

3. MARCO TEÓRICO.

3.1. CONCEPTOS GENERALES.

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.

3.1.1. Desastre.

Es importante hacer una adecuada definición de este término, teniendo en cuenta no solamente el grado de destrucción, las pérdidas de vidas humanas y daños económicos que ocasiona en una determinada región, sino también los procesos sociales que generan condiciones de vulnerabilidad y que, por lo tanto condicionan su ocurrencia. Es decir, el desastre no será el fenómeno natural o humano, sino la relación de este con un contexto social, y solamente ocurrirá cuando los efectos del fenómeno superen la capacidad material, social, política, económica e institucional de la población para evitar sus efectos negativos (LA RED, 1995).

3.1.2. Amenaza sísmica.

Se entiende por amenaza, al peligro latente asociado a un fenómeno físico, de origen natural o tecnológico, que puede presentarse en un lugar específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, bienes y el medio ambiente. Además, se puede definir como la probabilidad de ocurrencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de un área dada, de un evento potencialmente dañino generado por la ocurrencia de un fenómeno natural o por la actividad del hombre (UNDRO, 1979; Caicedo et al, 1994). La amenaza sísmica varía de un lugar a otro debido a la frecuencia e intensidad de los sismos que se presenten en determinada región (AIS, 2001).

Para identificar la existencia de amenaza sísmica, es necesario llevar a cabo estudios del medio que combinen el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora de sismos y la probabilidad de que un fenómeno, con una magnitud determinada, pueda ocurrir. La realización de estos estudios, permite adelantar acciones para reducir los efectos producidos por un sismo en las personas y edificaciones de una región (LA RED, 1995).

3.1.3. Magnitud de un sismo.

Es una medida de la energía liberada por un sismo que no varía con la distancia al epicentro y se determina conociendo los registros de las ondas sísmicas en un sismógrafo situado a una distancia determinada del epicentro (García, 1998). La escala de magnitud fue originada en 1931 por K. Wadati, en Japón, y desarrollada por Richter en 1935, en California, además, debido a que las fuentes sísmicas se encuentran a cualquier distancia de una estación sismográfica, Richter también desarrolló un método para tener en cuenta la atenuación de la onda sísmica en el cálculo de la magnitud (Bolt, 2000). Es una escala logarítmica y por lo tanto, pasar

de un grado a otro significa un cambio considerable de energía liberada (Peraffán, 1978).

3.1.4. Intensidad de un sismo.

Es una medida subjetiva de los efectos y daños causados por un sismo en las personas y en las edificaciones, la cual se obtiene por medio de observadores, que se desplazan a las diferentes zonas afectadas por el sismo y allí asignan la intensidad para cada sitio, de acuerdo con los efectos observados. Por lo tanto, no es una medida única para un sismo, dado que el efecto producido en diferentes lugares por el mismo sismo es distinto y que, en la medida que el lugar se encuentre más alejado de la zona epicentral, menores serán los efectos (García, 1998). La escala de intensidad más utilizada es la de Mercalli Modificada (MM), que depende de la calidad de las construcciones y del grado de objetividad de las personas del lugar donde se haga la medición. Esta escala esta ordenada de menor a mayor grado de destructibilidad y esta definida desde el grado I, que indica que es sólo detectable por instrumentos muy sensibles como los sismógrafos, hasta el grado XII correspondiente a la destrucción total de la mayoría de las edificaciones (Peraffán, 1978).

3.1.5. Efectos locales.

Se definen como la variación de una señal sísmica entre dos puntos próximos, debido a la configuración geológica del lugar que se caracteriza por su geometría y sus propiedades dinámicas. Algunas de estas propiedades son las velocidades de onda S y P, la densidad, el módulo de corte y el coeficiente de amortiguamiento (García, 1998), siendo éstas un factor determinante en las características del

espectro de respuesta, debido a que influyen directamente en su amplitud, contenido frecuencial y duración (García y Alfaro, 2002).

Por medio de los Estudios de Microzonificación se pueden conocer las condiciones del suelo para cada zona, de una ciudad o región, con propiedades dinámicas similares permitiendo elaborar un espectro de respuesta para cada una, sin embargo, cuando se carece de una microzonificación se hace necesario emplear el espectro definido por la Norma Colombiana de Diseño Sismo Resistente, NSR -98, para el diseño sísmico de estructuras.

