

6. METODOLOGÍA DESARROLLADA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES

6.1 GENERALIDADES

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica o el grado de daño de una edificación debe llevarse a cabo un riguroso estudio de su comportamiento sísmico. En este sentido y de acuerdo con *Cardona* (1989), para este análisis se requiere de un especialista, el cual necesita información detallada de planos estructurales y arquitectónicos, además de estudios que se hallan realizado para la construcción ó remodelación.

En el caso particular de las edificaciones de uno y dos pisos de construcción popular, la mayoría no cuenta con información referente a su diseño y construcción, como planos ó estudios técnicos que permitan servir de insumo para su evaluación. Por tal motivo es necesario considerar la posibilidad de adelantar evaluaciones que no siendo tan rigurosas, permitan realizar una valoración cualitativa de la vulnerabilidad sísmica de una o un grupo de edificaciones.

De todas las formas de hacer una evaluación, la inspección visual es una de las más rápidas, sencillas y económicas. Aún para saber si es necesario un análisis estructural o un modelo matemático, se requiere de una inspección visual para diagnosticar acciones futuras, ésta también contribuye a conocer de una manera global las edificaciones prioritarias, para la toma de decisiones relacionadas con la intervención de la vulnerabilidad.

A continuación se presenta la metodología desarrollada por el autor de este trabajo, para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de mampostería de uno y dos pisos del barrio San antonio.

6.2 DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Debido a que no existe una metodología estándar para la evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones que sea aplicable en su totalidad en cualquier región, es necesario adaptar o proponer metodologías que respondan a las condiciones particulares de las edificaciones en su contexto local. En este sentido, el autor del presente desarrolló una metodología que tiene en cuenta las características constructivas, arquitectónicas y estructurales de las edificaciones de la zona estudiada, que permite realizar un diagnóstico inicial de la vulnerabilidad, hacer un análisis global y particular, tener un conocimiento integral de la zona, además de generar mapas de escenarios de vulnerabilidad y daño sísmico.

Para determinar la metodología apropiada a utilizar en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de uno y dos pisos en la zona de estudio, se analizaron los métodos presentados en el capítulo anterior. Se descartó la posibilidad de realizar el estudio por "*Métodos Analíticos*" de la "*Categoría de Vulnerabilidad Calculada*" debido a que por lo general este tipo de evaluaciones han sido concebidas para ser aplicadas a edificios de concreto reforzado (Caicedo et.,al, 1994).

Por lo tanto se determinó que la metodología apropiada (ver figura 112), es la perteneciente a la "**Categoría de vulnerabilidad observada**", constituida por los "**Métodos que evalúan la capacidad**", mediante un "**Sistema de calificación**", debido a que estos permiten identificar y calificar de una forma rápida, mediante una inspección visual y una evaluación cualitativa, el grado de vulnerabilidad sísmica de un conjunto de edificaciones de diversas tipologías constructivas, de acuerdo con el nivel de detalle que se requiera y los resultados esperados.

No se consideró la utilización de los "**Métodos que Predicen el Daño**" de la "Categoría de Vulnerabilidad Observada", debido a que no se cuenta con información y análisis estadísticos de daños observados en terremotos pasados en las edificaciones de ciudad, ni mucho menos en la zona de estudio, que permitan construir funciones o matrices de vulnerabilidad.

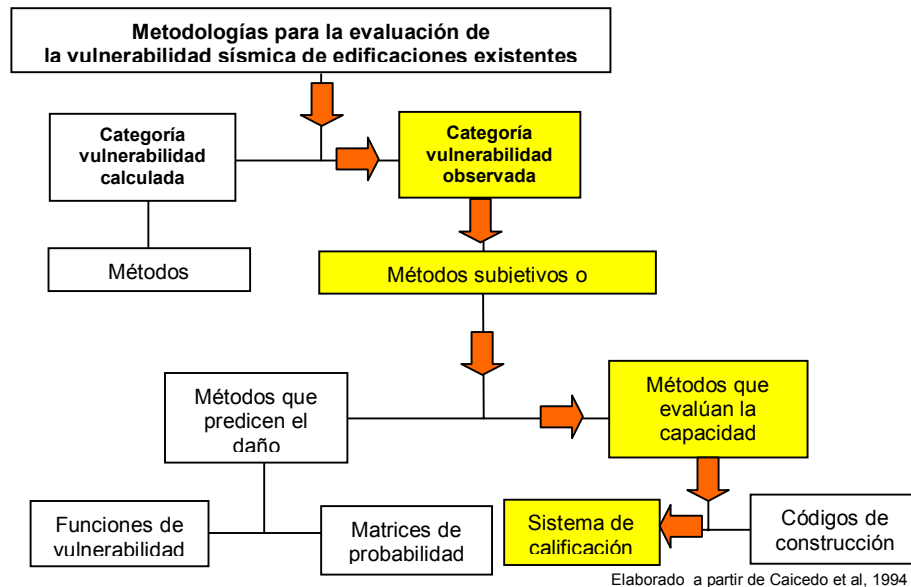


Figura 112. Diagrama de determinación de la metodología.

Según Meyer (1990), la ciudad moderna no ha sufrido desastres sísmicos de magnitud cuyos efectos permitieran el análisis de la vulnerabilidad por métodos empíricos, sin embargo, para establecer el nivel de pérdidas probables en aquellos eventos sísmicos, relativamente más frecuentes, que generen intensidades del orden de VI y VII, el Observatorio Sismológico del Sur Occidente - OSSO ha realizado análisis macrosísmicos de terremotos de esas características que ocurrieron en los últimos 40 años.

