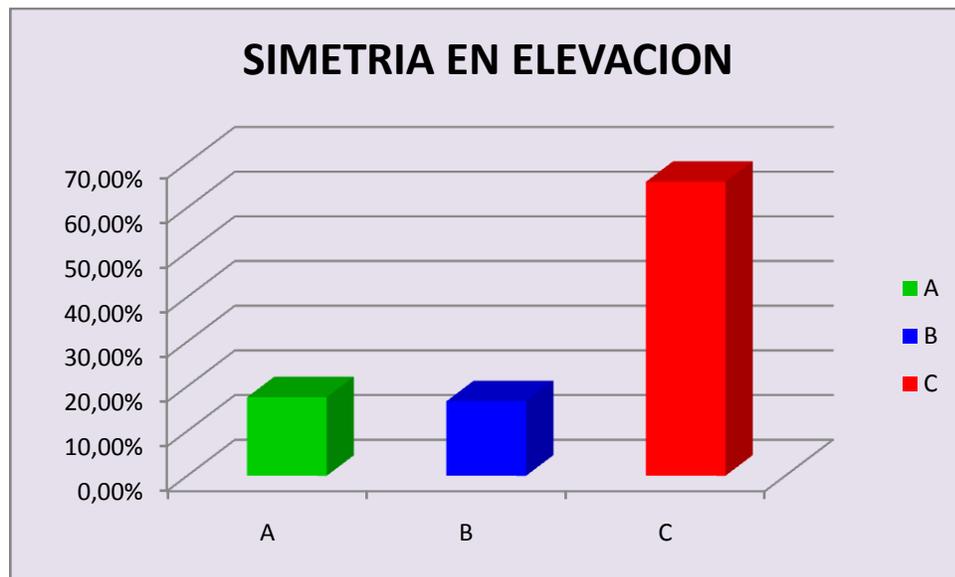
**SIMETRIA EN ELEVACION:** así como se presenta la simetría en planta también se puede tener simetría en elevación la cual se rige por el mismo concepto que consiste en que la estructura sea dividida por uno o varios planos para ver si esta es totalmente simétrica geoméricamente hablando.

**Tabla 13.** Simetría. Simetría en elevación

**Fuente:** datos del estudio.

SIMETRIA EN ELEVACION		
TIPO DE SIMETRIA	%	CANTIDAD
A	17,57%	39
B	16,67%	37
C	65,77%	146
		222

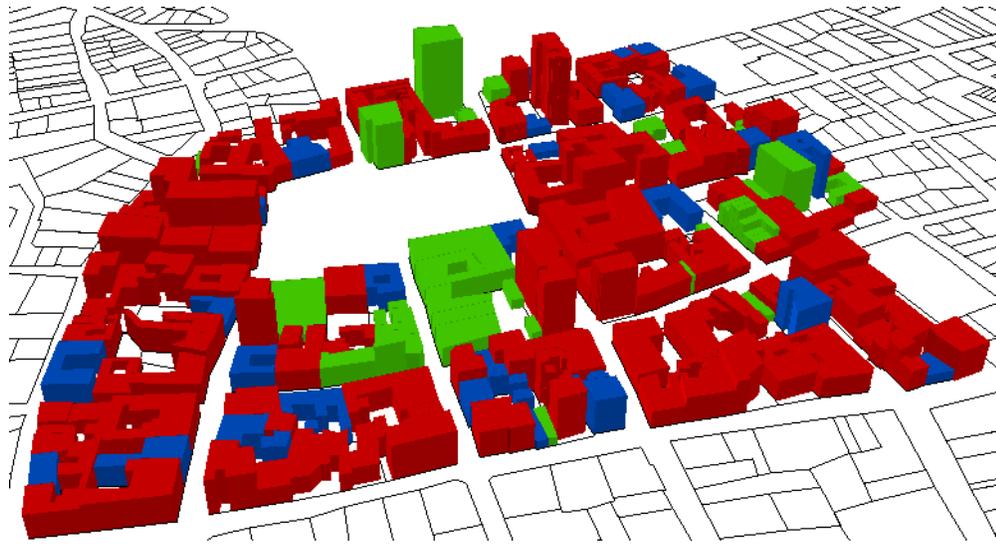
	En elevación	
Respecto a dos ejes <b>A</b>		
Respecto a un eje <b>B</b>		
Respecto a ningún eje <b>C</b>		



**Figura 72.** Simetría. Simetría en elevación. ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

La simetría en elevación es un parámetro que escasea en la zona céntrica de Sincelejo se puede ver en los resultados de la tabla 12 en donde se nota que la mayor cantidad de edificaciones tienen simetría respecto a ningún plano, es decir que el 65,77% de las edificaciones no son simétricas, lo que es un alto porcentaje dentro de la zona de estudio.



**Figura 73.** Simetría. Simetría en elevación. ArcScene

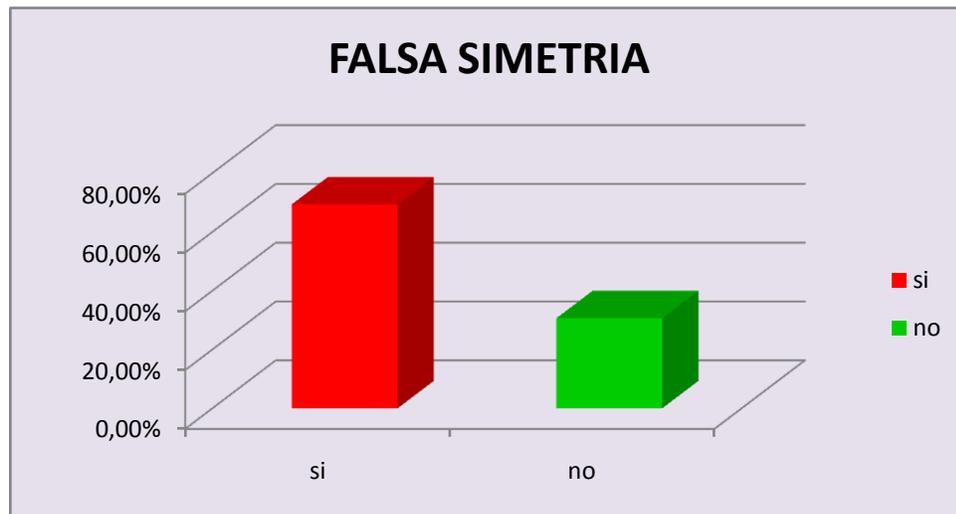
**Fuente:** datos del estudio.

