

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**APLICACIÓN DEL SIG EN LA DETERMINACIÓN DE LA
VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES DEL
CENTRO POBLADO DE MEDIO MUNDO - HUAURA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RICARDO HANIEL MORÁN RAMÍREZ

Lima- Perú

2012

ÍNDICE

RESUMEN	3
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE SIGLAS Y SÍMBOLOS	5
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I ANTECEDENTES	8
1.1 EXPEDIENTE TÉCNICO CATASTRAL	8
1.2 SISMICIDAD EN EL PERÚ	9
1.2.1 Generalidades	9
1.2.2 Sismicidad en la Cuenca del Río Huaura	10
1.2.3 El Sismo Máximo Probable	11
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	13
CAPÍTULO II ASPECTOS GENERALES DE LA VULNERABILIDAD	
SÍSMICA	17
2.1 AMENAZA SÍSMICA	17
2.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA	18
2.3 RIESGO SÍSMICO	19
2.4 DAÑO SÍSMICO	20
2.5 EVALUACIÓN DE LA SISMICIDAD	21
2.5.1 Intensidad	22
2.5.2 Magnitud	23
2.5.3 Momento Sísmico	24
CAPÍTULO III DIVERSAS METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN	
DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES	25
3.1 GENERALIDADES	25
3.2 MÉTODOS ANALÍTICOS	27
3.3 MÉTODOS CUALITATIVOS	29
3.4 MUESTREO ESTADÍSTICO	32

CAPÍTULO IV	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE	
	VULNERABILIDAD DE BENEDETTI-PETRINI	34
4.1	INTRODUCCIÓN	34
4.2	DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS	35
4.3	ÍNDICE DE DAÑO	44
4.4	COMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO	47
CAPÍTULO V	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	
	APLICADOS A LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	
	SÍSMICA DE EDIFICACIONES	49
5.1	VENTAJAS	50
5.2	LIMITACIONES	52
5.3	EQUIPO Y SOFTWARE NECESARIO	53
5.3.1	Hardware	53
5.3.2	Software	53
5.4	PERSONAL HUMANO	54
CAPÍTULO VI	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ESCOGIDA	
	EN ALGUNAS EDIFICACIONES DEL CENTRO POBLADO	
	DE MEDIO MUNDO	55
6.1	EDIFICACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO	55
6.2	CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD	57
6.3	CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE DAÑO	60
CAPÍTULO VII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
7.1	CONCLUSIONES	63
7.2	RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFIA		69
ANEXOS		71

RESUMEN

El presente trabajo muestra un proyecto piloto de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la determinación de la vulnerabilidad sísmica de un grupo de edificaciones del Centro Poblado de Medio Mundo. Para ello se tuvo que decidir entre la implementación de métodos cuantitativos o métodos cualitativos de determinación de vulnerabilidad sísmica. La decisión final se basó en la información obtenida en campo sobre las tipologías estructurales de la zona en estudio y la facilidad o dificultad para obtener los datos necesarios para aplicar uno u otro método. Se optó, entonces, por utilizar el Método del índice de Vulnerabilidad de Benedetti-Petrini.

De la aplicación del Método se encontró que un gran porcentaje de las edificaciones de adobe y mampostería tiene una baja vulnerabilidad debido a las características de las mismas como configuración en planta y conexión entre elementos verticales y horizontales. Se recomienda también adaptar el método a las características de las edificaciones de Medio Mundo y desarrollar funciones de vulnerabilidad confiables en base a la opinión de expertos y características de daños sísmicos en zonas parecidas en el Perú.

El uso del programa que trabaja en entorno SIG ayudó a la obtención de resultados tales como el rango de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones escogidas, así como el escenario de posibles daños en función de la intensidad sísmica; todo ello presentado en mapas temáticos que facilitaron la presentación adecuada de resultados y una serie de ventajas respecto a los antiguos métodos manuales para presentación de mapas temáticos.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Población, números de lotes y densidad de vivienda actual	16
Tabla 4.1 Escala Numérica del Índice de Vulnerabilidad (MNR)	36
Tabla 4.2 Rangos de Clasificación del Índice de Vulnerabilidad	37
Tabla 4.3 Coeficientes de regresión propuestos por Angeletti et al.	46
Tabla 4.4 Rangos de Clasificación del Índice de Daño	47
Tabla 6.1 Porcentajes de Rangos de Índice de Vulnerabilidad	59
Tabla 6.2 Porcentajes de Viviendas por Rango de Daño (I6 – I8)	60
Tabla 6.3 Porcentajes de Viviendas por Rango de Daño (I9 – I10)	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Región Lima	12
Figura 1.2 Plano de Ubicación de Proyecto	14
Figura 1.3 Plano de Ubicación de Végueta	15
Figura 1.4 Centro Poblado de Medio Mundo (Vista Satelital)	15
Figura 1.5 Pirámide Poblacional de Medio Mundo	16
Figura 2.1 Comparación gráfica de las diferentes escalas de intensidad	23
Figura 3.1 Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica	26
Figura 4.1 Parámetros del Método del Índice de Vulnerabilidad	37
Figura 4.2 Ejemplo de configuraciones en planta	42
Figura 4.3 Ejemplo de configuraciones en elevación	42
Figura 4.4 Ejemplo de Funciones de Vulnerabilidad	45
Figura 4.5 Funciones de vulnerabilidad - Angeletti et al, 1988	47
Figura 5.1 Ejemplos de Aplicación de los SIG	49
Figura 6.1 Viviendas incluidas en el Estudio (Color Azul)	55
Figura 6.2 Material de Muro en Viviendas de Zona Estudiada	56
Figura 6.3 Material de Techo en Viviendas de Zona Estudiada	56
Figura 6.4 Antigüedad de Viviendas en Zona Estudiada	57
Figura 6.5 Base gráfica vinculada a base alfanumérica en ArcGis	58
Figura 6.6 Programación en ArcGis para hallar el Índice de Vulnerabilidad	58
Figura 6.7 Rutinas de programación en ArcGis	59
Figura 6.8 Rangos de Índice de Vulnerabilidad en Zona de Estudio	60
Figura 6.9 Escenario de Daños para una Intensidad IX (MSK)	61

Figura 6.10 Variación del Porcentaje de Viviendas con determinado rango de daño en función del aumento de la intensidad sísmica 62

LISTA DE SIGLAS Y SÍMBOLOS

SIGLAS	DESCRIPCIÓN
AIS	Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
ATC	Applied Technology Council - USA
BSC	Building Safety Council
CAD	Computer Aided Design
CISMID	Centro Peruano-Japones de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres
CSSC	Comisión de Seguridad Sísmica de California
EAAE	European Association for Earthquake Engineering
EERI	Earthquake Engineering Research Institute
EMS	European Macroseismic Scale
ESRI	Enviromental Systems Research Institute
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GPS	Global Positioning System
HMC	Hines Management Consultants
ISC	International Seismological Centre
ISTC	Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni
JMA	Japan Meteorological Agency
MM	Mercalli Modificada
MMA	Mercalli Modificada para los Países Andinos
MNR	Mampostería No Reforzada
MSK	Medvedev, Sponheuer y Kamik
NAVFAC	Naval Facilities Engineering Command
OEA	Organización de los Estados Americanos
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
UNDRO	United Nations Disaster Relief Organization
UNI	Universidad Nacional de Ingeniería
USGS	United States Geological Survey
SIG	Sistema de Información Geográfica
SISRA	Sismicidad de la Región Andina
VB	Visual Basic

INTRODUCCIÓN

El Perú, como país sísmico por excelencia debido a su ubicación geográfica, necesita identificar cuáles son sus vulnerabilidades y peligros con el fin de desarrollar planes de reducción de riesgos ante catástrofes en el campo de la sismicidad. No se han realizado estudios de vulnerabilidad sísmica en diversos lugares del Perú con alta peligrosidad sísmica y por ello se corre el peligro de lamentar daños que pudieron evitarse si se hubiera conocida la situación real de las edificaciones. El objetivo del presente trabajo es presentar en plataforma SIG los resultados de un estudio piloto sobre la vulnerabilidad sísmica de un grupo de edificaciones del Centro Poblado de Medio Mundo mediante la aplicación del Método del índice de Vulnerabilidad.

El estudio comprende en su desarrollo siete capítulos. El primer capítulo está dedicado al establecimiento de los antecedentes, objetivos generales y específicos y generalidades sobre la sismicidad en el Perú y específicamente en la región donde se realiza el estudio, exponiendo algunos resultados de diversas investigaciones sobre el sismo máximo probable para la zona costera del país. Finalmente se describen las características generales de la zona de estudio.

El segundo capítulo contiene los aspectos generales de la vulnerabilidad sísmica con el fin de entender y diferenciar conceptos importantes en el campo de la ingeniería sísmica como la amenaza, vulnerabilidad, riesgo y daño, que muchas veces se confunden y llevan a malas interpretaciones de las investigaciones. También se expone la manera en que se evalúa la sismicidad, ya sea mediante la intensidad, la magnitud o el momento sísmico.

En el tercer capítulo se hace un breve repaso por las diversas metodologías usadas para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones, las cuales están divididas en dos grandes grupos: los métodos cuantitativos y los métodos cualitativos. Estas descripciones sirven para escoger el método con las características más adecuadas para realizar el estudio en función de los objetivos planteados para el mismo.

El cuarto capítulo concierne a una descripción más detallada del método de evaluación escogido para el presente trabajo: el Método del Índice de Vulnerabilidad Sísmica de Benedetti-Petrini. Se presentan los once parámetros usados en el método así como las ecuaciones que relacionan los parámetros con el fin de hallar la vulnerabilidad y las funciones de vulnerabilidad con el fin de hallar el índice de daño.

El quinto capítulo muestra la importancia y ventajas de la aplicación de los sistemas de información geográfica en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones. Se deja ver que pueden existir limitaciones en su uso si no se aplica conforme a los objetivos del estudio, así como el hardware, software y personal necesarios para estructurar un SIG en los estudios relacionados con vulnerabilidad sísmica.

El sexto capítulo contiene un resumen de la aplicación de la metodología escogida en un grupo de edificaciones del Centro Poblado de Medio Mundo, en el cual se presentan las características principales de la zona en estudio relativas a tipologías estructurales predominantes. También se hace una breve descripción del uso del programa ArcGis 10.0 para determinar el índice de vulnerabilidad y el índice de daño con ejemplos de rutinas de programación en lenguaje VB Script. Por último, se presentan los resultados de la investigación mediante tablas y gráficos, que posteriormente, en los anexos serán representados mediante mapas temáticos.