6.3 PROPUESTA METODOLÓGICA

6.3.1 Descripción de la metodología.

Teniendo como base los criterios establecidos en el marco teórico y la determinación del tipo de metodología definida en el numeral anterior, a continuación se presenta la propuesta metodológica resultado de la investigación realizada denominada ***metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones en mampostería de uno y dos pisos***, .

Con base en los fundamentos teóricos de la sismo resistencia y en el estudio de las causas de falla sísmica de edificaciones por terremotos pasados, se determinaron una serie de parámetros denominados ***Indicadores de Vulnerabilidad Sísmica***, con los cuales se determina el grado de vulnerabilidad por indicador, además de la vulnerabilidad física global de la edificación obtenida a partir la suma de todos los indicadores.

- **Grado de vulnerabilidad sísmica por indicador.**

Cada uno de los indicadores de vulnerabilidad, recibe una calificación que puede ser 50, 25 ó 5, correspondiendo, el primer y máximo valor, a una condición desfavorable como **Vulnerabilidad Alta**, el segundo a una condición intermedia como **Vulnerabilidad Moderada** y el tercero a una condición favorable como **Vulnerabilidad Baja**, de acuerdo con los criterios de calificación que se definen mas adelante. Con estos resultados es posible construir **escenarios de vulnerabilidad sísmica** por indicador.

- **Grado de vulnerabilidad física global de la edificación.**

Una vez calificado cada indicador, se procede a sumar los valores respectivos para obtener el grado de vulnerabilidad física global cualitativa de la edificación de acuerdo con la siguiente expresión.

$$GV = \sum Iv$$

Donde:

GV = Grado de vulnerabilidad sísmica

Iv = Indicador de vulnerabilidad

Si el parámetro supera el valor de 150 la edificación calificará con **Vulnerabilidad Baja**, entre 150 y 375 calificará con **Vulnerabilidad Moderada** y por último si está por encima de 375, calificará con **Vulnerabilidad Alta**, la máxima calificación estimada es de 750. Con estos

resultados se pueden construir posibles **escenarios de vulnerabilidad sísmica** de manera global.

- **Matriz de calificación.**

La matriz para la calificación de la vulnerabilidad sísmica, esta compuesta por ocho indicadores de vulnerabilidad básicos, estos son: época de construcción, sistema estructural, geometría, peso de la edificación, rigidez, elementos no estructurales, suelo y cimentación, y el estado de conservación. Dentro de estos indicadores se consideran unos **sub-indicadores**, que pueden ser considerados en un menor o mayor número dependiendo el grado de detalle de la evaluación que se quiera realizar.

Se puede decir que entre mayor sea el número de indicadores a utilizar en la evaluación, se tendrá un conocimiento mas detallado de las condiciones de vulnerabilidad de la edificación. Para objeto de este trabajo se consideraron los ocho indicadores básicos mencionados anteriormente, de los cuales cuatro de ellos presentan sub-indicadores. Estos se muestran la tabla siguiente.

Tabla 16. Matriz de calificación de la vulnerabilidad método propuesto.

Num	Indicadores de Vulnerabilidad	Grado de Vulnerabilidad Sísmica		
		Alta	Moderado	Bajo
1	Época de Construcción	50	25	5
2	Tipología estructural	50	25	5
3	Geometría			
3.1	Configuración en planta	50	***	5
3.2	Configuración en altura	50	***	5
4	Peso			
4.1	Número de pisos	50	***	5
4.2	Tipo de cubierta	50	25	5
5	Rigidez			
5.1	Tipo de mampostería	50	***	5
5.2	Espesor de muros	50	25	5
5.3	Cantidad de muros	50	25	5
5.4	Altura de muros	50	***	5
6	Elementos no estructurales	50	25	5
7	Suelo y cimentación			
7.1	Coeficiente de sitio	50	25	5
7.2	Terreno de fundación	50	25	5
7.3	Posición del edificio y la cimentación	50	25	5
8	Estado de conservación	50	25	5

*** No tienen calificación debido a que hay solo dos condiciones de decisión: vulnerabilidad alta (50) ó baja (5)

Tabla 17. Matriz de calificación de vulnerabilidad física-global o de conjunto

Indicador global de Vulnerabilidad Sísmica	
Grado de vulnerabilidad baja	> =150
Grado de vulnerabilidad moderada	>150 y <= 375
Grado de vulnerabilidad alto	>375

6.3.2 Descripción de los Indicadores de vulnerabilidad sísmica

Se considera que los parámetros propuestos para la evaluación de la vulnerabilidad presentados en este trabajo, inciden de manera importante en el comportamiento sísmico de una edificación.

1. Época de construcción (técnicas y normas constructivas).

Mediante este indicador se pueden identificar las características constructivas, estilos arquitectónicos, técnicas y prácticas constructivas, nivel de diseño, normas y materiales utilizados en una determinada época. Igualmente, interesa este dato para compararlo con la fecha del código de construcción vigente.

Los parámetros utilizados para calificar este indicador, tienen en cuenta tres periodos:

Edificaciones construidas antes de 1985

Este periodo reúne las edificaciones construidas antes de la vigencia de la ley 1400 del 23 de junio de 1983, Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, CCCSR-84. Este parámetro recibe la calificación de 50, que corresponde a un grado de **vulnerabilidad alta** debido a:

- Antigüedad de las construcciones cuyos materiales posiblemente han perdido sus propiedades resistentes.
- Baja calidad inicial de los materiales de construcción.
- Baja calidad o falta de control en la mano de obra.