**FALSA SIMETRIA:** La falsa simetría hace referencia a que son simétricas geoméricamente, presenten asimetría en masa o rigidez, es decir que por la localización de elementos estructurales o no estructurales se genera suficiente desequilibrio como para hacer que la estructura al ser repartida en partes iguales quede diferente entre si, ejemplos claros son las edificaciones que han sido modificadas, a las cuales se les han quitado muros de carga y colocado en su lugar pórticos sin elementos no estructurales, es decir que se les ha aumentado el porcentaje de abiertos por alguna de las caras de la edificación, mientras que por otras se conservan los muros originales, lo que permite que el centro de masa de la estructura cambie de posición y si antes estaba en el centro geométrico ahora estará a un lado de este creando excentricidades que en un evento sísmico podrían causar suficientes esfuerzos como para producir daños considerables en la estructura.

**Tabla 14.** Simetría. Falsa simetría.

**Fuente:** datos del estudio.

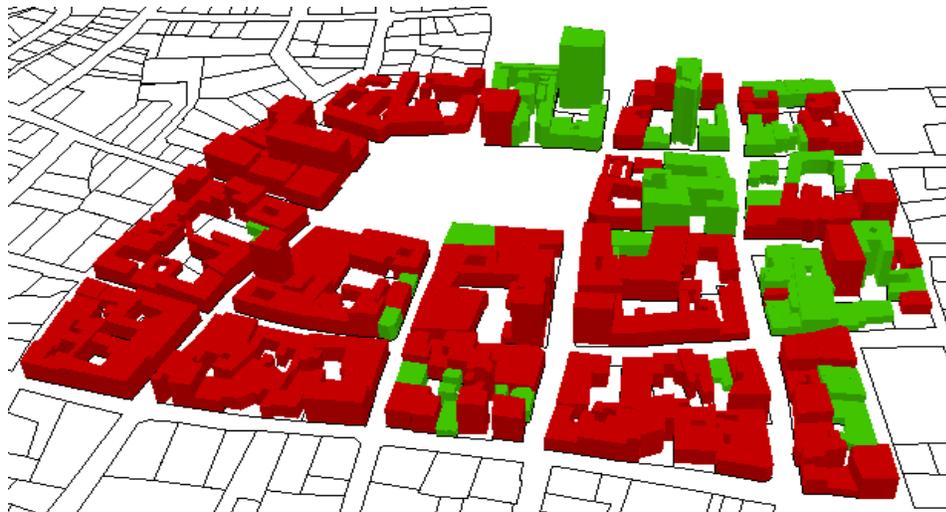
FALSA SIMETRIA		
TIENE FALSA SIMETRIA	%	CANTIDAD
si	69,37%	154
no	30,63%	68
		222



**Figura 74.** Simetría. Falsa simetría.

**Fuente:** datos del estudio.

de acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a este tema, se puede decir que la zona posee el 69,37% de sus edificaciones con falsa simetría, es decir que aunque muchas edificaciones eran simétricas en su geometría, presentaron elementos que le modificaron el centro de masa del centro geométrico, esto pudo ser causado por la localización de los núcleos de estos edificios, tanques de almacenamiento en la azotea u otro tipo de peso adicional ubicado a un lado de la estructura que modificó la localización de su centro de masa, el cual es indispensable que se mantenga en la misma localización del centro geométrico para evitar los esfuerzos causados por la excentricidad que se presenta en estos casos y que en un evento sísmico podrían ser devastadoras.



**Figura 75.** Simetría. Falsa simetría. ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

**RESISTENCIA HORIZONTAL DESEQUILIBRADA:** este parámetro es ya un problema concreto de estructuración sísmica, generado por las ya mencionadas falsas simetrías y variaciones dimensionales, el desequilibrio de la resistencia horizontal es un problema estructural que puede generar muchos daños en la ocurrencia de un evento sísmico pues este puede ocasionar torsión a las edificaciones y por consecuente ocasionar en el peor de los casos colapso parcial o total de las estructuras.

**Tabla 15.** Resistencia horizontal desequilibrada.

**Fuente:** datos del estudio.

RESISTENCIA HORIZONTAL DESEQUILIBRADA		
MUROS	%	CANTIDAD
no tiene	13,51%	30
si tiene	86,49%	192
		222



**Figura 76.** Resistencia horizontal desequilibrada.

**Fuente:** datos del estudio.

como se puede mostrar en la tabla 15, el 86,49% de las estructuras estudiadas presentan este inconveniente lo que es preocupante, puesto que este sector esta constituido por edificios construidos en muros no estructurales los cuales han sido modificados por sistemas de pórticos y vitrinas de almacenes y centros comerciales, creando nuevas estructuras hibridas en lo que concierne a sistemas estructurales de diseño, cabe agregar que dichas estructuras fueron construidas en su gran mayoría antes de que en Colombia empezara a regir normas de sismo resistencia lo que deja como resultado edificios que fueron diseñados solo para resistir cargas verticales sin tener en cuenta los eventos sísmicos que son generadores de fuerzas horizontales que podrían ocasionar en estas estructuras torsión, y llevando así al colapso de estas.



**Figura 77.** Resistencia horizontal desequilibrada. ArcScene

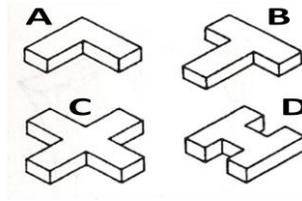
**Fuente:** datos del estudio.