Finalmente, en el séptimo capítulo se formulan las conclusiones y recomendaciones del estudio en base a los resultados obtenidos y al proceso de desarrollo de los diversos capítulos.

CAPITULO I: ANTECEDENTES

La particular ubicación del territorio peruano dentro del contexto geotectónico mundial ("Cinturón de Fuego del Pacífico"), le confiere una alta actividad sísmica, traducida en los innumerables eventos catastróficos que se han dado en su historia y con probabilidades de generación de otros en el futuro. Estos eventos han ocasionado cuantiosos daños materiales y miles de personas damnificadas; como es el caso más reciente con efectos devastadores del sismo de Pisco del 15 de agosto del 2007. La mayoría de pérdidas, tanto de vidas como económicas, han sido causadas por un deficiente comportamiento sísmico de las estructuras, llegándose muchas veces a colapsos parciales e incluso totales. De lo anterior, surge la necesidad de mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras para mitigar las pérdidas que los sismos puedan ocasionar y con ella nacen también los estudios de Vulnerabilidad Sísmica de las estructuras, los cuales son de gran importancia en la actualidad, con miras a planes de mitigación de futuros desastres por sismos y también, por ejemplo, a la planificación urbana.

1.1 Expediente Técnico Catastral

En la búsqueda de la mejora de calidad de vida y desarrollo social de los peruanos, la Universidad Nacional de Ingeniería suscribió el 07 de Diciembre del 2011 un Convenio Marco con la Municipalidad Distrital de Végueta, provincia de Huaura, Lima, con el objetivo de aunar fuerzas para beneficio de la sociedad. El convenio, vigente hasta el 31 de diciembre de 2014, señalaba, entre otras cosas, que ambas instituciones habrían de desarrollar mecanismos de cooperación técnica y prestación de servicios y a partir ellos se podrían realizar futuros convenios específicos. Uno de estos convenios específicos fue la realización de un proyecto piloto de Catastro Urbano para el centro poblado de Medio Mundo.

Reconociendo la importancia del Catastro en toda gestión municipal y con el objetivo de apoyar a la Municipalidad para que tenga un documento técnico que le sirva para ser presentado al Ministerio de Economía y Finanzas con el fin de obtener el financiamiento para la implementación de un proyecto de catastro en plataforma SIG, se realizó el proyecto piloto iniciándose las acciones con las

visitas a campo para efectuar los respectivos levantamientos catastrales, realizando encuestas a los pobladores de los lotes pertenecientes a las manzanas escogidas (06, 08, 12, 13, 14, 20, 21 y 22) dentro de la II Etapa del centro poblado. Se utilizó la ficha catastral urbana individual para dicho fin.

Una vez obtenidos los datos de campo, se llevaron a cabo los trabajos de gabinete, los cuales consistieron en digitalizarlos e incluirlos en hojas de cálculo como el programa Microsoft Excel. Luego se procedió al cambio de sistema geográfico del Plano de Lotización brindado por la Municipalidad, el cual se encontraba en el sistema PSAD-56 para WGS-84. Un paso importante en el desarrollo del expediente fue la aplicación de la tecnología SIG convirtiendo la información cartográfica en CAD al sistema SIG mediante el uso del programa ArcGis, el cual permitió la vinculación de la información digital gráfica de y la información textual del propietario y usos prediales en el sistema SIG, teniendo como enlace o conexión, el código de referencia catastral (sector, manzana, lote).

Finalmente se analizaron los datos en el entorno SIG obteniéndose resultados presentados como Mapas Temáticos según la información que se necesitara visualizar, como por ejemplo: número de pisos por vivienda, usos de los lotes, materiales predominantes en muros y techos, entre otros, quedando de esta manera alcanzado el objetivo principal del proyecto piloto. Cabe resaltar que los datos obtenidos de dichas manzanas han servido para la realización del presente Informe de Suficiencia.

1.2 Sismicidad en el Perú

1.2.1 Generalidades

El Perú está localizado en una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, siendo su actividad sísmica el resultado de la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana y de los reajustes que se producen en la corteza terrestre. Los historiadores han documentado una larga lista de eventos sísmicos que ocasionaron inmensa destrucción en la zona costera y andina del litoral central del país en los últimos cinco siglos. Silgado (1978) realizó la más importante descripción ordenada de la historia sísmica del

Perú. Desde el siglo XVI hasta el siglo XIX solo se reportan los sismos sentidos en las ciudades principales, quedando sin registrar sismos importantes que pueden haber ocurrido en regiones remotas [5].

La información sismológica instrumental del Perú se encuentra recopilada en el Catálogo Sísmico del Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina, 1985), que tiene eventos desde el año de 1900. Este catálogo fue actualizado hasta 1990 con los datos verificados por el ISC (International Seismological Centre). Dorbath et al (1990) analizaron los grandes sismos históricos y obtuvieron cantidades estimadas de longitudes de ruptura en un diagrama espacio-tiempo de los grandes sismos históricos del Perú. Se muestra la existencia de tres zonas diferentes correspondientes a la segmentación de la placa de Nazca subducida en la placa Sudamericana. El Mapa de Zonificación Sísmica y el Mapa de Intensidades Sísmicas del Perú pueden apreciarse en el Anexo 05 sobre Mapas relacionados con la Sismicidad en el Perú.

1.2.2 Sismicidad en la Cuenca del Río Huaura

Del análisis histórico general se puede deducir que los sismos más importantes que pudieron haber afectado en algún grado la cuenca del Río Huaura, son aquellos que se han producido en la Costa [12]. De acuerdo a esta información y para un período de aproximadamente de 400 años, se tiene que en la cuenca se han producido sismos con intensidades máximas de VI-VII Mercalli Modificada.

La actividad sísmica que se observa en la región corresponde a un área de baja concentración, caracterizada por un número relativamente pequeño de sismos entre 70 y 100 km, de profundidad, pero con un tectonismo considerable. Se tiene cálculos de probabilidades de la ocurrencia de un sismo de cierta magnitud para períodos de 10, 50 y 100 años, habiéndose determinado previamente la magnitud máxima probable en un intervalo fijo de tiempo [12].

De acuerdo a la evaluación de riesgo sísmico para la cuenca del río Huaura, se tiene que desde el año 1555 hasta 1980, la magnitud máxima registrada es de 6.9 Mb (magnitud de ondas de cuerpo); entre 1963 y 1980, es de 6.6 Mb, según la historia sísmica y la evaluación realizada se considera como terremoto crítico

en la cuenca uno de magnitud de 6.5 Mb, el cual tiene un período de retomo de 60 años [12].

1.2.3 El Sismo Máximo Probable

El litoral del país, como parte del Círculo de Fuego del Pacífico, ha sufrido el impacto de grandes terremotos algunos de los cuales fueron seguidos por maremotos, debe por tanto, esperarse la ocurrencia de sismos de diversa magnitud. Existen eventos que, por su cercanía temporal y geográfica, pueden ser usados como referentes para estimar la extensión y gravedad de los daños frente a un futuro sismo; estos son el terremoto de 1940 en Lima, el terremoto de 1970 en el litoral norte, cuya magnitud e intensidades ocasionaron inmensa destrucción y el terremoto en Ica en agosto del 2007.

La organización de los preparativos institucionales para responder a situaciones de emergencia y desastres se inicia por la construcción de escenarios hipotéticos de eventos probables, los cuales sirven para el diseño de los planes de contingencia [13]. Instituciones y reconocidos expertos han estudiado la amenaza tectónica y la vulnerabilidad de Lima, algunos han alertado sobre las consecuencias de eventos de alta magnitud.

La hipótesis es la siguiente: Un terremoto de gran magnitud con epicentro marino frente a Lima podría afectar el litoral central y la región andina correspondiente. Sus efectos podrían sentirse en gran parte del país. A continuación el sustento de la misma [13]:

- El registro histórico revela que Lima ha sufrido el impacto de 43 grandes sismos pero los terremotos de 1586, 1655, 1687 y 1746 alcanzaron intensidades destructivas, IX a X en la escala de Mercalli Modificada.
- El Callao fue afectado por grandes maremotos en 1586, 1687 y 1746, produciendo este último pérdidas catastróficas.
- Para un sismo de magnitud entre 7,8 Mb y 8,5 Mb el periodo de recurrencia sería aproximadamente de 100 años.
- Se reporta que en el siglo anterior se activaron dos áreas sísmicas vecinas a Lima:
 - *Chimbote-Huacho*: activada en los sismos del 31 de mayo de 1970 y 17 de octubre de 1974.

- *Lima - Pisco*: activada en el sismo del 03 de octubre de 1974.
- El área sísmica *Huacho - Lima* faltaría activarse (el epicentro del sismo del 24 de mayo de 1940 es impreciso).

Las características del evento sísmico máximo probable serían las siguientes [13]:

- Magnitud. 7,5 a 8,0 grados Richter.
- Intensidades máximas. IX grados Mercalli Modificada.
- Aceleraciones máximas previstas. 360 gals.
- Epicentro. Frente a Lima.
- Hipocentro. Profundidad: 33 km.
- Extensión afectada. Presupone efectos destructivos en los departamentos de *Lima, Ancash, Ica, Huánuco, Junín, Pasco, Huancavelica, Ayacucho y la Provincia Constitucional del Callao*.

La Región Lima, formada por nueve provincias, tal como se aprecia en la Figura 1.1, está situada en la parte central y occidental del territorio peruano, formando un anillo alrededor de Lima Metropolitana y Callao. Su ciudad capital y sede es la ciudad de Huacho, ubicada en la costa nor-central del litoral peruano a 152 Kilómetros de la ciudad de Lima. La altura de la Región Lima, oscila entre los 2 m.s.n.m. Distrito de Cerro Azul (Cañete); Caleta de Carquín y Végueta (Huaura), Chancay (Huaral); Puerto Supe (Barranca) y los 3,796 m.s.n.m. (Distrito de Tanta: Provincia de Yauyos).



Figura 1.1 Región Lima

De las diversas investigaciones e hipótesis realizadas por expertos en el tema de la sismicidad se ha determinado el grado de recurrencia sísmica para las provincias pertenecientes a esta región [16]:

- Grado de Recurrencia *muy alto/alto*: Barranca. *Huaura*. Huaral. Cañete.
- Grado de Recurrencia *medio* : Huarochirí. Oyón. Cajatambo. Yauyos.
- Grado de Recurrencia *bajo* : Canta.