- Errores de estructuración y forma de la edificación.
- Mutilaciones o adiciones mal concebidas, para cambio de uso.
- Falta de mantenimiento.
- Incumplimiento de las mínimas normas de diseño y construcción sismo resistente establecidas en el código de construcción.

Edificaciones construidas entre 1985 y 1998

El segundo periodo se establece entre 1985 y 1998. A partir de 1984 con la expedición del CCCSR-84. Este parámetro recibe la calificación de 25 que corresponde a un grado de **vulnerabilidad Moderada**, debido a que:

- Las edificaciones construidas en este periodo, por lo general presentan todavía deficiencias estructurales y constructivas, incumpliendo en gran medida los requerimientos del CCCSR-84.
- A pesar de la existencia de este código de diseño y construcción sismo resistente, su aplicabilidad fue un proceso lento en los sectores populares, durante el periodo en mención, debido a la falta de medidas estrictas para el cumplimiento de las normas y de control por parte de las autoridades competentes (Licencias de Construcción).

La construcción progresiva de la vivienda popular es una constante generalizada de la mayoría de desarrollos urbanísticos en este periodo en Colombia, donde a pesar de la existencia de una normatividad constructiva, estos en su gran mayoría adolecen de los mínimos criterios técnicos, y si

existen, han sido mal concebidos.

Al respecto, en 1989 el presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros ing. Luis Eduardo Laverde, que seis años después del terremoto de Popayán de 1983, todavía existían deficiencias en la aplicación del código de construcciones sismo resistentes, especialmente en las viviendas de uno y dos pisos. La falta de interventoría y el escaso control municipal habría distorsionado su uso. (Tomado del periódico El Tiempo abril, 1989. Por Martín Rosas Bernal *"Construcciones Antisísmicas: La Solución"*.)

Edificaciones construidas después de 1998

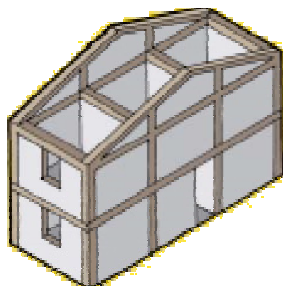
El tercer periodo se establece a partir de 1998, para el cual se considera que las edificaciones, cuentan con las mínimas normas de construcción sismo resistente estipuladas en el **Título E de la NSR-98**, a no ser que mediante la inspección visual se compruebe lo contrario. Este parámetro recibe la calificación de 5 que corresponde a un grado de **vulnerabilidad baja**, debido a que:

- La edificación fue diseñada y construida, como lo especifica la nueva Ley de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98, aplicando las mínimas normas estipuladas en el Título E de la misma.
- Se supone que las edificaciones cuentan con una licencia de construcción.

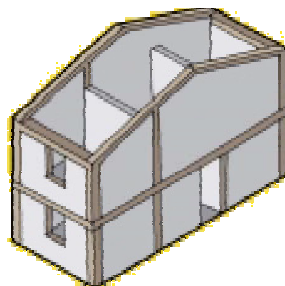
2. Sistema estructural (resistencia sísmica).

Mediante este indicador se determina el tipo de sistema resistente que compone la tipología estructural de la edificación, de muros portantes, que pueden estar confinados o reforzados. Para el caso específico de este estudio, las edificaciones se determinaron tres clasificaciones:

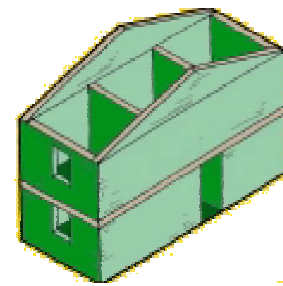
1. Edificaciones con tipología estructural de muros portantes de mampostería confinada (MC).
2. Edificaciones de mampostería parcialmente confinada (MPC).
3. Edificaciones de mampostería no confinada (MNC).



Edif. en mampostería confinada (MC)



Edif. en mampostería parcialmente confinada (MPC)



Edif. en mampostería no confinada (MNC)

AIS, 2001

Los parámetros utilizados para calificar este indicador, son:

Edificación en mampostería no confinada (MNC).

De acuerdo con la clasificación de las edificaciones existentes en la ciudad de Cali dada en Campos (1992), las edificaciones construidas antes de la vigencia del CCCSR-84, se componen de muros portantes de mampostería

no reforzada ni confinada. Por lo tanto, éstas edificaciones clasifican en el sistema estructural (MNC). En los casos en que no fue posible determinar y demostrar mediante una inspección visual la existencia de confinamiento en los muros, se asume que la edificación clasifica en (MNC). Este parámetro recibe la calificación de 50 que corresponde a un grado de **vulnerabilidad alta**.

Edificación en mampostería parcialmente confinada (MPC)

Se considera que la mampostería confinada se desarrolla a partir de 1985 con la expedición del CCCSR-84. Este parámetro recibe la calificación de 25 que corresponde a un grado de **vulnerabilidad moderada**, estableciéndose los siguientes criterios para su clasificación.