De acuerdo con el Título A de la NSR-98, los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación deben evaluarse con base en los perfiles del suelo característicos S1, S2, S3 y S4, definidos de acuerdo con la conformación del terreno del lugar. Para tener en cuenta estos efectos, la Norma considera un coeficiente de sitio, S, cuyos valores varían entre uno y dos de acuerdo al perfil de suelo que se identifique en la zona (AIS, 1997).

3.1.6. Amenazas colaterales o efectos de segundo orden.

Surgen como consecuencia de las vibraciones producidas por un sismo y pueden ocasionar pérdidas considerables. Las más comunes son deslizamientos y licuación de suelos, incendios e inundaciones.

El método usado para evaluar estas amenazas, es el mismo utilizado para estimar la vibración directa del suelo, el cual consiste en determinar qué tan grave puede ser la amenaza, calcular el área que puede verse afectada y con que rapidez puede ocurrir el fenómeno. Está de más decir, que la realización de estudios que permitan identificar este tipo de amenazas, son una herramienta importante para el desarrollo de planes de prevención y mitigación de desastres (Campos, 1992).

3.1.7. Vulnerabilidad sísmica.

La vulnerabilidad es la medida de la susceptibilidad o la predisposición intrínseca de los elementos expuestos a una amenaza, a sufrir daño o pérdidas (Wong et al, 1997). Además, es una característica dependiente de la forma como haya sido diseñada y construida la edificación, e independiente de la amenaza sísmica del sitio donde esté ubicada. Todo sistema constructivo susceptible de ser afectado por un terremoto, puede ser objeto de un estudio de vulnerabilidad, es decir, líneas vitales, puentes, edificaciones, entre otros (UNDRO, 1979).

Entender la vulnerabilidad de las edificaciones requiere identificar los factores de tipo social y físico - técnicos, sobre los cuales se debe actuar para reducir los efectos causados por la presencia de fenómenos naturales o antrópicos. Dentro de los factores determinantes en la vulnerabilidad de una región, se encuentran el establecimiento de asentamientos humanos en zonas con un alto grado de amenaza y la falta de planeación del desarrollo urbano de distintas regiones y comunidades. La presencia de estos asentamientos no solo se debe a la falta de conocimiento de la población, sino también a que no hay más opciones ni recursos para elegir terrenos más seguros (LA RED, 1995).

Para obtener resultados aceptables en un estudio como el que se plantea en este proyecto, se deben considerar conjuntamente los componentes estructural, no estructural y funcional de la vulnerabilidad de cada edificación perteneciente al universo en estudio. De allí la importancia de comprender estos conceptos dentro de la evaluación que se realice, pero no concebidos como aspectos independientes, sino como un conjunto de parámetros que actúan de manera integrada para determinar el grado de vulnerabilidad de una edificación.

- **Vulnerabilidad estructural.**

Este componente de la vulnerabilidad también se conoce como vulnerabilidad física, hace referencia al grado de afectación que pueden sufrir los elementos estructurales de una edificación y está relacionada con la capacidad que tiene una estructura para soportar las solicitaciones a las que se ve sometida en el momento de un sismo (Wong et al, 1997).

- **Vulnerabilidad no estructural.**

Está asociada a los daños que puedan tener los sistemas arquitectónicos de una edificación que, en términos económicos y de vidas humanas, pueden ser tan importantes como los daños estructurales (Wong et al, 1997).

- **Vulnerabilidad funcional.**

Se define en términos de los efectos de un desastre en el buen funcionamiento y desempeño de una edificación de acuerdo con su función (Wong et al, 1997). La Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR – 98, le da una importancia especial a la vulnerabilidad funcional, clasificando aquellas construcciones que tienen que seguir cumpliendo con su función y operación después de ocurrido cualquier evento o fenómeno sísmico, como edificaciones indispensables (AIS, 1997).

3.1.8. Riesgo sísmico.

Se define como la probabilidad esperada de pérdidas de vidas y la posibilidad de que se presenten efectos económicos, sociales, físico – técnicos y ambientales,

como consecuencia de la materialización de la amenaza y del contexto social y ambiental que facilitan la ocurrencia de los desastres (UNDRO, 1979).