**CONFIGURACION CON ESQUINAS INTERIORES:** la configuración de esquinas interiores es uno de los problemas que si no se tiene en cuenta podría también generar colapso estructural, y que hace referencia a las variaciones geométricas en planta como punto de partida.

**Tabla 16.** Configuración con esquinas interiores.

**Fuente:** datos del estudio.

CONFIGURACION CON ESQUINAS INTERIORES		
DEFINICION	%	CANTIDAD
A	60,36%	134
B	3,15%	7
D	9,46%	21
no tiene	27,03%	60
		222



**Figura 78.** Configuración con esquinas interiores.

**Fuente:** datos del estudio.

Como se puede apreciar en la tabla 17 la configuración de esquinas interiores mas popular en la zona es la tipo A que equivale a un 60,36%, aun cuando este tipo de configuración de esquinas es el mas sencillo, comparado con el tipo D, no deja de ser un escenario que puede generar muchos inconvenientes en un evento sísmico, ya que aunque sea la mas sencilla de las configuraciones puede generar el mismo daño que las mas complejas.



**Figura 79.** Configuración con esquinas interiores. ArcScene

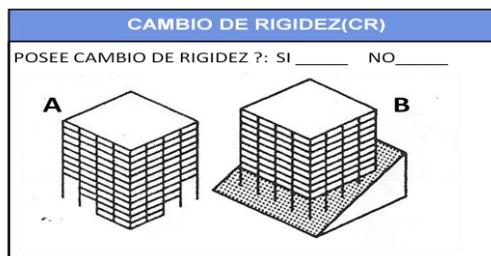
**Fuente:** datos del estudio.

**CAMBIO DE RIGIDEZ:** el hecho de que una edificación haya sido construida en un terreno inclinado, o que su diseño arquitectónico requiera que las columnas estén arriostradas a diferentes alturas, es decir que una columna quede más esbelta que otra le produce al edificio una variación en su rigidez.

**Tabla 17.** Cambio de Rigidez

**Fuente:** datos del estudio.

CAMBIO DE RIGIDEZ		
TIPO DE CAMBIO	%	CANTIDAD
A	4,05%	9
B	46,40%	103
no tiene	49,55%	110
		222

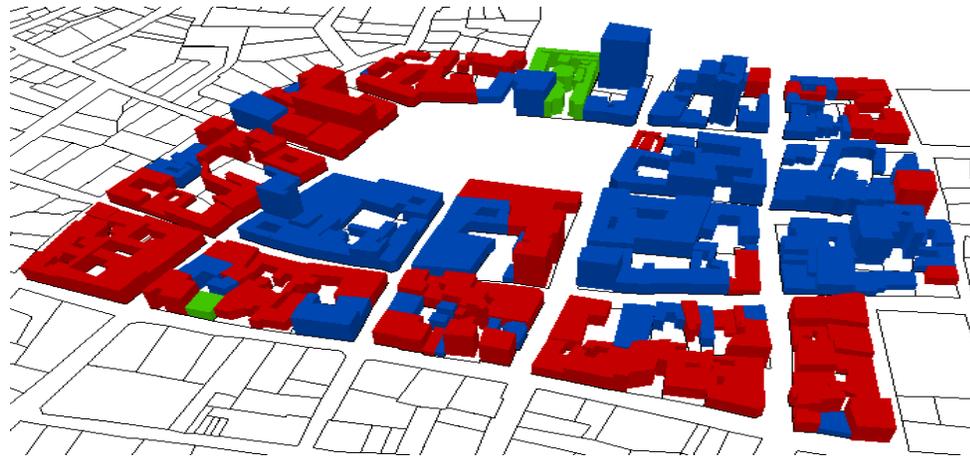




**Figura 80.** Cambio de Rigidez.

**Fuente:** datos del estudio.

De acuerdo a los resultados de la tabla 18 el sector evaluado presenta al menos el 50,45 % de las edificaciones con variación de la rigidez de sus columnas o muros, de acuerdo a la inspección se puede decir que 46,40% de ellas tan solo corresponde a variaciones de rigidez por topografía del terreno, mientras que solo el 4,05% presentan este tipo de cambio por diseño arquitectónico, ya sea por garajes para vehículos u otro tipo de espacios. Por otra parte se puede decir que el 49,55% no presentan este tipo de inconveniente, ya que al momento de la construcción de estas edificaciones se construyo primero un plano base y a partir de este se construyeron las columnas o muros que soportarían el peso de toda la estructura permitiendo que estas conservaran la misma altura entre si y así garantizar que la esbeltez de algún miembro sea generador de falla estructural.



**Figura 81.** Cambio de Rigidez. ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

**PISO DEBIL:** este parámetro hace referencia a la deficiencia de un piso para soportar las cargas, este se presenta por lo general en el primer piso, pero puede presentarse en pisos superiores por la omisión de columnas u otro tipo de defectos.

**Tabla 18.** Piso Débil.

**Fuente:** datos del estudio.

PISO DEBIL		
TIPO DE PISO	%	CANTIDAD
débil	59,91%	133
fuerte	40,09%	89
		222



**Figura 82.** Piso Débil. ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

de acuerdo a la tabla 19 se puede observar que el 59,91% de las edificaciones evaluadas presentan este inconveniente, las edificaciones que mas presentan este problema son aquellas que originalmente su sistema estructural era de muros no reforzados y se le suprimió algunos de estos y reemplazados por columnas a mayores luces, mientras que lo pisos superiores mantuvieron el sistema original, estos casos se observaron en edificios que hoy día son utilizados como almacenes, en donde en los primeros pisos requieren espacios amplios y despejados, y en los pisos superiores son utilizados como bodegas e incluso de uso residencial, a pesar de que el 40,09% restante son edificaciones con pisos fuertes, en un evento sísmico estas edificaciones podrían sufrir daños a causa de las fallas que los otros edificios con pisos débiles, así que el tener un 40% de edificaciones con pisos fuertes no es garantía para decir que estamos regular o bien en ese aspecto, ante por el contrario debemos reforzar los que presentan inconvenientes para que estos son resulten afectados, evitando así una catástrofe pues este sector es de uso comercial y el mas transitado por peatones y conductores.