Las edificaciones construidas en el periodo comprendido entre 1985 y 1998, presentan todavía deficiencias constructivas, que no están acordes con lo estipulado en el CCCSR-84, como la utilización de acero liso como refuerzo principal, la parcialidad en la utilización del confinamiento en muros, falta de amarres, etc. Por lo tanto, esta edificación clasifica como sistema estructural de muros portantes (MPC). Donde no es posible determinar y demostrar mediante una inspección visual la parcialidad del confinamiento en los muros, se asume que la edificaciones califican como (MNC).

Edificación en mampostería confinada (MC).

Se considera que las edificaciones construidas después de 1998 cuentan con las mínimas normas de construcción sismo resistente. Por lo tanto las edificaciones clasifican como sistema estructural de muros portantes en (MC). Este parámetro recibe la calificación de 5, que corresponde a un grado de **vulnerabilidad baja**. Donde no es posible determinar y demostrar mediante una inspección visual la existencia de confinamiento en los muros, se asume que la edificación califica como (MNC).

3. Geometría (forma de la edificación).

Con base en los criterios establecidos en el marco teórico de este trabajo, éste indicador considera y califica el grado de vulnerabilidad sísmica de acuerdo con la configuración geométrica en planta y en altura de la edificación de la manera siguiente:

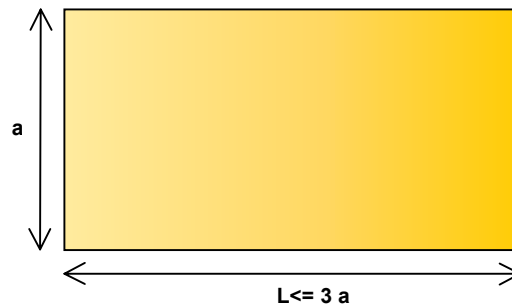
- **Configuración en planta.**

Los criterios establecidos para la calificación de este indicador de vulnerabilidad se realizan a partir de la determinación de la regularidad o irregularidad de la edificación en planta, mediante la medición de las área construidas (se considera la parte de la vivienda con cubierta) y área libre (que corresponde a las áreas de patios o corredores). Además de la determinación del ancho y largo de la edificación. Teniendo como base la cartografía disponible del sector en estudio o las cartas catastrales).

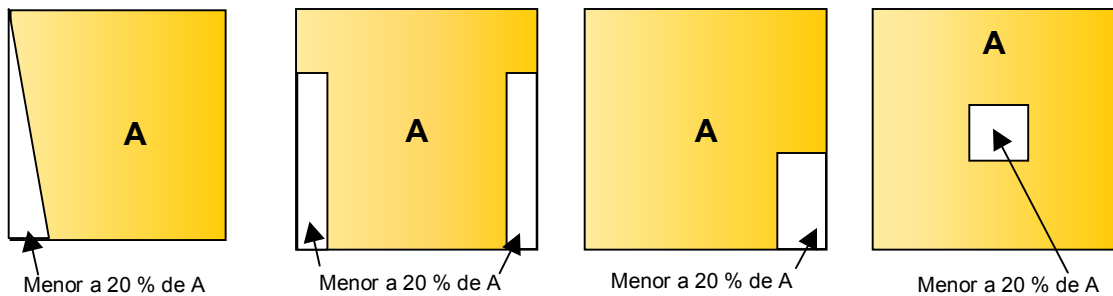
Regularidad en planta

Una edificación es regular en planta si:

- a. $L \leq 3a$ (Largo menor o igual tres veces su ancho).



- b. Su área en planta cumple alguna de las condiciones mostradas. Donde **A** es el área construida de la edificación.

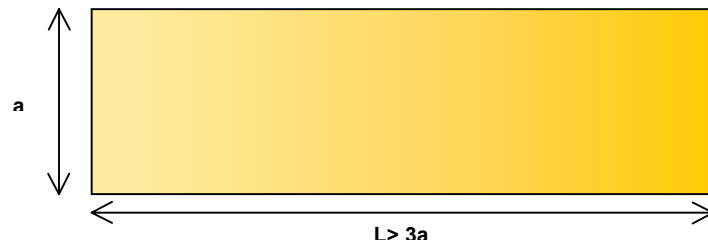


Su calificación será de 5, que corresponde a **vulnerabilidad baja**.

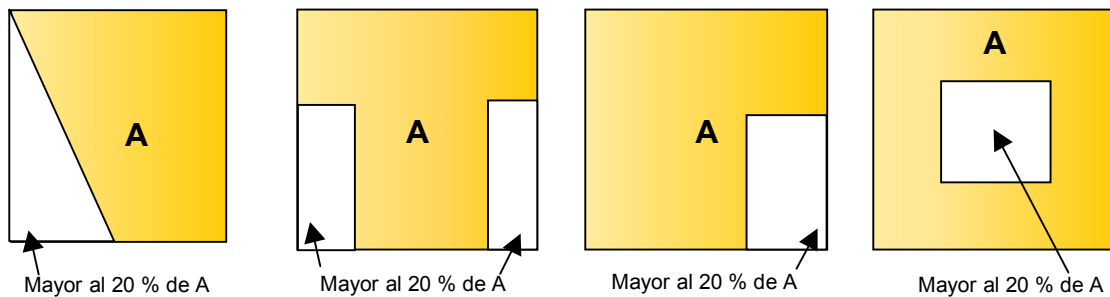
Irregularidad en planta

Una edificación presenta irregularidad en planta si:

- a. $L > 3a$ (Largo mayor a tres veces su ancho)



- b. Su área en planta cumple con las condiciones siguientes



Su calificación será de 50 que corresponde a **vulnerabilidad alta**.