1.3 Descripción de la Zona de Estudio

El Centro Poblado de Medio Mundo es uno de los 39 centros poblados que tiene el distrito de Végueta, Provincia de Huaura, Departamento de Lima. Está ubicado en la parte norte del Distrito y tiene como vecinos a los centros poblados de El Carmen, Santa Cruz, Santa Amelia, entre otros. Se encuentra en el kilómetro 171 de la carretera Panamericana Norte como se muestra en la Figura 1.2.

El proceso de presencia humana actual en Medio Mundo data del año 1954 y se expresa cronológicamente a continuación:

- En 1954 había dos yacimientos salinos que se encontraban entre el mirador actual de la albufera y las avícolas en el centro se ubicaba el yacimiento más grande y otro muy cerca al mirador el más pequeño.
- En los años de 1954 y 1958 aproximadamente habían unas 10 familias.
- Hasta el año de 1969 el límite antiguo del humedal era hasta Cerro Colorado donde se pescaban las siguientes especies: lisa, mojarra, monengue, carpa, camarones y otros.
- A partir de 1970 comienza la reforestación por los extractores actuales con la especie junco. Todo esto se inicia con el asesoramiento de los profesores Juan Paucar y Félix Honores.
- El 8 de octubre de 1970 con el asesoramiento de los señores Juan Paucar y Félix Honores se forma una pre-cooperativa con el objetivo de iniciar la reforestación buscando una mejora de vida.
- En 1975 son reconocidos como Cooperativa de Producción y Trabajo Albufera de Medio Mundo Limitada N° 5 y se adquiere un permiso para cuidar la laguna.

- En el año de 1983 ya empieza el empadronamiento y en 1984 empieza el parcelamiento con resolución. Aproximadamente en los años 90 se coloca la electricidad.
- En 1992 los caseríos del extremo norte del distrito se acogieron a la ley orgánica de municipalidades para convertirse en Centro Poblado Menor de Medio Mundo que cuenta ahora con alcalde y regidores. La resolución ministerial lleva el numero 1244 de fecha 7 de julio de 1992.

Tal como se aprecia en la Figura 1.2, la ubicación del proyecto piloto esta hacia el norte de la Región Lima en la costa peruana.



Figura 1.2 Plano de Ubicación de Proyecto

El Centro poblado de Medio Mundo se encuentra frente a las albuferas del mismo nombre. Posee una topografía suave casi plana con ciertas depresiones no muy pronunciadas. Se encuentra a unos 47 metros aproximadamente sobre el nivel del mar. Entre el Centro Poblado y las Albuferas existe un cambio de cota considerable de 40 m. aproximadamente. La temperatura media mensual varía entre 20.4 °C en el invierno y 22.0 °C en el verano, con la menor irradiación solar en esta faja costera. La humedad relativa media mensual varía entre 89% para los meses de enero a marzo (verano) y de 91% en el resto de los meses en promedio.

En la Figura 1.3 se muestra el plano de ubicación del Distrito de Végueta, donde se encuentra en Centro Poblado de Medio Mundo, lugar escogido para esta investigación.



Figura 1.3 Plano de Ubicación de Végueta

La Figura 1.4 muestra una vista satelital del Centro Poblado y su ubicación respecto a las famosas albúferas de Medio Mundo.



Figura 1.4 Centro Poblado de Medio Mundo (Vista Satelital)

Según el Censo Nacional realizado en el año 2007, el Centro Poblado de Medio Mundo cuenta con 5,801 habitantes presentando una distribución piramidal típica de países en desarrollo, donde la mayor parte de la población masculina y femenina es joven, tal como se puede apreciar en la Figura 1.5.

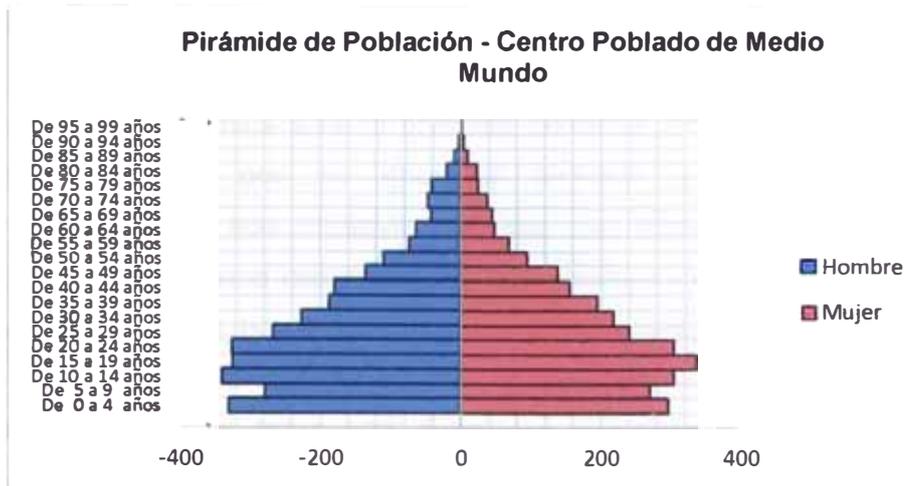


Figura 1.5 Pirámide Poblacional de Medio Mundo

El Centro Poblado de Medio Mundo se ha dividido zonalmente en dos etapas: I Etapa y II Etapa. Siendo la II Etapa la zona donde se realizará el levantamiento de información para este Informe de Suficiencia es necesario precisar que esta zona está compuesta de 74 manzanas (viviendas, parques y estadio) según el Plano de Lotización realizado por la Municipalidad de Végueta.

En la Tabla 1.1 se puede apreciar algunos aspectos demográficos de esta zona brindados por el concejo menor de Medio Mundo. Es necesario recalcar que son datos del año 2007 y, por lo tanto, en la actualidad se cuentan con más lotes. De los planos brindados por la Municipalidad de Végueta se constató que son 875 lotes (considerando parques) en la II Etapa.

Tabla 1.1 Población, números de lotes y densidad de vivienda actual

AÑO	Área Bruta (Ha)	Densidad (Hab.)	Familias	Lotes	Habitantes
2003	26.18	5	417	380	1,900
2007	26.18	5.5	477	425	2624

Fuente: Concejo Menor de Medio Mundo

En el Anexo 06 se podrá ver el Plano de Lotización de la II Etapa del Centro Poblado de Medio Mundo, en el cual viven aproximadamente unas 2624 zona de trabajo para el presente informe. La información as 06, 08, 12, 13, 14, 20, 21 y 22 (Ver Lámina 01 ente al Anexo 07).

CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

En la Ingeniería Sísmica existen diversos términos como riesgo, amenaza o vulnerabilidad, que por su aparente similitud pueden llegar a ser malinterpretados, lo que conllevaría a que se dificulte el intercambio de información y, de alguna manera, el trabajo de los investigadores en distintas partes del mundo. Es por ello que en el ámbito científico se debe llegar a un consenso en cuanto a terminología se refiere y sobre todo en la ingeniería sísmica es necesario tener una cuidadosa interpretación de los términos empleados en las investigaciones.

Algunos comités y trabajos científicos se han encargado de establecer una nomenclatura adecuada dentro del área de la sismología e ingeniería sísmica, que permita aclarar las diferencias existentes. Entre los comités se encuentran el Instituto de Investigaciones en 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), la Oficina Coordinadora de las Naciones Unidas para el Socorro en caso de Desastres (UNDRO), entre otros. Las definiciones que se dan a continuación están basadas en las referencias anteriores.

2.1 Amenaza Sísmica

La Amenaza Sísmica también se conoce como Peligro Sísmico o Peligrosidad Sísmica. La palabra "Peligrosidad" es definida por la Real Academia Española [19] como "calidad de peligro", mientras que en término técnicos se expresa como "amenaza impuesta por ciertos fenómenos naturales, como son los huracanes, erupciones, riadas, terremotos. etc., que pueden causar consecuencias adversas a la actividad humana, impacto social negativo y pérdidas humanas y económicas severas".

Entonces, se puede definir a la Peligrosidad o Amenaza Sísmica como *la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia de un terremoto, provocando efectos adversos a la actividad humana, dentro de un periodo específico de tiempo y dentro de un área dada* [11]. Estos fenómenos además del movimiento de terreno pueden ser, la falla del terreno, la

deformación tectónica, la licuefacción, inundaciones, tsunamis, etc., que pueden ser considerados como los efectos colaterales de un terremoto. El tamaño y localización de estos efectos colaterales dependerán de diversos factores, principalmente de las características geológicas y geotécnicas del lugar, pero indudablemente de las características del terremoto (hipocentro, mecanismo, intensidad, magnitud, duración, contenido frecuencial, etc.).

El primer paso en la evaluación de la peligrosidad sísmica es caracterizar las zonas sísmo-tectónicas, para posteriormente entender mejor las características de los terremotos. Generalmente, en su evaluación se utilizan métodos o modelos probabilísticos simplificados de cálculo. Una posible estimación de la peligrosidad sísmica se puede obtener a partir del análisis de la historia sísmica del sitio, utilizando los datos macrosísmicos históricos de los que se disponga, particularmente en regiones caracterizadas por largos periodos de retorno.

2.2 Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad es definida por la Real Academia como "algo que puede ser herido o recibir lesión, física o moralmente" y técnicamente se utiliza como una escala para expresar las diferentes formas de responder los edificios al ser sometidos a un terremoto.

Entonces se puede definir a la Vulnerabilidad Sísmica como un *valor único que permite clasificar a las estructuras de acuerdo a la calidad estructural intrínseca de las mismas, dentro de un rango de nada vulnerable a muy vulnerable ante la acción de un terremoto de una intensidad dada* [11]. La vulnerabilidad sísmica depende de la forma como hayan sido diseñadas las estructuras pero independiente de la peligrosidad sísmica del sitio donde estén ubicadas.

En otras palabras, una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo si no se encuentra en un lugar con un determinado peligro sísmico. En teoría, todo sistema constructivo susceptible de ser afectado por un terremoto puede ser objeto de un estudio sobre su vulnerabilidad. Existen diversos estudios sobre la vulnerabilidad de algunos elementos en riesgo tales como: líneas vitales (por ejemplo: líneas de conducción de energía o agua), puentes, edificaciones, entre otros. La experiencia ha enseñado, a través de los terremotos pasados que

existen estructuras de una misma tipología que pueden sufrir un mayor grado de daño debido a un terremoto a pesar de localizarse en el mismo sitio.

La importancia de los estudios de vulnerabilidad sísmica no reside únicamente en ser parte indispensable para la determinación del riesgo sísmico, sino también en ser una herramienta clave al momento de la elaboración de los planes de mitigación de desastres. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica puede venir del análisis mediante modelos numéricos del daño sísmico de estructuras, de la inspección de edificios existentes o de pruebas en el laboratorio.