**Figura 83.** Piso Débil. ArcScene

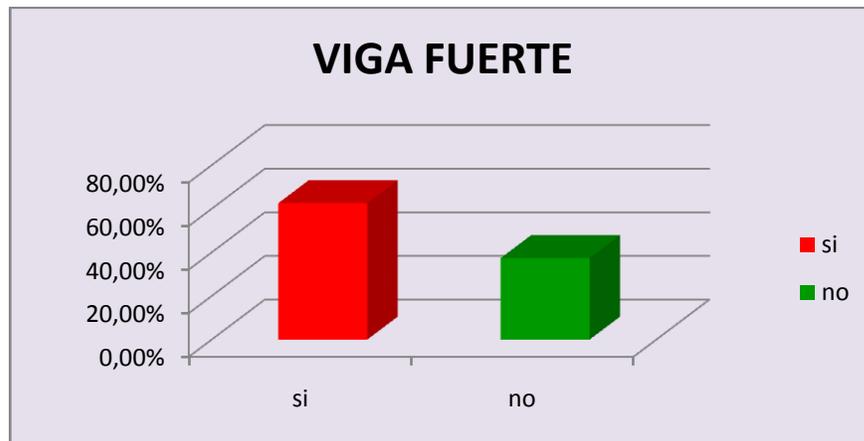
**Fuente:** datos del estudio.

**VIGA FUERTE:** este parámetro consiste en que las columnas del piso inferior dan la impresión de verse débiles ante la magnitud de la carga que genera la viga, es decir que la viga se de gran tamaño mientras que la columna se vea incapaz de resistir las cargas de las cargas de la viga.

**Tabla 19.** Viga Fuerte.

**Fuente:** datos del estudio.

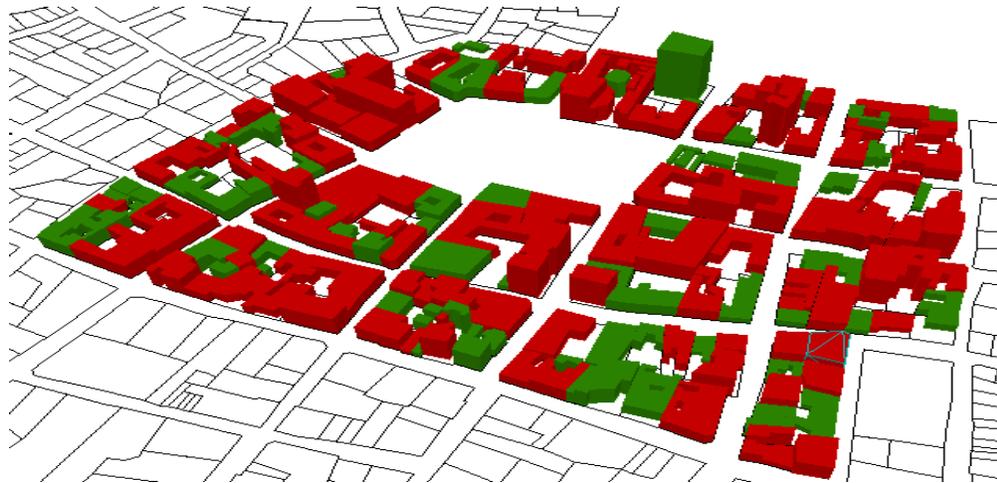
VIGA FUERTE		
VIGA FUERTE	%	CANTIDAD
Si	62,61%	139
No	37,39%	83
		222



**Figura 84.** Viga Fuerte.

**Fuente:** datos del estudio.

la tabla 20 deja ver que el 62,61% de las edificaciones en estudio presentan el inconveniente de tener viga fuerte y columna débil, tal porcentaje se ve justificado al decir que las modificaciones que se han realizado en estructuras en las que predominan los muros no reforzados suprimiendo la mayor parte de estos y dejando como columnas solo fragmentos de muro, mientras que el piso inmediatamente superior queda completo de muros que son de carga convirtiéndose estos en vigas de gran altura para los pequeños segmentos de muros en los pisos inferiores, otro caso es que edificaciones a las cuales se les han adicionado columnas y sobre sus vigas se encuentran muros de gran tamaño aumentando así el peralte de esta y haciendo ver a la columna muy débil.



**Figura 85.** Viga Fuerte. ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

**MODIFICACIONES NO ESTRUCTURALES:** aquí se hace referencia a la adición de elementos no estructurales como los muros divisorios, o la construcción de nuevos pisos sin adicionar elementos estructurales al edificio.

**Tabla 20.** Modificaciones no Estructurales.

**Fuente:** datos del estudio.

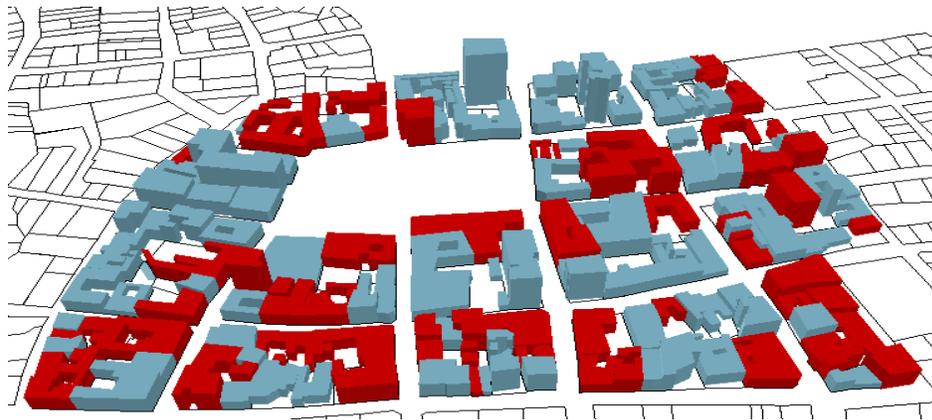
MODIFICACIONES NO ESTRUCTURALES		
CUALIDAD	%	CANTIDAD
no tiene	55,86%	124
si tiene	44,14%	98
		222