Conociendo la amenaza de una zona y la vulnerabilidad de los elementos que se encuentran en ella, se puede determinar el riesgo al que están sometidas. Por lo anterior, se puede expresar el riesgo sísmico como una función de la amenaza sísmica y de la vulnerabilidad de las edificaciones, de la siguiente manera (Wong et al, 1997):

$$\text{Riesgo Sísmico} = \text{Amenaza Sísmica} \times \text{Vulnerabilidad}$$

3.2. MÉTODOS PARA EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES.

Actualmente existen una gran cantidad de herramientas metodológicas para la determinación del grado de vulnerabilidad, las cuales pueden ser adaptadas a un estudio en una zona específica. Estos métodos se clasifican en Analíticos y Cualitativos.

En los trabajos de grado relacionados con estudios de vulnerabilidad de edificaciones existentes, llevados a cabo en la Universidad del Valle en los últimos dos años, se han hecho recopilaciones detalladas de los métodos que se han desarrollado en el mundo, para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras (Chavarría y Gómez, 2001; Peralta, 2002). Por esta razón, a continuación se hará solo una breve descripción de los métodos estudiados y los parámetros que tienen en cuenta para evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones.

3.2.1. Métodos analíticos.

Tienen su fundamento en un modelo calibrado que tiene en cuenta el análisis dinámico inelástico del edificio, que permite conocer el proceso de plastificación paso a paso y el posterior colapso de la estructura. La aplicabilidad de estos métodos ha sido muy discutida, ya que requieren una alta complejidad en el modelo utilizado y la evaluación del comportamiento de las edificaciones ante la posible ocurrencia de sismos de diferentes magnitudes, con el fin de cubrir las posibilidades de acción sobre la estructura (Construweb, 2001).

Entre los métodos más usados están el Método NSR-98, el Método FEMA 178, el Método ATC-14 y el Método FEMA-273 y son descritos brevemente a continuación.

- **Método NSR-98.**

En el capítulo A-10 de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR – 98, se presenta una descripción de este método y los criterios que tiene en cuenta para evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de dicha Norma.

Para llevar a cabo una evaluación de vulnerabilidad empleando este método, se debe realizar un análisis elástico dinámico de la estructura que permita estudiar su comportamiento y saber si cumple con los requisitos exigidos por la norma sísmica vigente. Con los resultados obtenidos de este análisis y las capacidades actuales calculadas en los elementos, se calculan los índices de sobre-esfuerzo y los índices de flexibilidad de los pisos cuyos valores inversos definirán el grado de vulnerabilidad de la estructura.

Se puede decir que el objetivo de este método es hallar los puntos débiles y posibles zonas de las estructuras que puedan causar pérdidas de vidas ante los eventos sísmicos (Palomino, 1999).

- **Método FEMA – 178.**

El Building Seismic Safety Council de EE.UU desarrollo este método, el cual es empleado para realizar la evaluación y el diagnóstico sísmico de cualquier edificación existente. Las guías y procedimientos del FEMA-178 son utilizados únicamente para evaluar la capacidad de la edificación en cuanto a si es peligrosa para ser ocupada o no, y no evalúa el uso de la estructura después del terremoto (Palomino, 1999).

La metodología del FEMA-178 plantea una serie de interrogantes para el sistema estructural, pórticos resistentes a momento, diafragmas, conexiones y amenazas geológicas, entre otros, los cuales están diseñados para descubrir defectos, puntos débiles o zonas vulnerables de la edificación. El análisis realizado por medio de este método se debe llevar a cabo mediante procedimientos simples y en caso de resultar que la edificación es cuestionable, se deberá realizar una investigación más detallada como la del NSR-98 o la del FEMA-273 (Palomino, 1999).

- **Método del ATC-14.**

Hace énfasis en la determinación de los “puntos débiles del edificio” con base en la observación de daños en edificios similares, producidos por eventos sísmicos anteriores.

Para determinar la vulnerabilidad de una edificación, se deben calcular los esfuerzos cortantes actuantes y los desplazamientos relativos del entrepiso. Con las fuerzas cortantes en los entrepisos se calcula el esfuerzo promedio (V_{av}) de los

elementos resistentes verticales del edificio, el cual se compara con el esfuerzo estimado del material mediante la relación $V_{av}/4.26$; si esta relación es menor que uno indica que la estructura presenta problemas de corte y que requiere de un análisis estructural más detallado (Cardona, 1990; Chavarría y Gómez, 2001).