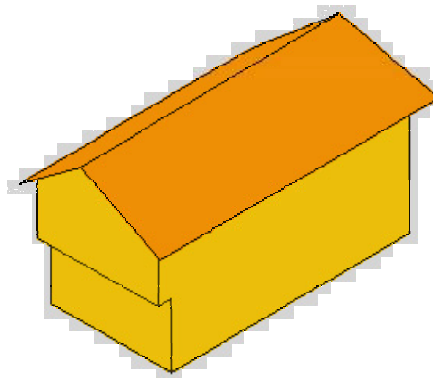
- **Configuración en Altura.**

Los criterios establecidos para la calificación de este parámetro se establecen a continuación:

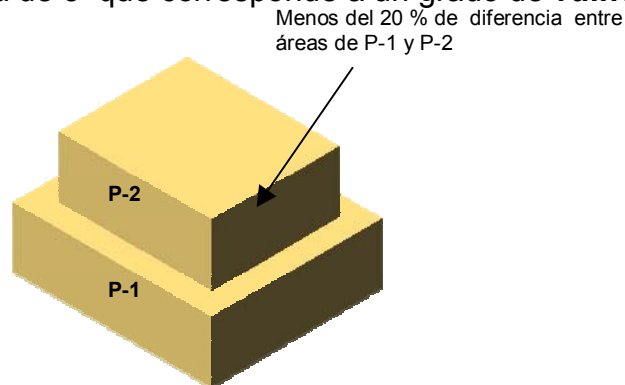
Regularidad en altura

La edificación es regular si:

- a. No presenta escalonamientos ni retrocesos o voladizos excesivos.

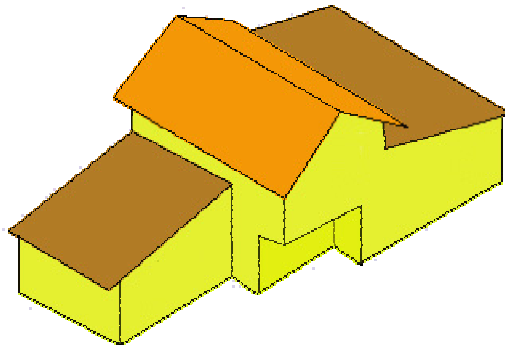


- b. la diferencia entre las áreas del piso inferior con respecto al superior no supera el 20 % y el piso superior está alineado con el piso inferior. Su calificación será de 5 que corresponde a un grado de **vulnerabilidad baja**.

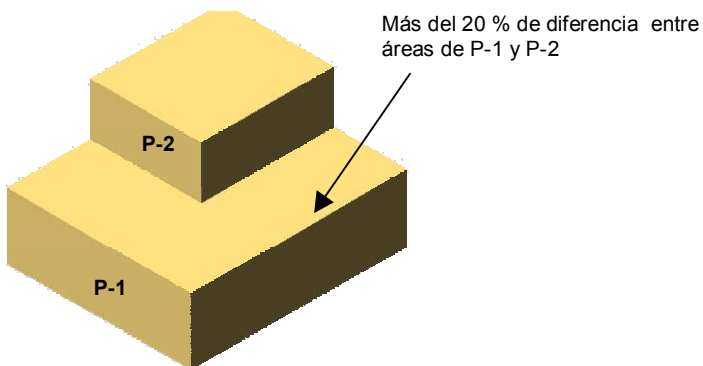


Irregularidad en altura

a. Presenta escalonamientos y retrocesos o voladizos excesivos



b. la diferencia entre las áreas del piso inferior con respecto al superior supera el 20 % y el piso superior de la edificación no está alineado con el piso inferior.



Este indicador recibe una calificación de 50 que corresponde a ***vulnerabilidad alta.***

4. Peso de la edificación.

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, el peso de una edificación influye de manera importante en el comportamiento sísmico del edificio. Entre más pesada sea una edificación las fuerzas actuantes sobre los componentes de la edificación serán mayores, lo que significa que si estas no están diseñadas para soportar este tipo de solicitaciones, podrán fallar ocasionando graves daños.

Se establecieron dos criterios que permiten de una manera cualitativa identificar los factores determinantes que inciden en el peso de una edificación, como el número de pisos y el peso de la cubierta, para los cuales se establecieron los siguientes criterios.

- **Número de pisos.**

Entre más pisos tenga una edificación su peso será mayor y por lo tanto las fuerzas inerciales se incrementarán.

Edificaciones de dos ó más pisos

Si la edificación tiene dos o más pisos, calificará con un valor de 50 que corresponde a ***vulnerabilidad alta***.

Edificaciones de un piso

Si la edificación es de un piso, calificará con un valor de 5 que corresponde a ***vulnerabilidad baja***.

- **Tipo de cubierta.**

Cuando una cubierta es muy pesada puede ocasionar un efecto de péndulo invertido causando grandes esfuerzos sobre los elementos de apoyo. Además, si no está debidamente amarrada o conectada con la estructura del edificio puede provocar la falla súbita de los muros de soporte, produciendo un efecto de volcamiento. Para calificar la incidencia del peso de la cubierta en el comportamiento sísmico de la edificación, se clasificaron según su peso.

Edificaciones con cubierta pesada

Pueden estar constituidas por teja de barro, por losas aligeradas ó macizas, y por la combinación de teja de barro más teja de asbesto cemento. La calificación asignada es 50 que corresponde a ***vulnerabilidad alta***.