**Figura 86.** Modificaciones no Estructurales.

**Fuente:** datos del estudio.

la tabla 21 muestra que tan solo el 44,14% de las estructuras en mención han sufrido modificaciones de manera no estructural, mientras que el otro 55,86% no han sufrido este tipo de modificaciones, sin embargo las edificaciones que están dentro de este ultimo porcentaje han sufrido modificaciones de tipo estructural. en muchos casos las modificaciones no estructurales que se realizaron fueron para separar espacios interiores y convertirlos en oficinas y demás, mientras que en algunas estas modificaciones se registraron de manera mas grave y desconcientizada, pues se construyeron nuevos pisos superiores sin ser amarrados al sistema inferior, es decir que estos pisos quedaron sueltos de la estructura y dado el caso de un evento sísmico lo primero en fallar serian estos, los cuales podrían causar muchos daños materiales y cobrar muchas vidas por la localización que estos tienen dentro de la zona.



**Figura 87.** Modificaciones no Estructurales. ArcScene

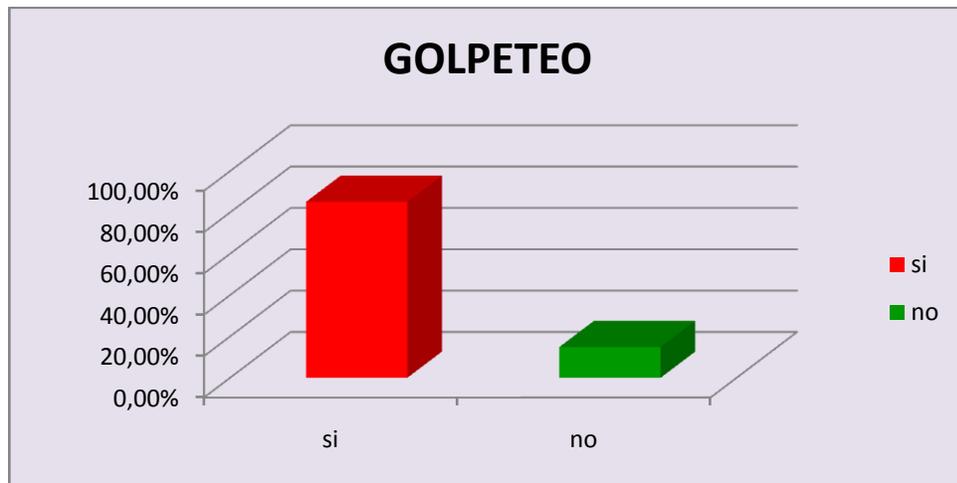
**Fuente:** datos del estudio.

**GOLPETEO:** es el choque losa de entresuelo y muro perimetral de dos edificios en colindancia, este es uno de los parámetros más frecuentes en esta zona, a continuación se muestra la tabla de resultados con respecto a este.

**Tabla 21.** Golpeteo.

**Fuente:** datos del estudio.

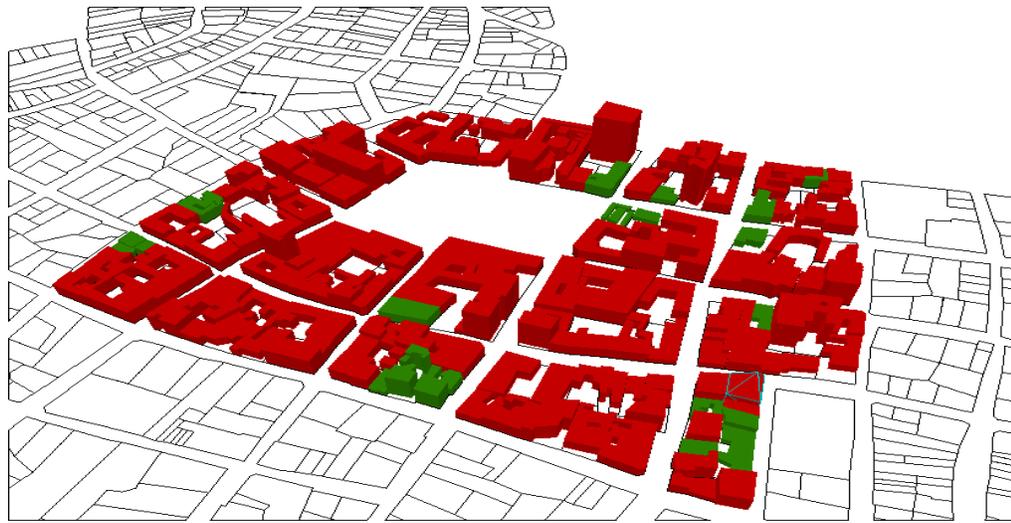
GOLPETEO		
GOLPETEO	%	CANTIDAD
si	85,14%	189
no	14,86%	33
		222



**Figura 88.** Golpeteo.

**Fuente:** datos del estudio.

la tabla 22 nos indica que son 189 edificaciones con problemas de colindancia, lo que corresponde al 85,14% del total encuestado, este es el parámetro que mas preocupa dentro de esta zona por considerar que en un evento sísmico las estructuras presentan diferentes modos de vibración, lo cual puede ocasionar el choque continuo durante el evento y ocasionar fractura de ambos sistemas estructurales, pues la losa de entrepiso considerada como diafragma rígido podría ocasionar daños en las columnas que confinan los muros y que están recibiendo el peso de la parte superior, debilitando total o parcialmente el piso y por consiguiente colapso de este, es decir que el golpeteo puede ocasionar que ambas estructuras colapsen o se vean gravemente averiadas, cabe agregar que las edificaciones que no presentan este inconveniente son edificaciones que poseen solo 1 piso sobre el terreno, ya que en esta zona no se observo independencia de las edificaciones, dicho de otra forma no se muestran holguras entre la construcciones que permitan que las estructuras se puedan mover de acuerdo a sus respectivas derivas permisibles sin hacer algún contacto con las otras estructuras.