2.3 Riesgo Sísmico

De acuerdo a la Real Academia Española la palabra "Riesgo" significa, "Contingencia o proximidad de algún daño", mientras que en términos técnicos significa la posibilidad de pérdida o daño o exposición al cambio de daño o pérdida. Entonces se puede definir al 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 un terremoto* [11].

Por lo tanto, se puede observar que el Riesgo Sísmico depende directamente de la Peligrosidad y de la Vulnerabilidad, es decir, los elementos de una zona con cierta peligrosidad sísmica pueden verse afectados en menor o mayor medida dependiendo del grado de vulnerabilidad sísmica que tengan, ocasionando un cierto nivel de Riesgo Sísmico del lugar.

Para evaluar el riesgo sísmico, se utilizan las *matrices de probabilidad de daño* o las *funciones de vulnerabilidad*, obtenidas a partir de las experiencias con terremotos pasados, o en el caso de que la actividad sísmica sea baja, mediante *técnicas de simulación*. Los principales métodos utilizados para la generación de las matrices de probabilidad de daño o funciones de vulnerabilidad, difieren básicamente en los datos de entrada y en la forma como se obtienen las probabilidades asociadas a cada estado de daño; estos métodos pueden ser experimentales, analíticos o estar basados en observaciones de campo o en la

opinión de expertos. Dependiendo de la información con la que se cuente se podrá utilizar uno u otro método, o se podrán combinar.

Las catástrofes recientes han obligado a los gobiernos y el sector privado de todo el mundo a desarrollar estudios de riesgo sísmico para reducir los daños provocados por los terremotos. Estos estudios deben elaborarse basándose en el desarrollo del país o en la peligrosidad existente en él. En la actualidad, existe una gran cantidad de trabajos que tratan de evaluar el riesgo sísmico en zonas urbanas [11], auspiciados por organismos internacionales y gobiernos, con el fin de implementarlos dentro de sus programas de protección civil, algunos de ellos se han desarrollado como normas o recomendaciones como son: los de la Comisión de Seguridad Sísmica de California (CSSC, 1999), los informes del "Consejo de Tecnología Aplicada (ATC-13 y ATC-25)", el Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado (OEA, 1993), Directrices para la mitigación del daño sísmico en Queensland (HMC, 1997), Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud (OPS/OMS, 1999), entre otros. Cabe resaltar que en el Perú también se han realizado estudios para la determinación del riesgo sísmico, por ejemplo para el Centro Histórico de Chiclayo y en la ciudad de Ayacucho.

2.4 Daño Sísmico

Un aspecto importante en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras es definir el daño que pueda sufrir una estructura debido a un terremoto. En realidad, el daño va asociado a la vulnerabilidad, ya que una estructura es más o menos vulnerable dependiendo del daño que pueda sufrir ante un terremoto. La palabra daño se utiliza ampliamente para describir distintos fenómenos que puedan ocasionar los movimientos sísmicos a las estructuras, refiriéndose principalmente el deterioro físico. El daño puede afectar a cualquier tipo de estructura; sin embargo se hará referencia al daño que pueden sufrir las edificaciones. Para esto se puede clasificar al daño en tres grupos principales:

- **Daño Estructural.** - Es el de mayor importancia, ya que éste puede ocasionar que una estructura colapse o, en el mejor de los casos, que su reparación

pueda ser muy costosa. El daño estructural depende del comportamiento de los elementos resistentes de una estructura como son las vigas, columnas, muros de carga, sistemas de piso, y esto tiene que ver con la calidad de los materiales que componen dichos elementos, su configuración y tipo de sistema resistente y, obviamente, de las características de las cargas actuantes. La evaluación del daño se puede realizar de diferentes maneras.

- **Daño No Estructural.-** Está asociado principalmente a elementos que no forman parte del sistema resistente, como pueden ser muros divisorios, ventanales, revestimientos, etc. Sin embargo, a pesar de que este tipo de daño no pone en peligro el comportamiento de la estructura, sí es causa de un incremento considerable en las pérdidas económicas, como se ha podido comprobar [11] en los sismos de Loma Prieta (1989) y Northridge (1994). Se evalúa generalmente mediante un índice de daño, el cual utiliza parámetros de la respuesta estructural tales como deformaciones y distorsiones que sufren los pisos de las estructuras

- **Daño Económico.-** Es una forma de relacionar el índice de daño estructural con las pérdidas económicas de un edificio debido a un sismo. Para esto se necesita evaluar el índice de daño global en términos de costes financieros, es decir, se requiere conocer un índice de daño económico global de la estructura, que agrupe los índices anteriores.

En diferentes países con alta actividad sísmica (Por ejemplo: Japón, México, Italia, Macedonia, Colombia, Estados Unidos) se han hecho esfuerzos para desarrollar metodologías y guías de evaluación de daños, con el objetivo de ayudar en la definición de medidas apropiadas de reparación de los edificios dañados y para evitar demoliciones innecesarias [11].

2.5 Evaluación de la Sismicidad

El tamaño de un terremoto se puede caracterizar por la *intensidad*, la *magnitud* o por el *momento sísmico* (*magnitud sísmica*), siendo quizás este último la caracterización más adecuada, debido a que está relacionado directamente con el producto del área de la ruptura de la falla y el desplazamiento promedio de la

misma. A continuación se definirá brevemente cada una de las formas de evaluar los sismos que se han mencionado líneas atrás.

2.5.1 Intensidad

En el área de la 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 obtenga 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 estudio 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 [11], a partir de la cual se han desarrollado otras en el mundo. En 1931, esta escala fue traducida al inglés por Wood y Neumann, bajo el nombre de escala de Mercalli Modificada (**MM**). Fue mejorada completamente en 1956 por C.F. Richter, quien se abstuvo de agregar su nombre a la nueva versión, para evitar confusiones con la escala de magnitud de Richter.

En 1964, Medvedev, Sponheuer y Karnik publicaron la primera versión de la escala **MSK** agregando nuevos aspectos cuantitativos para hacerla más poderosa. En 1992, se decidió cambiar el nombre de MSK, por el Escala Macrosísmica Europea o EMS-92 (por sus siglas en Inglés "European Macroseismic Scale"). La versión final de la escala **EMS** se publicó en 1998.

Otra escala de intensidad sísmica poco conocida en América y Europa, pero no por eso menos importante es la escala Japonesa de la Agencia Meteorológica de Japón, **JMA** (por sus siglas en Inglés "Japan Meteorological Agency"), basada en el trabajo de Omori. A continuación (Ver Figura 2.1) se presenta la comparación de las escalas mencionadas, observándose que la mayoría 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 Modificado	Geofan	PRC	JMA	MSK	EMS - 99	
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	
	10	VII	VII	VII	VII	V	VII	VII
		VIII	VIII	VIII	VIII		VIII	VIII
	20	IX	IX	IX	IX	VI	IX	IX
	30		X	X	X		X	X
	40	X	XI	XI	XI	VII	XI	XI
	50		XII	XII	XII		XII	XII
60								

Fuente: Ulises Mena Hernández, 2002

Figura 2.1 Comparación gráfica de las diferentes escalas de intensidad

No se puede dejar de mencionar que investigadores peruanos (Julio Kuroiwa – Fernando Lázares) realizaron una propuesta de escala de intensidades sísmicas [8] a ser utilizada para los países del área andina en Latinoamérica basada en la escala de intensidades de Mercalli Modificada en 1956. Se conoce como Escala de Intensidades Mercalli Modificada para los Países Andinos (**M.M.A. – 92**). Se han realizado ciertas modificaciones incorporando las características estructurales y el comportamiento sísmico de los diferentes tipos de edificaciones que existen en los países del área andina, así como los daños que éstos sufren ante los sismos, también los efectos que se producen en la geografía andina. Esta escala MMA-92 fue presentada y publicada en 1992, razón por la cual figura este año como referencia del inicio de este trabajo (Ver Anexo 01 sobre Escalas de Intensidades Sísmicas).

2.5.2 Magnitud

El concepto de magnitud lo introdujo por primera vez el Profesor Charles Richter en 1935, en California, definiéndolo como una medida cuantitativa del tamaño de

un terremoto. La relación indirectamente con la liberación de la energía la cual es independiente del lugar de observación. Actualmente, es la forma más usada para medir el tamaño de los sismos en todo el mundo, aunque no es la única.

Se calcula a partir de la medición de la amplitud en un sismógrafo del tipo Wood-Anderson de torsión y se expresa en escala logarítmica en números reales. La escala que más se utiliza es la correspondiente a la magnitud local de Richter, denotada por M ó M_L . Cabe destacar que se han desarrollado varias expresiones para calcular la magnitud, entre ellas se encuentran las de magnitud superficial (M_s), la magnitud de ondas internas (m_b), magnitud local (m_r), etc.

Por otra parte, aunque la magnitud se define como una medida cuantitativa de un terremoto, las diferentes formas de medirla arrojan en algunos casos valores diferentes, esto se debe a que las escalas de magnitud fueron diseñadas en un principio para una clase específica de sismogramas y para un tipo único de ondas. La magnitud superficial (M_s), generalmente subestima el tamaño de los terremotos profundos y la magnitud basada en las ondas internas se han desarrollado tanto para los terremotos poco profundos como para los profundos.

2.5.3 Momento Sísmico

Es quizás el mejor parámetro que puede utilizarse para medir el tamaño de un terremoto. Mientras que la magnitud es una medida conveniente del tamaño de un terremoto determinado directamente de un sismograma, M_0 es una medida físicamente significativa del tamaño del terremoto sin estar sujeta a los problemas que se encuentran en la magnitud. M_0 está directamente relacionada con los parámetros fundamentales del proceso de falla. Esta medida está siendo cada vez más usada por los sismólogos debido a su mayor fiabilidad [11]. La relación entre el momento sísmico y cualquiera de las diferentes magnitudes no es inmediata, pero algunos autores utilizan un ajuste logarítmico lineal (Ver Ecuación 2.1).

$$\text{Log } M_0 = a + bM \dots \text{Ecuación 2.1}$$

CAPÍTULO III: DIVERSAS METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES

La Vulnerabilidad sísmica de una estructura, grupo de estructuras o de una zona urbana completa, tal como se ha definido anteriormente, es su predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño. Este concepto 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. Para mitigar el riesgo sísmico de una zona, es necesario disminuir la amenaza, la Vulnerabilidad y el costo de reparación de las estructuras afectadas.

Para predecir las pérdidas en edificios e infraestructuras situados en un determinado escenario sísmico es importante disponer de modelos que lo permitan, es decir, se necesita contar con una metodología que permita evaluar la vulnerabilidad sísmica del escenario del entorno construido.