- **Método FEMA-273.**

Está diseñado para identificar los elementos estructurales que podrían tener un mal comportamiento frente a la ocurrencia de un evento sísmico, porque tienen poca capacidad o resistencia. Además, define diferentes técnicas y criterios de diseño que permiten alcanzar diferentes niveles de desempeño sísmico de la edificación. Dentro de los niveles de desempeño sísmico se encuentran, el Nivel Operacional, Nivel de Ocupación Inmediata, Nivel de Protección de la Vida y el Nivel de Prevención de Colapso y su escogencia depende del comportamiento que se espere de la edificación durante y después de un sismo.

El procedimiento del FEMA-273 permite hacer una Rehabilitación Simplificada o una Rehabilitación Sistemática. La Rehabilitación Simplificada es usada para edificaciones bajas, de configuración geométrica sencilla y generalmente en zonas de amenaza sísmica baja e intermedia. La Rehabilitación Sistemática, se basa en el comportamiento no lineal de la respuesta de la estructura y revisa cada elemento estructural, para verificar la interacción aceptable de los desplazamientos esperados y de las fuerzas internas en los elementos estructurales (Palomino, 1999).

3.2.2. Métodos cualitativos.

Para realizar el estudio de vulnerabilidad de un conjunto de edificios, se han desarrollado múltiples métodos cualitativos que permiten hacer la evaluación de

forma rápida y sencilla. Estos métodos son usados para obtener un estimativo de la vulnerabilidad de las edificaciones, lo que permite conocer el comportamiento de una zona urbana ante la ocurrencia de algunos fenómenos naturales, proporcionando con esto una herramienta muy importante para los planes de prevención y mitigación de desastres.

Dentro de los métodos cualitativos que han sido desarrollados se encuentran las Técnicas de Screening, el Método ATC-21, el Método NAVFAC, los Métodos japoneses, el Método venezolano, el Método I.S.T.C., el Método del índice de vulnerabilidad, el Método de la AIS y el procedimiento propuesto por Cardona y Hurtado (Chavarría y Gómez, 2001).

- **Método ATC – 21.**

Conocido también como el Método de Revisión por Filtro de Peligros Sísmicos Potenciales en edificaciones existentes, es un método muy sencillo que se basa en darle una calificación inicial a la edificación, a la cual se le suman o restan puntos a medida que avanza la revisión y se filtran las características estructurales de la misma. Esta calificación inicial depende del tipo de estructura y del sistema de resistencia sísmica que tenga el edificio.

Los parámetros que este método tiene en cuenta para sumar o restar al puntaje inicial son la altura del edificio, las irregularidades geométricas, la flexibilidad de los pisos y la existencia de torsión en planta. La calificación obtenida al final de la revisión varía entre 0 y 6, siendo 2 la calificación sugerida como límite para definir la seguridad de la edificación. El resultado de la evaluación por este método puede ser considerado como una evaluación preliminar y, de obtener que un edificio es inseguro, deberá ser evaluado utilizando los procedimientos del NSR-98 o del FEMA-273 (Palomino, 1999).

- **Método NAVFAC.**

Determina el índice de daños que un sismo determinado puede causar en una estructura, evaluando la capacidad de la misma por medio del coeficiente de corte basal resistente (C_b), el desplazamiento al tope de la estructura (S) y el periodo fundamental (T). Si el índice de daño global (I_g) es mayor que el 60 % se debe proceder a realizar una evaluación más detallada de la estructura (Cardona, 1990).

- **Métodos japoneses.**

Su procedimiento consiste en la determinación de un índice sísmico (I_s) que representa el comportamiento global de un entrepiso y depende de subíndices que caracterizan el comportamiento estructural de la edificación, el movimiento del terreno, la distribución de masas y rigideces, el deterioro con el tiempo, la importancia, edad y uso de la estructura (Cardona, 1990; Organización Panamericana de la Salud, 1993).