**Figura 89.** Golpeteo. ArcScene

**Fuente:** datos del estudio.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo de este trabajo no es solo determinar los problemas de configuración estructural y estructuración sísmica sino que nuevas investigaciones se comiencen a desarrollar como resultado de esta. Es por esto que las conclusiones, son uno de los puntos en los que se debe ser claro y específico, ya que se muestra el resultado de la investigación. Se presentan aquí las principales conclusiones de este trabajo, que hace referencia a la metodología empleada, a la herramienta informática utilizada y los resultados obtenidos.

### 5.1 CONCLUSIONES

- ✚ La metodología utilizada para la recolección de datos en el presente trabajo de grado, puede ser utilizada para la determinación de datos de otros trabajos que consistan en la observación de parámetros que influyen en la geometría y forma de las edificaciones en estudio, dejando de lado el subjetivismo del encuestador y haciendo las encuestas mas objetivas, consiguiendo así mayor precisión en los resultados obtenidos.
- ✚ observando los diferentes problemas de configuración estructural y estructuración sísmica, los correspondientes a golpeteo y resistencia horizontal desequilibrada con un 85,14% y 86,49% respectivamente, son los que mas se presentan en la zona, sin desconocer que estos dos parámetros tienen gran influencia dentro del comportamiento de las estructuras en un evento sísmico, y por tal motivo se deben tomar medidas que conlleven al mejoramiento de las edificaciones con estos y otros inconvenientes para que las estructuras puedan mantenerse conservadas después de un sismo.

- ✚ observando los diferentes problemas de configuración estructural y estructuración sísmica, los correspondientes a relación de esbeltez y adaptabilidad de la división de espacios interiores son los menos frecuentes dentro de las edificaciones evaluadas, manteniendo valores de mas del 90% de valores de relación de esbeltez menores de 1,5, y 71,17% de adaptabilidad baja para división de espacios interiores lo que se hace que estos sean parámetros a favor del comportamiento sísmico de las estructuras.
- ✚ La tecnología de sistema de información geográfica SIG ha confirmado sus ventajas sobre métodos clásicos para elaborar mapas y para realizar apropiadamente el análisis de peligro y riesgo sísmico. En la realización en este tipo de estudios, los SIG, al permitir relacionar datos alfanuméricos con datos gráficos, pueden ser permanentemente actualizados, convirtiéndose así en una herramienta indispensable.
- ✚ Al trabajar con la Tecnología de sistema de información geográfica SIG, se permite suponer un escenario de determinadas características a la zona de trabajo, para así obtener de manera inmediata sus posibles consecuencias, lo que se convierte en una manipulación, por parte del investigador, de los diferentes parámetro que intervienen en la configuración estructural y estructuración sísmica, en muy corto tiempo.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- ✚ se recomienda que las diferentes entidades gubernamentales y la universidad de sucre sean informadas de los resultados de esta investigación y promuevan otras investigaciones relacionadas con esta y así se puedan tener todos los resultados requeridos para realizar una campaña de mejoramiento de edificaciones de acuerdo a sus deficiencias conforme los problemas que presente.

- ✚ a la universidad de sucre se le recomienda seguir con este tipo de investigación, implementándola en toda la ciudad para conocer el comportamiento de las edificaciones respecto a los problemas de configuración estructural y estructuración sísmica, con lo cual se podrán realizar comparaciones entre las diferentes zonas y estratos socio-económicos de la ciudad, con el fin de determinar que sectores se encuentran con mayor cantidad de problemas y si corresponden a los estratos mas bajos.
  
- ✚ Con los datos de esta investigación obtenidos del sistema de información geográfica se puede ir adicionando información general como es el caso del estado de las vías, en pocas palabras aprovechar los datos que se tienen y conformar un entorno mucho mas real con todos los factores que afecten la zona, desde redes de servicios públicos hasta monumentos, vías y nuevas edificaciones, para conocer el efecto real de un posible evento sísmico, y así medir la capacidad que tiene esta zona para reaccionar ante un fenómeno de esta categoría.
  
- ✚ Se recomienda que la utilización de encuestas a la totalidad de las edificaciones se sigan implementando puesto que son la herramienta mas adecuada para recoger la información, agregando a esto que estas se realicen a manera de gráficos para que se pueda mostrar y elegir en que característica esta ubicada realmente la estructura, y así el encuestador no este atado en gran manera al subjetivismo y hacer de la recolección de datos un ejercicio objetivo y real de la situación que se tiene.
  
- ✚ Se sugiere también que la utilización de software como es el de sistema de información geográfico ArcGis se siga implementando dentro de la metodología de la investigación puesto que hace eficiente la caracterización de la información y el agrupamiento de los datos,

permitiendo que estos estudios demoren menos de lo acostumbrado y de una manera mas ordenada y proyectando los estudios a actualizaciones y ampliaciones sin tener que volver a empezar desde cero, haciendo de los estudios anteriores puntos de comparación sobre los problemas estudiados.

- ✚ Se recomienda que en investigaciones futuras se pida colaboración de las entidades gubernamentales en lo concerniente al acompañamiento de un servidor publico y con los permisos requeridos para que la comunidad en la que se realice el estudio preste su colaboración sin ningún tipo de inconvenientes ni trabas, para que no se presenten retrasos en el cronograma establecido para la investigación y se puedan tomar los datos con mayor precisión.

## REFERENCIAS

**AIS, Asociación de Ingeniería Sísmica**, Normas Colombianas de Diseño y Construcciones Sismo Resistente NSR-98. Colombia **1997**.

**AIS, Asociación de Ingeniería Sísmica**, Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería. San Salvador. LA RED La Red de estudios sociales en prevención de Desastres en América Latina. **2001**.