3.1 Generalidades

La mayoría de los asentamientos del tercer mundo están conformados por edificaciones que obedecen a la construcción tradicional, en su mayoría de mampostería no reforzada, en materiales como adobe, tapia pisada y ladrillo cocido, siendo reconocidas a nivel mundial como sistemas estructurales muy peligrosos, cuando no han sido diseñados adecuadamente para soportar las solicitaciones sísmicas. El conocimiento del comportamiento sísmico de las edificaciones existentes permite estimar el grado de vulnerabilidad sísmica de las estructuras, identificando las más susceptibles a sufrir daño.

Actualmente 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.

El primer paso de un estudio de vulnerabilidad consiste en definir su naturaleza y alcance, lo cual está condicionado por varios factores, algunos de los cuales se muestran a continuación:

- ❖ Naturaleza y objetivo del estudio
- ❖ Información disponible
- ❖ Características del elemento que se pretende estudiar
- ❖ Metodología de evaluación empleada
- ❖ Resultado esperado
- ❖ Destinatario de esta información

Cuando todos estos factores se tengan, se prosigue a determinar la Vulnerabilidad de las estructuras por medio del método escogido. La selección de una determinada metodología está íntimamente relacionada con la escala del análisis y las características de los elementos bajo estudio.

Existen una variedad de métodos propuestos por diferentes autores, los cuales se pueden dividir en dos grandes grupos, tal como se aprecia en la Figura 3.1: Los de **vulnerabilidad observada**, dentro de los cuales se encuentran *los métodos de análisis cualitativos* y los de **vulnerabilidad calculada**, dentro de los cuales se encuentran *los métodos cuantitativos o analíticos* de distintos grados de complejidad, en concordancia con el objetivo que se persigue al determinarla [17]. Cabe resaltar que existen métodos que pueden organizarse y tratarse con sistemas de información geográfica.

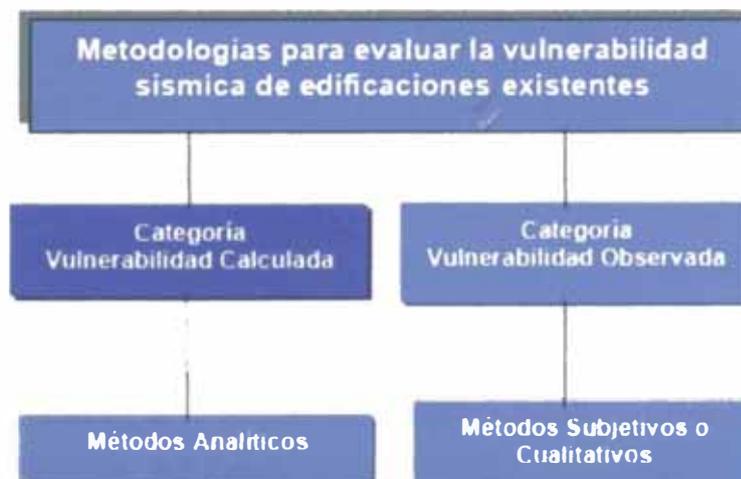


Figura 3.1 Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica.

A continuación una breve descripción de los diferentes métodos que actualmente son aplicados en diversas investigaciones sobre la vulnerabilidad sísmica.

3.2 Métodos Analíticos

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes por métodos analíticos se fundamenta en los principios utilizados para el diseño de estructuras nuevas estipuladas en los códigos de construcción. La evaluación se concentra primordialmente en la modelación de edificios de hormigón armado, lo cual puede llegar a ser una labor muy difícil de ejecutar a gran escala.

Se utilizan técnicas de modelación estructural para simular el comportamiento sísmico bajo cargas dinámicas y resultados de ensayos de materiales en el laboratorio, que sirven para determinar el índice global de daño que puede presentar la edificación, y se calibra a partir del daño real observado de las estructuras sometidas a movimientos telúricos anteriores. La escala de daño suele estar relacionada con propiedades mecánicas de la estructura asociadas a estados límites tales como la capacidad de desplazamiento lateral.

Estos métodos constituyen un enfoque muy completo, exigente y costoso. Generalmente son bastante laboriosos y dependen en cierta medida del grado de sofisticación de la evaluación, de la calidad de la información y de la representatividad de los modelos empleados [17]. Entre los métodos más usados en el medio, están el *Método FEMA 178*, el *Método ATC-14* y el *Método FEMA-273*, la cual son descritos en una forma muy breve a continuación:

➤ **Método FEMA 178**

El *Building 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 evalúa el uso de la estructura después del terremoto.

La metodología del FEMA-178 plantea una serie de interrogantes para el sistema estructural, pórticos resistentes a momentos, diafragmas, conexiones y amenazas geológicas, entre otros, los cuales están diseñados para describir

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 FEMA-273.

➤ **Método ATC-14**

Este método 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.

➤ **Método FEMA-273**

Este método 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 de ocupación inmediata, el nivel operacional, nivel de protección de la vida y el nivel de prevención de colapso y la escogencia del comportamiento que se espere de la edificación durante y después de un sismo.

El procedimiento del FEMA-273 permite hacer una simplificación 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.

3.3 Métodos Cualitativos

Los métodos subjetivos son los más apropiados para la evaluación de edificaciones a gran escala, debido que arrojan resultados más rápidos para un sin número de tipologías constructivas, permite conocer el comportamiento de una zona urbana ante la ocurrencia de algunos fenómenos naturales que pueden ser determinantes para la toma de decisiones en el ámbito de la mitigación del riesgo, en una región determinada. Se caracterizan por un alto grado de subjetividad y se usan cuando se dispone de limitada información, cuando se admite un resultado menos ambicioso y/o para evaluaciones preliminares. Son enfoques menos exigentes y más económicos de implementar [17].

Se fundamentan en la observación del daño ocurrido en estructuras durante terremotos, mediante el levantamiento en campo de índices de vulnerabilidad o la opinión subjetiva de expertos sobre el comportamiento sísmico de diferentes tipologías constructivas.

Dentro de los métodos cualitativos que han sido desarrollados se encuentra el método ATC-21, el Método NAVFAC, los métodos Japoneses, el Método Venezolano, el método ISTC, el Método del Índice de Vulnerabilidad, el método de la AIS, entre otros, los cuales se desarrollarán brevemente a continuación:

➤ **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 FEMA-273.

➤ **Método NAVFAC**

Desarrollado por G. Matzamura, J. Nicoletti y S. Freeman con el nombre de "Seismic Design Guidelines for Up-Grading Existing Buildings". Este método 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.

➤ **Métodos Japoneses**

Entre los métodos Japoneses, se encuentran el Método de Hirosawa (1992), el cual es el método utilizado oficialmente en el Japón por el ministerio de construcción, en la evaluación de la seguridad sísmica de edificios de hormigón armado. El método recomienda tres niveles de evaluación, que van de los simple a lo detallado, y se basa en análisis del comportamiento sísmico de cada piso del edificio en las direcciones principales de la planta.

El método fue propuesto originalmente para ser utilizado en edificios de hormigón armado de altura media existentes o dañados, del orden de seis a ocho pisos estructurados con muros o pórticos.

➤ **Método Venezolano**

El procedimiento propuesto por este método evalúa cortes por separados 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 elevación (D) y otro que representa las condiciones de deterioro en el tiempo (T). Fue desarrollado por I. Rivera de U, D. Grisolia de C. y R. Sarmiento de la

Universidad de los Andes de Mérida, Venezuela.

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 ISTC**

Este método fue desarrollado por el "Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni" (I.S.T.C) y la "Università degli Studi di Padova" y adaptado para el estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas de Adobe en La Zona de Coelemu (8ª región de Chile). 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 de edificio sobre la base de función de Vulnerabilidad Propuesta por el ISTC.

➤ **Método del Índice de Vulnerabilidad**

El método del índice de Vulnerabilidad (Benedetti y Petrini, 1984), identifica los parámetros más importantes que controlan el daño en los edificios causados por un terremoto. El método califica diversos aspectos de los edificios tratando de distinguir las diferencias existentes en un mismo tipo de construcción o tipología.

Lo anterior constituye una ventaja sobre los métodos que clasifican las construcciones por tipologías, material, año de construcción como son el ATC-13 y las escalas de EMS-98, MSK, entre otros. Esta metodología considera

aspectos como el tipo de suelo sobre el cual están los cimientos y la inclinación que estas presentan, así como la configuración en planta y elevación, el sistema de organización resistente para ver el grado de organización de los elementos, la tipología estructural, resistencia de la edificación ante cargas sísmicas, el sistema de losa y como está unido al sistema resistente, la ubicación de elementos no estructurales, entre otros.

La importancia de este método, es que se puede aplicar para edificios de mampostería no estructural y para edificios en Hormigón armado, los cuales son los dos tipos de edificaciones que más encontramos en América Latina, y más específicamente la costa Atlántica en Colombia). En cada una de los dos tipos de estructuras, se evalúan once parámetros, y a cada uno se le da una importancia. Al final la sumatoria de los once parámetros multiplicados por sus coeficientes, da el índice de Vulnerabilidad de la estructura, en la que a medida que va subiendo, ese valor, la edificación es más vulnerable.

➤ **Método de la AIS**

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS (2001) desarrolló este método, el cual determina la vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería, evaluando 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, entrono, entre otros. Cada uno de ellos se califica mediante 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 presenta cualquiera de los aspectos estudiados.

3.4 Muestreo Estadístico

Generalmente, hallar el índice de vulnerabilidad de todas las edificaciones de una ciudad está fuera del alcance de las investigaciones, por lo que se hace

necesario recurrir a técnicas de muestreo con el fin de 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 [1]. 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.**- Es un conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. Esta debe estar bien definida para así tener claro los elementos que lo componen. No obstante, teniendo en cuenta las limitaciones para la obtención de la información, cuando se realiza un trabajo puntual, conviene distinguir entre la *población objetivo*, definida como el conjunto de elementos a los cuales se requiere extrapolar los resultados, y la *población estudiada*, definida como el conjunto de elementos accesibles en el estudio.

- **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 tan grande que exceda las posibilidades del investigador.

- **Muestra.**- Es en esencia un subgrupo de la población. Pocas veces se puede medir toda la población, por lo que seleccionamos una muestra que se espera sea un reflejo fiel del conjunto de la población. La selección de una muestra se recomienda cuando no es posible o recomendable realizar un censo de la población que se desea estudiar.

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.

CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE BENEDETTI-PETRINI

Se hace necesario que la metodología escogida para evaluar la calidad estructural ó vulnerabilidad sísmica se adecue a los objetivos del estudio. Aplicar metodologías detalladas implicaría costos muy elevados que en muchos casos no son viables e inclusive inadecuados, si es una zona de baja peligrosidad, sin embargo, aplicar metodologías simplificadas podría eliminar aspectos importantes para conocer el comportamiento general de un área. Por tal motivo, se eligió una metodología que no se encuentre en ninguno de los dos extremos, tratando de aprovechar las ventajas de cada uno de ellos, para realizar estudios a nivel urbano adecuados.

En este trabajo se decidió aplicar la Metodología del Índice de Vulnerabilidad propuesta por un grupo de investigadores italianos en 1982, que fue desarrollada a partir de la información de daño en edificios provocados por terremotos desde 1976. Este método ha sido utilizado en Italia con relativa eficacia debido a la extensa base de datos recolectada con el índice de vulnerabilidad de cada edificio y el daño sufrido por terremotos de determinada intensidad en dicho país, y no sólo se ha aplicado en este país sino en otros países europeos con éxito.

La aplicación de este método en Centroamérica y Sudamérica tiene como ejemplos a Guatemala y Colombia respectivamente. En el Perú también se ha venido aplicando este método para determinar, por ejemplo, el riesgo sísmico en el Centro Histórico de Chiclayo (J. Julca, E. Orbegoso), en Ayacucho (N. Quispe, 2004), la vulnerabilidad sísmica en los distritos de Lurín, de Ate (K. Reque, 2003), entre otros. Esta metodología se desarrolló poniendo un interés especial en las edificaciones de mampostería no reforzada que son las construcciones con mayor porcentaje en Italia y en general en muchas partes del mundo, como en la zona donde se realizará la evaluación de vulnerabilidad para el presente informe de suficiencia.

4.1 Introducción

El método del índice de vulnerabilidad se comienza a desarrollar en Italia con motivo de los estudios post-terremotos realizados a partir de 1976. El método se

describe en 1982, año a partir del cual empieza su utilización en numerosas ocasiones. Como resultado de ello se obtiene un importante banco de datos sobre daños de edificios para diferentes intensidades de terremotos y las comprobaciones realizadas demuestran buenos resultados en la aplicación del método. Este método puede clasificarse como *subjetivo*, tal como se mostró en el capítulo anterior, debido a que realiza una calificación subjetiva de los edificios apoyándose en cálculos simplificados de estructuras, intentando identificar los parámetros más relevantes que controlan el daño estructural.

El método ha sido desarrollado tanto para el estudio de estructuras de *mampostería* como para el de estructuras de *hormigón armado*; sin embargo, gran parte del esfuerzo realizado para su estudio y aplicación ha sido dedicado a las primeras, debido a la gran cantidad de edificios existentes en Italia y en América Latina [2]. La concepción del mismo método la hace aplicable a muchas tipologías de los dos grandes grupos de estructuras mencionadas, lo cual evita el enorme problema de tener que describir detalladamente la tipología específica de cada estructura y tener que utilizar descripciones de daño y funciones de vulnerabilidad que respondan exclusivamente a esa tipología, tal como la hacen otros métodos existentes de evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Esta es una de las principales ventajas que hace el método Italiano sea más eficiente.

El método utiliza un formulario de encuesta (Ver Anexo 02) que se realiza in situ para recoger información sobre las características más importantes de una determinada tipología constructiva o estructural que pueden influir en su vulnerabilidad. Hay en total 11 parámetros a evaluar, los cuales se describirán a continuación.

4.2 Descripción de Parámetros

Los parámetros son calificados en función de la escala numérica desarrollada por los autores del método, en la cual se le asigna una calificación o clase K_i a cada valor de la escala de gradación, desde A hasta D, donde A es óptimo y D es pésimo (Ver Tabla 4.1 – Para Mampostería no Reforzada). Una vez obtenidas las calificaciones parciales (A, B, C, D), de cada uno de los parámetros analizados, estas son afectadas por un factor de peso (W_i) según el grado de importancia de cada parámetro en relación con los demás. A partir de los valores

obtenidos, se cuantifica la vulnerabilidad global de la edificación mediante una suma ponderada, a este valor se lo conoce como Índice de Vulnerabilidad (I_V), según la expresión siguiente (Ecuación 4.1):

$$I_V = \sum_{i=1}^{11} K_i * W_i \quad \dots \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Tabla 4.1 Escala Numérica del Índice de Vulnerabilidad (MNR)

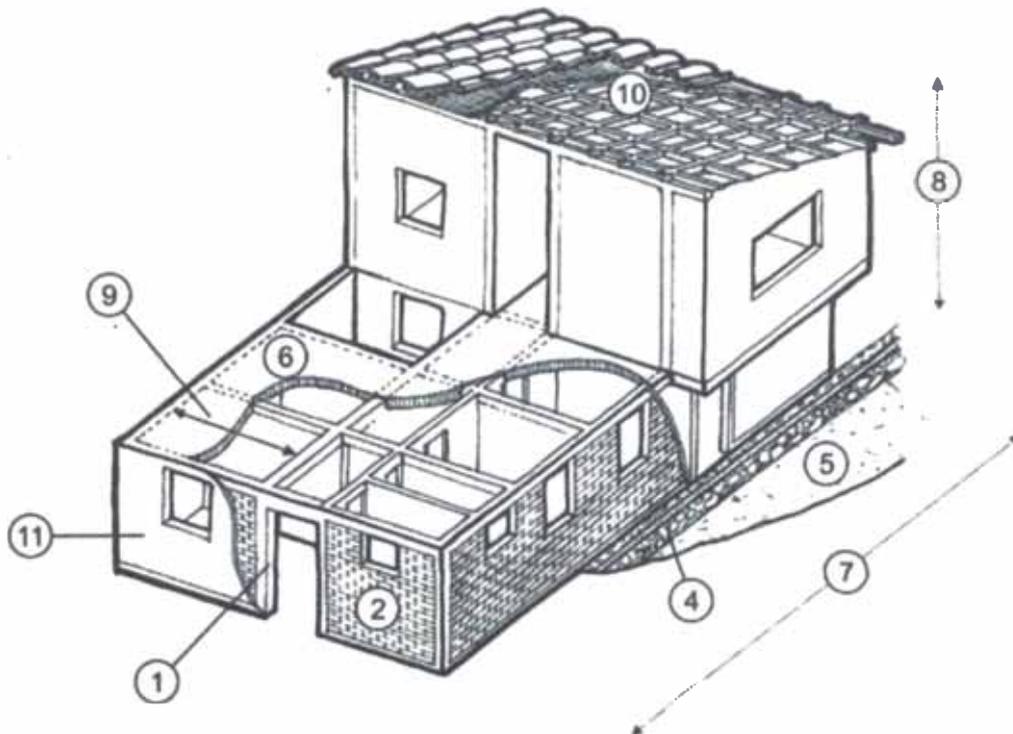
PARAMETROS	CLASE K_i				PESO
	A	B	C	D	W_i
1. Organización de sistema resistente	0	5	20	45	1.00
2. Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3. Resistencia convencional	0	5	25	45	1.50
4. Posición de edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5. Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1.00
6. Configuración en planta	0	5	25	45	0.50
7. Configuración en elevación	0	5	25	45	1.00
8. Distancia máxima entre los muros	0	5	25	45	0.25
9. Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.00
10. Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11. Estado de conservación	0	5	25	45	1.00

Fuente: Caicedo et al, 1994

Por ejemplo si el parámetro numérico cuatro "Posición del Edificio y Cimentación" corresponde a una categoría insegura desde el punto de vista sísmico, se le asigna la clase D y el valor numérico $K_4 = 45$.

Al analizar la ecuación 4.1 se puede deducir que el índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382.5 que es el máximo valor posible. Como puede verse en la Tabla 4.1 los parámetros 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11 son de naturaleza descriptiva, mientras que los parámetros 3, 6, 7 y 8 son de naturaleza cuantitativa y requieren de ciertas operaciones matemáticas muy sencillas.

La siguiente ilustración (Ver Figura 4.1) muestra los parámetros del método que se está utilizando para este trabajo de una manera didáctica de manera que se ubique en la vivienda ejemplo los parámetros.



- | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| (1) Sistema estructural | (7) Configuración en planta |
| (2) Calidad del sistema resistente | (8) Configuración en elevación |
| (3) Resistencia estructural | (9) Distancia máxima entre los muros |
| (4) Posición de la cimentación | (10) Tipo de cubierta |
| (5) Suelo y pendiente del terreno | (11) Estado de conservación |
| (6) Diafragmas horizontales | |

Figura 4.1 Parámetros del Método del Índice de Vulnerabilidad

Una vez obtenidos los valores para el índice de vulnerabilidad, es necesario clasificarlos de manera que se pueda determinar si el índice es alto, medio o bajo. Para ello se presenta la Tabla 4.2, la cual muestra cinco diferentes rangos para el índice de vulnerabilidad.

Tabla 4.2 Rangos de Clasificación del Índice de Vulnerabilidad

Rango	I_v
Bajo	$I_v \leq 150$
Medio Bajo	$150 < I_v \leq 170$
Medio	$170 < I_v \leq 190$
Alto	$190 < I_v \leq 230$
Muy Alto	$I_v > 231$

Fuente: Caicedo et al, 1994

A continuación una breve descripción de cada uno de los 11 parámetros del método con sus respectivas clases A, B, C y D. que servirá como instrucción al momento de levantar los datos en campo.

I. Organización del Sistema Resistente

Con este parámetro se evalúa el grado de organización de los elementos verticales prescindiendo del tipo de material. El elemento significativo es la presencia y la eficiencia de la conexión entre las paredes ortogonales con tal de asegurar el comportamiento en “cajón” de la estructura. Las clases son las siguientes:

- A)** Edificio construido de acuerdo con las recomendaciones de la norma.
- B)** Edificio que presenta en todas las plantas, conexiones realizadas mediante vigas de amarre en los muros, capaces de transmitir acciones cortantes verticales.
- C)** Edificio que, por no presentar vigas de amarre en todas las plantas, está construido únicamente por paredes ortogonales bien ligadas.
- D)** Edificio con paredes ortogonales no ligadas.