Edificaciones con cubierta de peso moderado

Conformadas por teja de asbesto cemento. La calificación asignada es 25 que corresponde a ***vulnerabilidad moderada***.

Edificaciones con cubierta liviana

Conformadas por teja de zinc. La calificación asignada es de 5 que corresponde a ***vulnerabilidad baja***.

5. Rigidez de la edificación.

Esta propiedad constituye en factor importante dentro del comportamiento sísmico de una edificación, debido a que de ella dependen las deformaciones que pueda tener frente a las sollicitaciones sísmicas. De acuerdo con lo anterior una estructura muy flexible o poco sólida tiende a deformarse más y se pueden generar daños graves en paredes, elementos no arquitectónicos e instalaciones. Por lo tanto, debe existir una uniformidad en la distribución de la resistencia y ductilidad en cada uno de los componentes de la edificación. Para calificar la rigidez se determinaron los siguientes parámetros.

- **Cantidad de muros (resistencia sísmica de muros en las dos direcciones).**

Este indicador califica la vulnerabilidad sísmica en términos de la estimación de la mínima cantidad de muros que debe tener una edificación en cada una de sus dos direcciones, de acuerdo con su espesor y la zona sísmica en donde se encuentre. Para el cálculo de la longitud mínima de muros la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica establece la siguiente ecuación (A/S, 2001):

$$L_o = (M_o \times A_p)/t$$

Donde:

A_p = área en m² de la planta (Si la cubierta es liviana, lámina, asbesto cemento, A_p se puede multiplicar por 0.67).

t = espesor de muros en mm.

L_o = Longitud total de muros en una dirección.

Mo= coeficiente que se obtiene de la tabla siguiente.

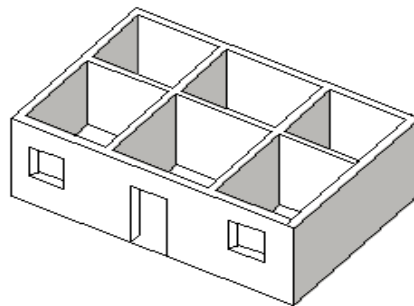
Tabla 18. Valor de (M_o) para distintas aceleraciones (A_a)

Zona sísmica	A_a	M_o
Alta	0.4	33
	0.35	30
	0.3	25
	0.25	21
Intermedia	0.2	17
	0.15	13
Baja	0.1	8
	0.05	4

Fuente: AIS, 2001

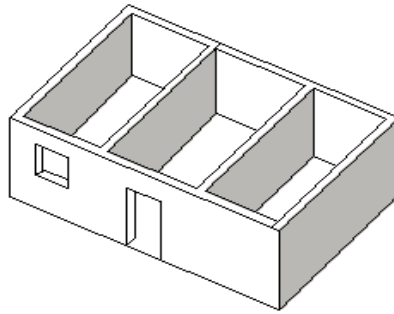
Cantidad óptima de muros

Sí existen muros estructurales en las dos direcciones principales de la edificación y estos están confinados o reforzados y hay una longitud total de muros en cada una de las dos direcciones principales al menos igual al valor dado por la ecuación arriba mostrada, la edificación calificará con un valor de 5 que corresponde a



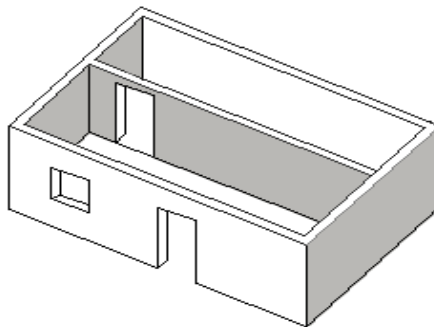
Cantidad aceptable de muros

Sí la mayoría de muros se concentran en una dirección, en un 60 %, ó los muros cumplen con la condición dada en la formula anterior, pero no están confinados ni reforzados, la edificación calificará con un valor de 25 que corresponde a ***vulnerabilidad moderada***.



Cantidad deficiente de muros

Más del 70 % de los muros están en una dirección ó la longitud total de muros estructurales en cualquier dirección es mucho menor que la calculada con la ecuación arriba expresada. La edificación calificara con un valor de 50 que corresponde a ***vulnerabilidad alta***.



- **Material de muros (calidad de la mampostería y morteros de pega).**

Califica la calidad de la mampostería utilizada en la construcción de las edificaciones del barrio San Antonio. La resistencia de la mampostería a la tracción y al corte depende principalmente del amarre o adherencia del contacto superficial entre la mampostería y el mortero.

El mortero usado para diferentes construcciones de muros varía en calidad así como en resistencia. Debido a que la resistencia a la tracción y al corte es importante en la resistencia sísmica en los muros de mampostería, el uso de barro o mortero pobre es perjudicial para su adecuado comportamiento sísmico. (*CISMID*, 1980). Cuanto más rico sea el mortero en contenido de cemento o cal, mas alto es el porcentaje de la resistencia a la tracción a al corte.

Cabe señalar que muchas de las fallas observado en terremotos anteriores en las construcciones de adobe se deben a la baja calidad de los adobes y los morteros de pega y a la poca resistencia inherente de este material a grandes esfuerzos y deformaciones (ausencia de ductilidad).