- **Método venezolano.**

El procedimiento propuesto en este método evalúa cortes por separado y calcula el índice sísmico por medio de una ecuación en la cual intervienen el cociente entre la fuerza cortante resistente del entrepiso y la fuerza sísmica cortante (E), un índice que representa las condiciones de irregularidad en planta y en elevación (D) y otro que representa las condiciones de deterioro en el tiempo (T) (Cardona, 1990; Jaramillo y Trujillo, 1999).

Los índices que intervienen en la ecuación del índice sísmico se obtienen a partir de tablas desarrolladas por los creadores del método, para dar valores a los coeficientes que se emplean en el cálculo de dichos índices. Para el índice de deterioro los valores de los coeficientes se definen de acuerdo con parámetros que

involucran la inspección de aspectos como deflexiones, presencia de grietas en elementos estructurales, de columnas cortas, cambios de uso de las edificaciones, edad del edificio, estado de mantenimiento y ampliaciones o remodelaciones. Para el índice de irregularidad en planta y elevación tiene en cuenta la relación entre largo y ancho de la edificación, las discontinuidades del diafragma, los retrocesos, la presencia de planta baja libre, la uniformidad de las alturas de piso y el golpeteo.

- **Método del I.S.T.C.**

Determina la vulnerabilidad de un grupo de edificios cuya estructura está soportada por muros de mampostería de tipologías y características constructivas similares, evaluando la capacidad resistente del edificio por medio de dos parámetros, I_1 e I_2 , que representan los dos posibles modos de rotura en los muros. Con estos índices se calcula el índice I_3 , que es utilizado para determinar, en conjunto con los otros dos, la vulnerabilidad del edificio sobre la base de la Función de Vulnerabilidad propuesta por el I.S.T.C. (Bernardini et al, 1992).

- **Método del índice de vulnerabilidad.**

Evalúa la vulnerabilidad de un edificio utilizando un formulario de levantamiento en el que se han recopilado, a través de los años, algunos de los parámetros más importantes que controlan el daño en los edificios. Dichos parámetros son la organización y calidad del sistema resistente, la resistencia convencional de los materiales, la posición del edificio y de la cimentación, los diafragmas horizontales, la configuración en planta y en elevación, la distancia máxima entre muros, el tipo de cubierta, los elementos no estructurales y el estado de conservación del edificio. La combinación de estos parámetros, por medio de una escala predefinida, en un único valor numérico llamado índice de vulnerabilidad es lo que hoy en día se conoce como el método del índice de vulnerabilidad.

El índice de vulnerabilidad de una edificación, se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales, que se considera juegan un papel importante en el comportamiento sísmico de las estructuras.

Actualmente, se reconoce que este método sólo puede dar una estimación aproximada de la vulnerabilidad de los edificios, que permita tomar las decisiones pertinentes durante los planes de mitigación de desastres (Augusti et al, 1985).

- **Método de la AIS.**

Determina la vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería, evaluando sus aspectos geométricos, constructivos y estructurales. Dentro de los aspectos que se evalúan están, la irregularidad en planta y en altura, la cantidad de muros, la calidad de las juntas de pega en mortero y de los materiales, las vigas de amarre, los muros confinados y reforzados, cimentación, suelos, entorno, entre otros. Cada uno de ellos se califica mediante la visualización y la comparación con patrones generales. Esta calificación se realiza en tres niveles: vulnerabilidad baja, vulnerabilidad media y vulnerabilidad alta.

Finalmente, después de que se haya obtenido y calificado toda la información requerida, se hace una calificación global de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda, con base en las deficiencias que presente en cualquiera de los aspectos estudiados (AIS, 2001).

- **Procedimiento propuesto por Cardona y Hurtado.**

Este procedimiento fue concebido desde el principio para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de uno y dos pisos para una zona determinada, pero se puede adaptar fácilmente a otras condiciones sísmicas ya que considera efectos

locales. Relaciona directamente el grado de vulnerabilidad dependiente de la demanda de ductilidad, con la descripción de los posibles efectos sísmicos sobre la estructura (Cardona y Hurtado, 1990).