II. Calidad del Sistema Resistente

Con este parámetro se determina el tipo de mampostería más frecuentemente utilizada, diferenciando, de modo cualitativo, su característica de resistencia con el fin de asegurar la eficiencia del comportamiento en “cajón” de la estructura. La atribución de un edificio a una de las cuatro clases se efectúa en función de dos factores: por un lado, del tipo de material y de la forma de los elementos que constituyen la mampostería. Por otro lado, de la homogeneidad del material y de las piezas, por toda la extensión del muro. Las clases son las siguientes:

- A)** Mampostería en ladrillo o bloques prefabricados de buena calidad, mampostería en piedra bien cortada, con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro. Presencia de ligamento entre las piezas.
- B)** Mampostería en ladrillo, bloques o piedra bien cortada con piezas bien ligadas más no muy homogéneas en toda la extensión del muro.

- C) Mampostería en piedra mal cortada y con piezas no homogéneas, pero bien trabadas, en toda la extensión del muro. Ladrillos de baja calidad y privados de ligamento.
- D) Mampostería en piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad, con inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.

III. Resistencia Convencional

Con la hipótesis de un perfecto comportamiento en "cajón" de la estructura la evaluación de la resistencia de un edificio de mampostería puede ser calculada con razonable confiabilidad. El procedimiento utilizado requiere del levantamiento de los datos:

- ❖ **N** = Número de pisos.
- ❖ **A_t** = Área total de la cubierta (m²).
- ❖ **A_{x,y}** = Área total de los muros resistentes en el sentido X e Y respectivamente en (m²). El área resistente de los muros inclinados un ángulo α diferente de cero, respecto a la dirección considerada, se debe de multiplicar por $(\cos\alpha)^2$.
- ❖ **τ_k** = Resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en (ton/m²). En el caso de que la mampostería se componga de diferentes materiales, el valor de τ_k se determina como un promedio ponderado de los valores de resistencia a cortante para uno de los materiales τ_i , utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área A_i de cada uno de ellos (Ver Ecuación 4.2):

$$\tau_k = \frac{\sum(\tau_i \times A_i)}{\sum A_i} \quad \dots \text{ Ecuación 4.2}$$

- ❖ **h** = Altura media de los pisos en metros.
- ❖ **P_m** = Peso específico de la mampostería en ton/m³.
- ❖ **P_s** = Peso por unidad de área del diafragma en ton/m².

El coeficiente sísmico **C**, se define como el factor entre la naturaleza horizontal resistente al pie del edificio dividido entre el peso del mismo y esta dado por la expresión siguiente (Ecuación 4.3):

$$C = \frac{a_0 \tau_k}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1.5 a_0 \tau_k (1 + \gamma)}} \quad \dots \text{ Ecuación 4.3}$$

Donde:

$$A = \min \{A_x; A_y\}$$

$$B = \max \{A_x; A_y\}$$

$$a_0 = A/A_t$$

$$\gamma = B/A$$

$$q = \frac{(A + B)h}{A_t} P_m + P_s$$

El valor de q representa el peso de un piso por unidad de área cubierta y es igual al peso de los muros más el peso del diafragma horizontal, asumiendo que no existen variaciones excesivas de masa entre los diferentes pisos del edificio.

Finalmente, la atribución de este parámetro dentro de una de las cuatro clases A, B, C y D se hace por medio del factor $\alpha = C / \bar{C}$ en donde \bar{C} es un coeficiente sísmico de referencia que se toma como 0.40.

- A) Edificio con $\alpha \geq 1.00$
- B) Edificio con $0.60 \leq \alpha < 1.00$
- C) Edificio con $0.40 \leq \alpha < 0.60$
- D) Edificio con $\alpha < 0.40$

IV. Posición del Edificio y de la Cimentación

Con este parámetro se evalúa, hasta donde es posible por medio de una simple inspección visual, la influencia del terreno y de la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio. Para ello se tienen en cuenta algunos aspectos, tales como: la consistencia y la pendiente del terreno, la eventual ubicación de la cimentación a diferente cota y la presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén. Se reporta una de las clases. Las clases son las siguientes:

- A) Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de un empuje no equilibrado debido a un terraplén.

- B)** Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre 10% y 30% o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- C)** Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 20% y un 30% o sobre terreno rocoso, con pendiente comprendida entre un 30 y 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- D)** Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor al 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

V. Diafragmas Horizontales

La calidad de los diafragmas tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. Las clases son las siguientes:

- A)** Edificios con diafragmas de cualquier naturaleza que satisfacen las condiciones:
 - 1)** Ausencia de planos a desnivel
 - 2)** La deformabilidad del diafragma es despreciable
 - 3)** La conexión entre el diafragma y el muro es eficaz
- B)** Edificio con diafragmas como los de la clase A pero que no cumplen con la condición 1)
- C)** Edificio con diafragmas como los de la clase A pero que no cumplen con la condición 1) y 2).
- D)** Edificios cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones.

VI. Configuración en Planta

El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma en planta del mismo, en el caso de edificios rectangulares es significativo la relación $\beta_1 = a/L$, entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las protuberancias del cuerpo principal mediante la relación $\beta_2 = b/L$. En la siguiente Figura 4.2 se explica el significado de los dos valores que se

deben reportar, mostrándose diversos casos a presentarse, para lo cual se evalúa siempre el caso más favorable.

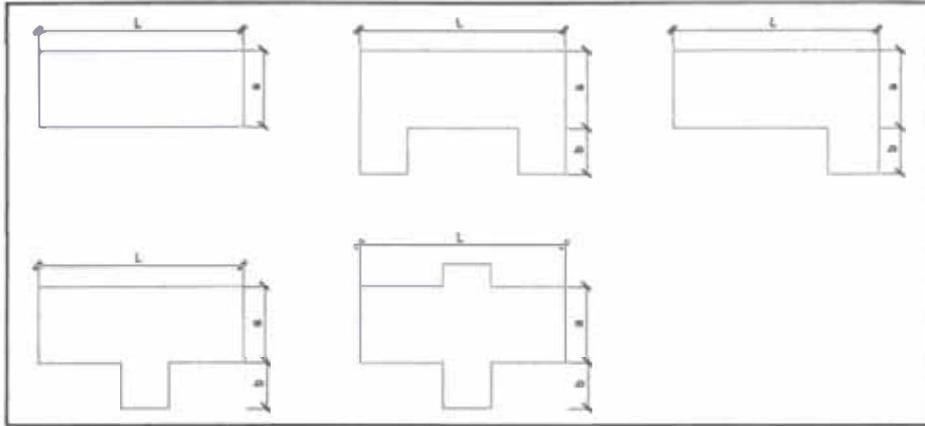


Figura 4.2 Ejemplo de configuraciones en planta

La asignación de este parámetro dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A) Edificio con $\beta_1 \geq 0.80$ ó $\beta_2 \leq 0.1$
- B) Edificio con $0.80 > \beta_1 \geq 0.60$ ó $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$
- C) Edificio con $0.60 > \beta_1 \geq 0.40$ ó $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$
- D) Edificio con $0.40 > \beta_1$ ó $0.30 < \beta_2$

VII. Configuración en Elevación

En el caso de edificios de mampostería, sobre todo para los más antiguos la principal causa de irregularidades está constituida por la presencia de porches (es decir, la entrada a un edificio o zona lateral del mismo cubierta por una techumbre adosada a él) y torretas. La presencia de estos se reporta como la relación porcentual entre el área en planta del mismo y la superficie total del piso. La presencia de torretas de altura y masa significativa respecto a la parte restante del edificio se reporta mediante la relación T/H; tal como se indica en la Figura 4.3.

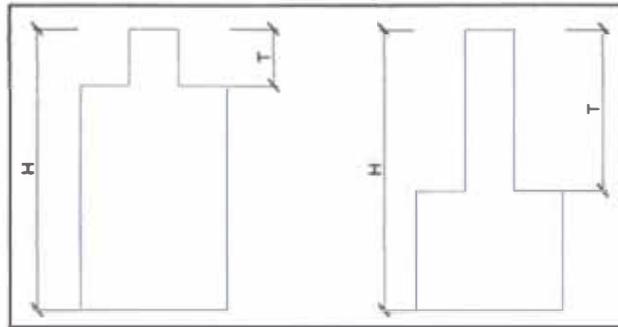


Figura 4.3 Ejemplo de configuraciones en elevación

También se reporta la variación de masa en porcentaje $\pm\Delta M/M$ entre dos pisos sucesivos, siendo M la masa del piso más bajo y utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio. La anterior relación puede ser sustituida por la variación de áreas respectivas $\pm A/A$, evaluando en cualquiera de los dos casos el más desfavorable. Las clases son las siguientes:

- A) Edificio con $-\Delta M/M < 10\%$
- B) Superficie porche $< 10\%$ ó $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$
- C) Superficie porche = $10\% \sim 20\%$ ó $-\Delta M/M > 20\%$ ó $T/H < 2/3$
- D) Superficie porche $> 20\%$ ó $-\Delta M/M > 0$ ó $T/H > 2/3$

VIII. Distancia Máxima entre los Muros

Con este parámetro se tiene en cuenta la presencia de muros maestros intersectados por muros transversales ubicados a distancia excesiva entre ellos. Se reporta el factor L/S donde L es el espaciamiento de los muros transversales y S el espesor del muro maestro, evaluando siempre el caso más desfavorable. Las clases son las siguientes:

- A) Edificio con $L/S < 15$
- B) Edificio con $15 \leq L/S < 18$
- C) Edificio con $18 \leq L/S < 25$
- D) Edificio con $L/S \geq 25$

IX. Tipo de Cubierta

Se tiene en cuenta con este parámetro, la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas. Las clases son las siguientes:

- A) Edificio con cubierta estable y provista de viga cumbreira. Edificio o con cubierta plana.

- B)** Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbreira. Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbreira.
- C)** Edificio con cubierta inestable, provista de viga cumbreira
- D)** Edificio con cubierta inestable, sin viga cumbreira.

X. Elementos No Estructurales

Se tiene en cuenta con este parámetro la presencia de cornisas, parapetos o cualquier otro elemento no estructural que pueda causar daño a personas o cosas. Se trata de un parámetro secundario para fines de la evaluación de la vulnerabilidad, por lo cual no se hace ninguna distinción entre las dos primeras clases. Las clases son las siguientes:

- A, B)** Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
- C)** Edificios de elementos de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared.
- D)** Edificio que presenta chimeneas o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal contruidos que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones contruidos posteriormente a la estructura principal y conectados a esta de modo deficiente.

XI. Estado de Conservación

Las Clases relativas a este parámetro son las siguientes:

- A)** Muros en buena condición sin lesiones visibles.
- B)** Muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.
- C)** Muros con lesiones de tamaño medio de 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificio que no presenta lesiones

pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.