También es necesario considerar que edificaciones construidas en unidades de ladrillo cocido y pegados con morteros compuestos de cal y arena no ofrecen un adecuado comportamiento sísmico como el caso de muchas edificaciones afectadas por el terremoto de Cúcuta de 1981 (*Sarria*, 1985).

Se puede decir que las edificaciones construidas en unidades de mampostería de ladrillo pegados con morteros compuestos por cemento y arena, son más resistentes a fallar, a diferencia de los dos tipos de mampostería ya mencionado.

De acuerdo con lo anterior para el barrio San Antonio se establecieron los siguientes criterios que califican la vulnerabilidad, teniendo en cuenta el tipo de mampostería y mortero de pega utilizados.

Material de muros de comportamiento deficiente

Las edificaciones cuyos muros están conformados por unidades de mampostería de adobe y mortero de barro reciben una calificación de 50 que corresponde a ***vulnerabilidad alta***.

Material de muros de comportamiento aceptable

Las edificaciones cuyos muros están conformados por unidades de mampostería de ladrillo de arcilla cocida y mortero compuesto por cal y arena popularmente llamado “calicanto” ó “argamasa” reciben una calificación de 25, que corresponde a una ***vulnerabilidad moderada***.

Material de muros de comportamiento óptimo

Las edificaciones cuyos muros están conformados por unidades de mampostería de ladrillo de arcilla cocida y mortero compuesto por cemento y arena reciben una calificación de 5, que corresponde a una ***vulnerabilidad baja***.

- **Espesor de Muros.**

De acuerdo con la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2001), los muros portantes o estructurales de una de una edificación deben tener espesores mayores o iguales a los mínimos de acuerdo a la zona de amenaza sísmica de una región determinada. Entre mayor sea el espesor de los muros de una edificación, mayor será la resistencia a los esfuerzos generados por la carga sísmica, proporcionándole una mejor estabilidad así como una mejor transmisión de las cargas, tanto estáticas como dinámicas, y una mayor rigidez.

Tabla 19. Espesor mínimo de muros en centímetros

Amenaza sísmica	Número de niveles de construcción		
	Un piso	Dos pisos	
		1 piso	2 piso
Alta	11	11	10
Intermedia	10	11	9.5
Baja	9.5	11	9.5

Fuente (AIS, 2001)

Vale la pena señalar que los espesores de los muros para el barrio San Antonio se determinaron de acuerdo con las observaciones realizadas, el espesor promedio de muros de las edificaciones modernas es de 15 cm, para edificaciones republicanas y de tradición colonial es mayor a 40 cm y para edificaciones eclécticas es en promedio de 20 cm.

De acuerdo con la tabla anterior, se puede decir que las edificaciones del barrio San Antonio en un 100 % cumplen con las especificaciones mínimas de espesores de muros que establece la AIS. Para propósito de este estudio se plantean los siguiente criterios para la calificación de este indicador, teniendo como fundamento teórico que entre mayor sea el espesor de un muro mayor será su resistencia y estabilidad frente a las solicitaciones estáticas y dinámicas.

Espesor de muros ≤ 15 cm

Si el espesor de los muros es menor o igual a 15 cm, recibe una calificación de 50 que corresponde a ***vulnerabilidad alta***.

Espesor de muros > 15 cm < 40 cm

Si el espesor de los muros es mayor a 15 cm y menor a 40, recibe una calificación de 25, que corresponde a ***vulnerabilidad moderada***.

Espesor de muros ≥ 40 cm

Si el espesor de los muros es mayor a 40 cm, recibe una calificación de 5, que corresponde a ***vulnerabilidad baja***.

- **Altura de muros.**

De acuerdo con AIS (2001), los muros portantes o estructurales de edificaciones de 1 y 2 pisos no deben ser muy esbeltos. Entre mayor altura tenga un muro, dependiendo de las cargas a que sea sometido, tenderá a pandearse o a flexionarse, siendo expuesto a mayores deformaciones, afectando la rigidez global de la edificación. De esta forma, se sabe que la

altura de un muro no debe ser mayor a 20 veces su espesor (*CISMID*, 1980). En este orden de ideas, se establecieron los siguientes criterios para la calificación de la vulnerabilidad por altura de muros:

Altura óptima de muros

Si la altura de los muros es menor o igual a 20 veces su espesor recibirá una calificación de 5, lo cual corresponde a ***vulnerabilidad baja***.

Altura de muros deficiente

Si la altura de los muros es mayor a 20 veces su espesor, recibirá una calificación de 50, que corresponde a una ***vulnerabilidad alta***.

6. Elementos no estructurales.

En este indicador se tiene en cuenta la presencia de áticos o parapetos, cornisas, aleros, voladizos, adornos, antepechos o cualquier otro elemento no estructural, que pueda fallar o causar daño a las personas. De acuerdo con la anterior se establecieron los siguientes criterios de calificación:

Elementos no estructurales susceptibles a caerse

Si el edificio presenta elementos no estructurales susceptibles a caerse como los mencionados anteriormente, calificará con 50, lo cual significa ***vulnerabilidad alta***.

Elemento no estructurales bien amarrados

Si no presenta elementos no estructurales susceptibles a caerse como los mencionados anteriormente, la edificación calificará con 5, lo cual significa ***vulnerabilidad baja***.