3.3. MÉTODO SIMPLIFICADO PARA ESTIMAR VELOCIDADES Y ACCELERACIONES MÁXIMAS EN EDIFICIOS.

3.3.1. Descripción.

El método fue desarrollado con base en un modelo continuo que combina la aplicación de un análisis modal con un modelo simplificado, para estimar las aceleraciones absolutas máximas en edificios al ser sometidos a movimientos sísmicos. El modelo que plantea consiste en una viga vertical equivalente en voladizo que combina las deformaciones laterales de flexión y cortante, el cual, a partir del período fundamental de vibración de la edificación y de un parámetro adimensional que mide el grado de participación de las deformaciones laterales por flexión y cortante, permite determinar los períodos de vibración correspondientes a los modos superiores, las formas modales y los factores de participación modal del edificio.

La importancia de este modelo radica en que para estimar las posibles pérdidas por sismo en una edificación, o para realizar un mejor diseño de la estructura intentando limitar los daños en la misma, es necesario estimar las velocidades y aceleraciones que pueden ocurrir en los diferentes pisos de un edificio (Miranda, 2001).

3.3.2. Aplicabilidad.

Es recomendable aplicar este método cuando se desea realizar este tipo de análisis para un número elevado de inmuebles o para estimar los posibles daños en edificaciones existentes. Sin embargo, el método es aplicable solamente en edificios altos y en edificaciones en las que la base del sistema estructural sean marcos, muros de rigidez o la combinación de estos elementos. Además, la rigidez lateral de la estructura debe permanecer constante en toda la altura del edificio.

Por otro lado, el método utiliza un análisis modal que solamente tiene en cuenta los tres primeros modos de vibración de la estructura, por lo que su aplicabilidad se limita para edificios en suelos blandos en los que la participación de los modos superiores es menor. Si esta metodología desea aplicarse en estructuras sobre suelos firmes se debe considerar una incertidumbre considerable en los resultados, debido a que el contenido de frecuencias del movimiento del terreno incrementa la participación de los modos (Miranda, 2001).

3.4. MUESTREO ESTADÍSTICO.

El objetivo de un estudio estadístico es, principalmente, analizar y evaluar determinados parámetros de una población. Cuando esta población es grande y no puede ser estudiada en su totalidad, es necesario definir y justificar la utilización de técnicas de muestreo que permitan realizar la escogencia de una muestra representativa de la misma (Cochran, 1980).

Realizar una evaluación detallada de todas las edificaciones escolares oficiales de la ciudad, está por fuera de los alcances de este trabajo, es por esta razón que la definición de técnicas de muestreo es tan importante para lograr un trabajo de

campo con menos personal y con un menor volumen de información reduciendo los costos, haciendo más rápida la evaluación y, a su vez, permitiendo una precisión considerable.

3.4.1. Población, censo y muestra.

Las muestras se emplean como un medio para acercarse al conocimiento de la realidad. Sin embargo, para que a través ellas sea posible reproducir el universo con la precisión que se requiera en cada caso, es necesario que el diseño muestral cumpla los principios de las técnicas de muestreo. Los conceptos fundamentales que permiten tener una idea clara de los métodos de muestreo más utilizados son: población, censo y muestra. A continuación, se presentan las definiciones de estos conceptos.

- **Población.**

La palabra población es empleada para indicar la totalidad del universo que interesa considerar, y que se requiere esté bien definido para que, en todo momento, se tenga claro qué elementos lo componen. No obstante, teniendo en cuenta las limitaciones para la obtención de información, cuando se realiza un trabajo puntual, conviene distinguir entre la población objetivo, definida como el conjunto de elementos a los cuales se quiere extrapolar los resultados, y la población estudiada, definida como el conjunto de elementos accesibles en el estudio (Sánchez, 1980; Cochran, 1980).

- **Censo.**

Es el estudio de todos los elementos que componen la población. La realización de un censo no siempre es posible por los costos en tiempo y dinero, las posibles

pruebas destructivas a las que haya que someter a los elementos y el tamaño de la población sea infinito o tan grande que exceda las posibilidades del investigador (Zarkovich, 1967). Según Sánchez (1980) si el estudio de estos elementos se realiza sobre la población estudiada, y no sobre la población objetivo, entonces el proceso recibe el nombre de marco o espacio muestral.

- **Muestra.**

Se entiende por muestra a una parte representativa de la población, la cual debe reunir las similitudes, las diferencias y las características de ésta que sean importantes para la investigación. La selección de una muestra se recomienda cuando no es posible o recomendable realizar un censo de la población que se desea estudiar (Campos, 1992).