**ARTETA, C. y VÁSQUEZ, J.** Monografía: Manual de evaluación y diagnóstico de vulnerabilidad sísmica de estructuras existentes de pórticos de concreto. Universidad del Norte. **2003**.

**BARBAT, A; CANET, J.** Estructuras Sometidas a Acciones Sísmicas. Centro internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona. **1994**.

**BARRERA, O.** Geología de la plancha 43 San Antero-San Bernardo del Viento. Ingeominas. Colombia. **2003**.

**BAZÁN Y MELI.** Configuración y Diseño Sísmico de Edificios. Primera Edición. Editorial Limusa. **1989**.

**BENEDETTI, D. Y PETRINI, V.** Sulla Vulnerabilità sismica di edifici in muratura: Proposte di un metodo di valutazione. L'industria delle costruzioni, 149, 66-78. Roma. **1984**.

**BONETT, R.** Tesis Doctoral: Vulnerabilidad y riesgo Sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. **2003**.

**CAMPO, A.** Mitigación del riesgo sísmico en Cali. Fase I: Vulnerabilidad de Viviendas. OSSO para programa UNDRO/ACD/ONAD Mitigación de desastres en Colombia. OSSO, U del Valle, Oficina de publicaciones de ingeniería. Cali. **1982**.

**COCHRAN, W. G.** Técnicas de Muestreo. Profesor de Estadística de Universidad de Hartad. Compañía Editorial Continental S.A. México. **1980.**

**COMOGLIO, S.; MENDEZ, J.; TERAN, A.** Artículo de investigación: el método experimental en el estudio de la configuración sismoresistente. Colombia 2004

**CONSTRUWEB.** Centro Comercial para la Construcción. Cartilla de Ingeniería Estructural. Metodologías para estudios de Vulnerabilidad Sísmica Estructural de edificaciones existentes. Obtenido en la red Mundial en el 2001. <http://www.constru.web.co/guias/guiaPCCA/guiaingenieriaestructumetvulnerab.htm>

**DOWRICK D. J.** Diseño de estructuras resistentes a sismos para ingenieros y arquitectos. Editorial Limusa. **1990.**

**GARCIA, L.; SARRIA, A.; ESPINOSA, A.; BERNAL, C. Y PUCCINI, M.** Estudio General de Riesgo Sísmico en Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Bogotá D.C.. **1998.**

**GUEVARA, L. T. y GARCIA, L.** Artículo: La columna corta o Columna Cautiva. Noticreto No 52. **Septiembre de 1999.**

**HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P.** Metodología de la Investigación. McGRAW-hill Interamericana de México, S.A. de C.V. México. **1991.**

**LA RED. La Red de estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.** Guía metodológica para la gestión local de la mitigación y manejo de desastres en América Latina. Borrador de discusión. Cooperación Italiana. **1995.**

**LLANOS, L. y VIDAL, L.** Tesis de Pregrado: Evaluación de la Vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: Una propuesta metodológica. Universidad del valle. Escuela de ingeniería Civil y Geomática. Cali. **2003.**

**MENA, U.** Tesis Doctoral: Evaluación del Riesgo Sísmico en zonas urbanas. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería del terreno, Cartográfica y Geofísica. Barcelona. **2002.**

**JARAMILLO, A.** Memorias de clase de Maestría en Ingeniería Civil. Universidad del Norte. Barranquilla. **2006.**

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL.** Directiva Ministerial No 13. Sistema Nacional para la prevención y atención de desastres. Bogotá D.C.. **1992.**

**MINISTERIO DEL INTERIOR.** Plan para la prevención y Atención de Desastres. Dirección Nacional para la prevención y atención de Desastres. Bogotá D.C.. **1998.**

**MUÑOZ, H.** Artículo: Colombia, un País sin conciencia Sísmica. Noticreto No 51. **Junio de 1999.**

**NILSON, A.** Diseño de estructuras de concreto Preesforzado. Editorial Limusa. Primera Edición. **1990.**

**Organización Panamericana de la salud OPS.** Fundamentos para la Mitigación de Desastres en las instalaciones de Salud. Organización Mundial de la salud OMS. Washington D.C.. **1999, 2004.**

**POT (Plan de Ordenamiento Territorial) Sincelejo.**

**ROSENBLUETH, E.** Diseño de estructuras Resistentes a Sismos. Editorial Limusa. **1991.**

**SARRIA M., A.** Ingeniería Sísmica. Universidad de los Andes. ECOE ediciones. Bogotá D.C.. **1995.**

**USGS.** National Earthquake information center, worl data Center a for seismology. <http://www.neic.cr.usgs.gov/>.

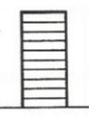
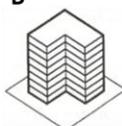
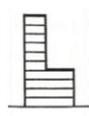
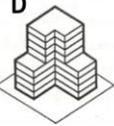
**VALLECILLA, C. R.** Fuerzas Sísmicas. Principios y aplicaciones. Bogotá D.C. **2003.**

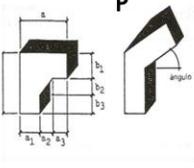
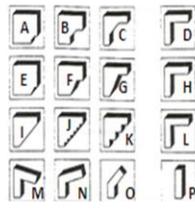
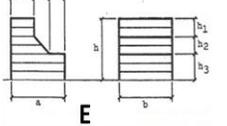
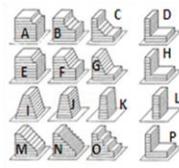
**YEPEZ, F.** Modelos de evaluación del comportamiento sísmico no lineal de estructuras de hormigón armado. Monografías de Ingeniería Sísmica CIMNE IS-19. España. **1996.**

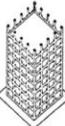
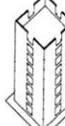
# **ANEXOS**

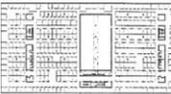
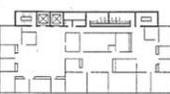
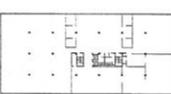
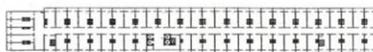
## **ANEXO 1**