7. Suelo y cimentación.

Las características geotécnicas de los depósitos sobre el cual se asienta una edificación influyen en la respuesta sísmica de la misma. Las cimentaciones o el sistema de apoyo sobre el cual la edificación transmite sus cargas puede ser afectada por hundimientos, deslizamientos o pérdidas de la capacidad portante del suelo, lo cual puede hacer altamente vulnerable una edificación. Se definieron 3 parámetros o indicadores que pueden caracterizar la vulnerabilidad de una edificación sobre un tipo de suelo determinado estos son:

- **Coeficiente de sitio.**

Con base en la zonificación preliminar de coeficientes de sitio realizadas por el Observatorio Sismológico del SurOccidente OSSO, se definen los siguientes criterios para la calificación de la vulnerabilidad. Estos son:

Perfil de Suelo S-1

Si la edificación se asienta sobre un tipo de perfil de suelo S1, se califica con 5, que corresponde a ***vulnerabilidad baja***.

Perfil de suelo S-2 ó S-3

Si la edificación se asienta sobre un tipo de perfil de suelo S2 o S3, se califica con 25, que corresponde a vulnerabilidad moderada.

Perfil de suelo S-4

Si la edificación se asienta sobre un tipo de perfil de suelo S4, se califica con 50, que corresponde a ***vulnerabilidad alta***.

- **Terreno de fundación.**

Este parámetro califica el grado de consistencia del suelo y la estabilidad de los depósitos de suelo sobre los cuales se asientan las edificaciones, a partir de los siguientes criterios:

Suelo de consistencia firme

Si la edificación se asienta sobre un suelo de consistencia firme, calificará con 5, que corresponde a ***vulnerabilidad baja***.

Suelo de consistencia intermedia

Si la edificación se asienta sobre un suelo de consistencia mediana, calificará con 25, que corresponde a ***vulnerabilidad moderada***.

Suelo de consistencia blanda

Si la edificación se asienta sobre un suelo de consistencia blanda, calificará con 50, que corresponde a ***vulnerabilidad alta***.

- **Posición del edificio y la cimentación.**

Con este parámetro se evalúa, hasta donde sea posible, por medio de una inspección visual la influencia del terreno y la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio, para ello, se tienen en cuenta la pendiente del terreno y el tipo de cimentación de la edificación. Los criterios para la calificación de la vulnerabilidad son:

Pendiente del terreno $\leq 30\%$

Si la edificación está asentada sobre una pendiente inferior o igual al 30% y su cimentación tiene presencia de vigas de amarre, recibe una calificación de 5, que corresponde a ***vulnerabilidad baja***.

Pendiente del terreno $> 30\%$ y $< 50\%$

Si la edificación está asentada sobre una pendiente entre el 30% y el 50%, recibe una calificación de 25, que corresponde a ***vulnerabilidad moderada***.

Pendiente del terreno $> 50\%$

Si la edificación está asentada sobre una pendiente mayor al 50%, recibe una calificación de 50, que corresponde a ***vulnerabilidad alta***.

8. Estado de conservación.

Este parámetro tiene en cuenta el estado de conservación en que se encuentre la edificación y califica su vulnerabilidad de acuerdo con los siguientes criterios:

Edificación en buen estado

Si la edificación está en buen estado, es decir, la estructura, la unidad de construcción y el aspecto físico demuestran calidad, resistencia y conservación, recibe una calificación de 5 que corresponde a vulnerabilidad, que corresponde a una ***vulnerabilidad baja***.

Edificación en regular estado

Si la edificación está en regular estado, es decir, la estructura, la unidad de construcción y el aspecto físico demuestran que ha sufrido deterioro en cuanto a calidad, resistencia y conservación, recibe una calificación de 25 que corresponde a una ***vulnerabilidad moderada***.

Edificación en mal estado

Si la edificación está en mal estado, es decir, cuando la construcción ha entrado en un franco deterioro de la estructura, unidad arquitectónica y estado ruinoso de los materiales con que fue construida, recibe una calificación de 50 que corresponde a una ***vulnerabilidad alta***.

6.3.3 Ventajas de la metodología.

- **Diagnóstico inicial.**

La metodología permite obtener como resultado un estudio preliminar que se constituye en una base para el posterior desarrollo de diagnósticos de mayor grado de precisión, cuyo fin es identificar las edificaciones y las posibles causas de daño sísmico de mayor prioridad para la intervención de la vulnerabilidad.

- **Flexibilidad - grado de detalle.**

Este método permite fácilmente la consideración de un menor o mayor número de indicadores de vulnerabilidad, dependiendo del grado de detalle que se requiera y de los resultados esperados.

- **Análisis global y análisis particular.**

También es posible analizar de manera particular la influencia de cada indicador en la vulnerabilidad física-global de la edificación, lo que significa que es posible a partir de la identificación de los elementos susceptibles de sufrir o generar daño sísmico, establecer acciones más directas conducentes a la intervención de la vulnerabilidad, es decir, mitigar el riesgo.

- **Conocimiento integral de la zona de estudio.**

Otra ventaja del método, es que permite un conocimiento más profundo de la realidad de la vulnerabilidad y del riesgo de una localidad o un sector de la ciudad, debido a que se deben tener en cuenta las características constructivas, arquitectónicas, estructurales y de conservación.

- **Integración con SIG - Sistema de Información Geográfica .**

Se puede integrar con un sistema de información geográfico, el cual muestra la distribución espacial de los escenarios en la zona de estudio, con mayor susceptibilidad al daño sísmico, además, de las zonas más vulnerables de acuerdo con los criterios establecidos. La herramienta del SIG, facilita el análisis y la representación de los resultados gráficamente en mapas.