3.4.2. Tamaño de la muestra.

La determinación del tamaño óptimo de la muestra se debe realizar teniendo en cuenta que debe ser lo suficientemente pequeña, para lograr que el costo del estudio sea bajo, y lo suficientemente grande, para que el error del muestreo sea admisible. La estimación del tamaño de la muestra se puede hacer partiendo de un conocimiento del nivel de precisión deseado, los costos relativos y el tiempo requerido (Cochran, 1980).

Debido a la complejidad del cálculo del tamaño de la muestra con respecto a todas las características del programa censal, es aconsejable, en tales casos, seleccionar un cierto número de características que se consideren fundamentales para el uso que se quiera hacer de los datos, y calcular el tamaño de la muestra respecto a ellos (Cochran, 1980). Por lo tanto, para calcular el tamaño de la muestra, es recomendable realizar encuestas preliminares que permitan tener un mejor

conocimiento de los parámetros de evaluación y de la variabilidad de las características dentro de los elementos objeto de estudio (Campos, 1992).

3.4.3. Métodos de muestreo.

Los métodos desarrollados para realizar muestreos estadísticos, se clasifican en métodos de muestreo probabilístico y métodos de muestreo no probabilístico. De acuerdo con las recomendaciones del profesor Roberto Behar en Campos (1992), se puede establecer que los métodos de muestreo que más se adaptan a una evaluación de la vulnerabilidad sísmica son los probabilísticos. Los métodos probabilísticos son aquellos en los que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte de una muestra y, por consiguiente, todas las posibles muestras de tamaño n tienen la misma probabilidad de ser elegidas. Solo esta clase de métodos de muestreo nos aseguran la representatividad de la muestra extraída y por esta razón son los más recomendables. A continuación, se presenta una breve descripción de estos métodos.

▪ Muestreo aleatorio simple.

Es un método de selección de n unidades en un conjunto de N de tal modo que cada una de las combinaciones tengan la misma oportunidad de ser elegidas. El procedimiento empleado consiste en asignar un número a cada individuo de la población y a través de algún medio mecánico elegir tantos sujetos como sea necesario para completar el tamaño de la muestra requerido. Este procedimiento tiene muy poca o nula utilidad práctica cuando la población que se quiere estudiar es muy grande (Cochran, 1980).

- **Muestreo aleatorio sistemático.**

De acuerdo con lo planteado por Cochran (1980), esta técnica exige, como la anterior, numerar todos los elementos de la población, de los cuales se extrae un número aleatorio. Después, a partir de este número aleatorio i se definen los elementos que integran la muestra como $i, i+k, i+2k, i+3k, \dots, i+(n-1)k$, donde k es el resultado de dividir el tamaño de la población entre el tamaño de la muestra.

- **Muestreo aleatorio estratificado.**

En Sánchez (1980) se plantea que esta técnica implica una división de la población en categorías típicas diferentes entre sí llamadas estratos, los cuales presentan una gran homogeneidad respecto a alguna característica específica de la población. Cada estrato funciona independientemente, lo que permite la aplicación simultánea de métodos de muestreo diferentes para elegir los elementos específicos que formarán parte de la muestra. Los criterios de estratificación, su número y el de estratos dependen de los objetivos concretos de cada caso, de la información disponible y de la estructura de la población; las variables utilizadas para la estratificación deben estar correlacionadas con las variables objeto de la investigación.

- **Muestreo aleatorio por conglomerados.**

Este tipo de muestreo se utiliza cuando no existe un listado de las unidades o estas se encuentran demasiado dispersas. En este caso, la unidad muestral es un grupo de elementos de la población que forman una unidad denominada conglomerado. El muestreo por conglomerados consiste en seleccionar aleatoriamente un número determinado de conglomerados y en estudiar cada uno de sus elementos (Sánchez, 1980; Zarkovich, 1967).

Según Cochran (1980), ante lo compleja que puede llegar a ser la situación real de un muestreo determinado y dado que en la mayor parte de las aplicaciones, las unidades conglomerados (como son municipios, ciudades o manzanas de una ciudad) contienen números diferentes de elementos o subunidades (como son regiones geográficas, viviendas o personas), se recomienda emplear el muestreo polietápico. Este tipo de muestreo se caracteriza por operar en sucesivas etapas, empleando en cada una de ellas el método de muestreo probabilístico más adecuado.