# ENCUESTA DE CONFIGURACION ESTRUCTURAL:

MATRIZ DE FORMA DE EDIFICIOS (ME)		
Conf. En planta Conf. En Elevación		
	<b>A</b> 	<b>B</b> 
	<b>C</b> 	<b>D</b> 

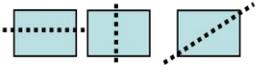
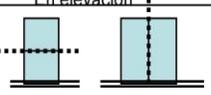
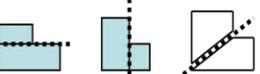
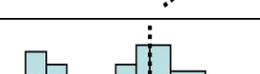
VARIACIONES DIMENSIONALES (VD)	
<p>Achaflanamiento en planta</p> 	
<p>Achaflanamiento en elevación</p> 	

COMPONENTES DE CONFIGURACION (CC)				
<b>%A</b> PORCENTAJE ABIERTO	<b>UN</b> UNIFORMIDAD			
 Alto	 Mediano	 Bajo	 Uniforme	 No Uniforme

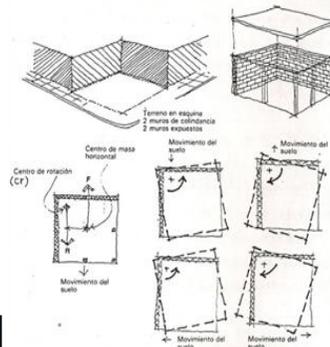
COMPONENTE DE LA CONFIGURACION División del espacio interior (CCD)		
<b>IN</b> INTENSIDAD:		
 Alta	 Media	 Baja
ADAPTABILIDAD: <b>AD</b>		
 Baja	 Alta	

<b>Relación de esbeltez</b>
Alto: _____
Lado menor: _____

COMPONENTE DE LA CONFIGURACION NUCLEOS (CCN)		
Localización de Núcleos		
	Sencillo	Complejo
Solo, interior <b>A</b>		
Múltiple, interior <b>C</b>		
Solo, exterior <b>E</b>		
Múltiple, exterior <b>G</b>		
Combinaciones <b>I</b>		

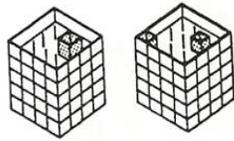
SIMETRIA (SI)		
	En planta	En elevación
Respecto a dos ejes <b>A</b>		
Respecto a un eje <b>B</b>		
Respecto a ningún eje <b>C</b>		

**RESISTENCIA HORIZONTAL DESEQUILIBRADA (RHD)**



**FALSA SIMETRIA (FS)**

POSEE FALSA SIMETRIA?: SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

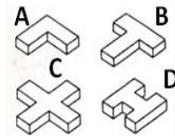


**LOCALIZACION DE MUROS CORTANTES (LMC)**

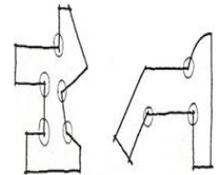
Configuración Esquemática	Elementos resistentes para fuerzas Sísmicas	Elementos resistentes para fuerzas Sísmicas	Elementos resistentes para torsión

**CONFIGURACION CON ESQUINAS INTERIORES (CEI)**

DEFINICION

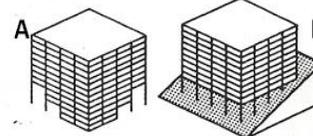


Las esquinas internas en con Figuraciones

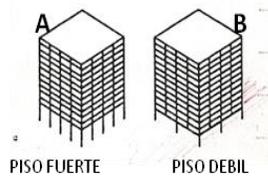


**CAMBIO DE RIGIDEZ (CR)**

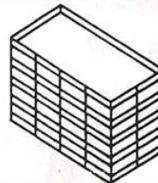
POSEE CAMBIO DE RIGIDEZ?: SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_



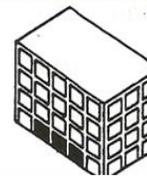
**PISO DEBIL (PD)**



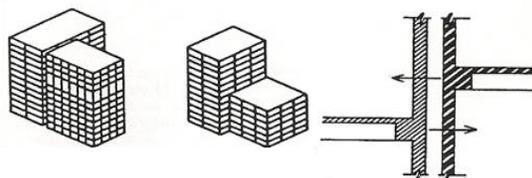
**VIGA FUERTE COLUMNA DEBIL (VF)**



**MODIFICACIONES NO ESTRUCTURALES (MNE)**



**GOLPETEO (GO)**





## **ANEXO 2**



- Río
- Quebrada
- Cauce Intermitente
- Lago
- Canal
- Paramento de Canal
- Límite Manzana
- Límite Municipal
- Límite de perímetro urbano

**CONVENCIONES**

- Límite Predial
- Urbanización en proyecto
- Límite de Sector Catastral
- Límite Veredal
- Límite Sector
- Puente
- Cementerio
- Iglesia

- Escuela
- Hospital
- Alcaldía
- Canal Colector
- Cancha de fútbol
- Estación de Servicio
- PARQUE PRINCIPAL
- Edificaciones
- Construcción Anexa



REPUBLICA DE COLOMBIA  
 DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA  
 INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI



**SUBDIRECCIÓN DE CATASTRO**  
**DEPARTAMENTO DE SUCRE**  
**MUNICIPIO DE SINCELEJO**  
**PLANO DE LA CABECERA URBANA**  
 Sector Centro  
 Actualizado al 2.003  
 Levantamiento con Cinta  
 DISPONIBLE EN VERSIÓN DIGITAL  
 ESCALA 1:1.000

**INDICE DE HOJAS**

1

NOTA: Se garantiza la libre reimpresión con fines académicos y de investigación de esta obra, siempre y cuando se cite al Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Calle 14 No. 48-91, Subdirección de Catastro, Bogotá D.C.  
 © INSTITUTO GEOGRÁFICO DEL ESTADO  
 INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI



FAC SU-2633 17/07/2009