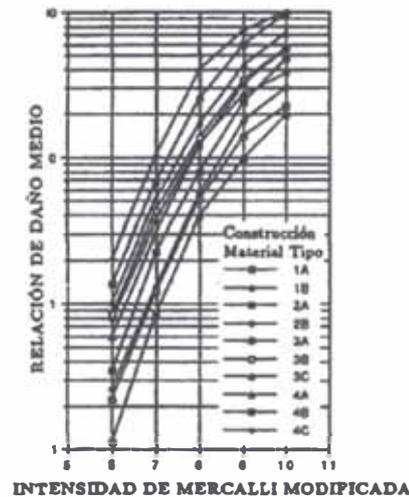
- D)** Muros que presentan un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.

4.3 Índice de Daño

El resultado esperado a partir de los estudios de Vulnerabilidad es el índice de daño que sufriría una estructura de una tipología dada, sometida a la acción de un sismo de determinadas características. Dicho resultado puede obtenerse, básicamente, mediante dos modalidades:

- ❖ La primera, mediante las denominadas *Matrices de Probabilidad de Daño*, expresando en forma discreta la probabilidad condicional $P\{D=j(i)\}$ de obtener un nivel de daño igual a j dado un sismo de tamaño i .
- ❖ La segunda posibilidad de obtener el índice de daño es mediante el uso de las denominadas *Funciones de Vulnerabilidad*, las cuales son relaciones gráficas o matemáticas que expresan en forma continua la vulnerabilidad en función de algún parámetro que describa el tamaño del sismo.

Una de las ventajas de las funciones de vulnerabilidad respecto a las matrices de probabilidad de daño es que permiten caracterizar la vulnerabilidad de un edificio o grupo de edificios similares dentro de una misma tipología (mediante el I_v), en vez de basarse en una definición de vulnerabilidad general para toda la tipología [1]. Ver ejemplo en Figura 4.4, donde se aprecia el daño en función de la intensidad sísmica por tipología estructural. Las curvas 1A y 1B representan estructuras de maderas, 2A y 2B estructuras de Acero, 3A, 3B y 3C estructuras de hormigón armado con o sin muros de corte, y 4A, 4B y 4C estructura de mampostería reforzada y no reforzada.



Fuente: Caballero, 2007

Figura 4.4 Ejemplo de Funciones de Vulnerabilidad

El Índice de Vulnerabilidad del método aplicado en este informe se relaciona directamente con la vulnerabilidad o grado de daño de la estructura mediante *funciones de vulnerabilidad*, las cuales permiten formular el índice de vulnerabilidad para cada grado de intensidad macrosísmica de terremoto y evaluar de manera rápida y sencilla la vulnerabilidad sísmica de edificios, condiciones que resultan imprescindibles para desarrollar estudios urbanos a gran escala. Estas se deducen por medio de regresiones estadísticas, a partir de los datos de daño observados como consecuencia de terremotos anteriores [2].

Existen diversas funciones de vulnerabilidad, dentro de las cuales destacan las propuestas por el profesor Angeletti et al (1988), el cual es uno de los impulsores de este Método del Índice de Vulnerabilidad al igual que Benedetti y Petrinni. Angeletti propone una regresión para la función de vulnerabilidad tal como se muestra en la Ecuación 4.4. Esto es fruto de varios análisis de los levantamientos después de los terremotos en las localidades de Venzone y Barrea en Italia.

$$D = 100 * \left[\rho + k * IV + \frac{I_v^2}{I_v^2 + A^2} \right] \quad \dots \text{Ecuación 4.4}$$

Donde los coeficientes de regresión ρ , k , A dependen de la Intensidad Sísmica I , como se observa en la Tabla 4.3, donde son mostrados los valores de los

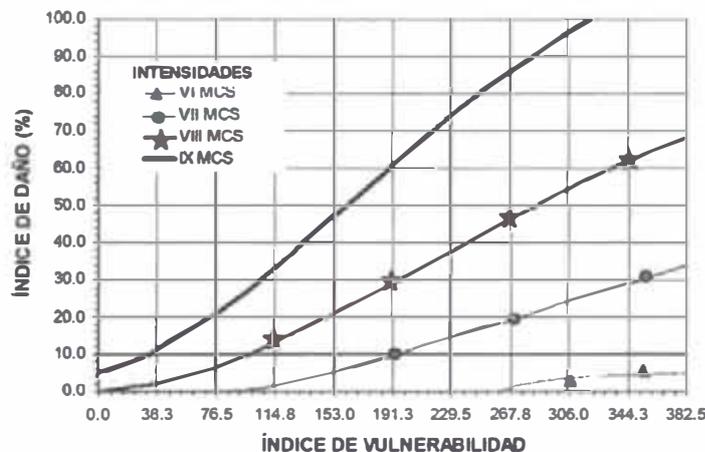
coeficientes. Los grados de intensidad sísmica mostrados corresponden a la escala MSK (Ver Anexo 01 correspondiente a Escalas de Intensidades Sísmicas).

Tabla 4.3 Coeficientes de regresión propuestos por Angeletti et al.

Intensidad	ρ	k	A
6	-0.08934	-0.00115	-325.7573
7	-0.03505	-2.07×10^{-5}	-484.5664
8	-0.00861	4.643×10^{-4}	-369.0801
9	0.05	0.00108	-259.3114
10	0.017	0.00239	-211.4026

Fuente: Caicedo et al, 1994

En la Figura 4.5 se puede apreciar las curvas creadas a partir de la ecuación 4.4 y los valores de la Tabla 4.3 para las intensidades sísmicas del VI al IX en la escala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) que es antecesora de la escala Mercalli Modificada.



Fuente: Mena, 2002

Figura 4.5 Funciones de vulnerabilidad - Angeletti et al, 1988.

El resultado final de los cálculos mediante la Ecuación 4.4 es un Índice de Daño (D) que varía entre 0 y 100 (es decir el porcentaje de daño global de la estructura). Estos valores corresponden a un determinado rango de daño mostrado en la Tabla 4.4, la cual será usada en este informe.

Tabla 4.4 Rangos de Clasificación del Índice de Daño

Rango	D
Ligero	$D \leq 20$
Moderado	$20 < D \leq 40$
Grave	$40 < D \leq 60$
Destrucción	$60 < D \leq 80$
Colapso	$D > 80$

Fuente: Caicedo et al, 1994

4.4 Comentarios sobre el Método

Una de las ventajas del método es la relativa facilidad con la que se describe la vulnerabilidad del edificio por medio del índice de vulnerabilidad. Este índice por sí sólo puede ser utilizado como herramienta de decisión en los planes de mitigación de desastres a escala urbana. Este método posee un nivel de detallamiento superior al de los métodos basados en tipologías estructurales, tal como los que utilizan matrices de probabilidad de daño para describir la vulnerabilidad de los edificios.

La extensa base de datos recolectada en Italia ha mostrado la relativa eficacia con la que este método describe la vulnerabilidad de los edificios de mampostería. Sin embargo, un inconveniente que se presenta para la definición de las funciones de vulnerabilidad consiste en que, para su deducción, se requieren datos de daño observado, los cuales no están disponibles en la mayoría de casos. Algunos autores recalcan la existencia de un "factor país", es decir, que las mencionadas funciones no pueden ser aplicadas directamente a cualquier región del mundo [11], sino que deben adecuarse factores locales que indican la forma de las curvas. Por lo tanto resulta esencial la obtención de funciones de vulnerabilidad para las diferentes regiones donde se requieren estudios de riesgo sísmico.

El método utiliza la experiencia del experto como base de conocimiento para determinar la vulnerabilidad de los edificios. Por una parte, este conocimiento tiene un valor incalculable a la hora de predecir efectos cuya modelación matemática aún no está bien desarrollada, pero, por otro lado, esta información debe ser utilizada con cautela debido a que la opinión subjetiva del observador es difícil de "calibrar".

CAPÍTULO V: SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES

Durante los años 80, los análisis de riesgos se realizaban utilizando técnicas analógicas, como la superposición manual de mapas temáticos, los cuales son utilizados para representar diferentes aspectos de la vida económica, social, ambiental, la historia, etc. de una región, país o continente. Sin embargo, técnicas de este tipo tenían fuertes limitaciones para el análisis debido al impedimento físico de no poder superponer más que un número pequeño de mapas [10]. Como tal, resultaban insuficientes para manejar grandes volúmenes de datos o para realizar operaciones espaciales más sofisticadas. Ante estos inconvenientes y, paralelamente, con el avance tecnológico de los ordenadores es que se introducen en el campo del análisis de riesgos, vulnerabilidades y estimación de daños, los sistemas digitales de información, como los SIG.

Los Sistemas de Información Geográfica han venido a facilitar la implementación de las metodologías de análisis, el manejo de la información y, sobre todo, la visualización de resultados, gracias a su capacidad georeferencial. Además la poderosa estructura, en la que están contruidos, facilita el manejo de los datos de una manera rápida y sencilla. Los SIG son un sistema organizado de equipo informático, software, datos geográficos y descriptivos, así como diseños personales para hacer más eficiente la captura, almacenamiento, actualización, manipulación, análisis y despliegue de todas las formas de información georeferenciada como se aprecia en la Figura 5.1.



Figura 5.1 Ejemplos de Aplicación de los SIG

Estos avances tienen el objetivo principal de buscar estrategias para reducir el riesgo sísmico en una determinada población. De forma muy resumida, se puede decir que un sistema de información geográfico combina las utilidades básicas de un sistema gráfico con la potencia y capacidad de una base de datos, compartiendo información de estos dos sistemas de forma transparente para el usuario.

Cada día se hace más común la utilización de los SIG para el manejo, tratamiento, representación e interpretación de la información que normalmente se utiliza durante diversos estudios dentro del campo de la ingeniería sísmica, especialmente en el área de la peligrosidad, en los cuales el manejo de la abundante información hace que sea necesario su almacenamiento informático en una base de datos, lo que permite que los cálculos numéricos y estadísticos se realicen con mayor efectividad.

El método del Índice de vulnerabilidad utilizado en el presente trabajo se ha combinado con la aplicación de los SIG, de tal manera que se han realizado algunas rutinas en el programa ArcGis 10.0 para poder calcular el índice de vulnerabilidad y el grado de daño suponiendo un sismo de una determinada intensidad. Todo ello permitirá visualizar la distribución espacial de la vulnerabilidad sísmica y del daño esperado.

5.1 Ventajas

La utilización de los SIG permite obtener diversidad de mapas temáticos, según la información que se haya recopilado, ya sea gráfica y/o alfanumérica. Esto sugiere una gran ventaja porque, por ejemplo, permiten determinar las áreas y su extensión donde se deben evitar fuertes inversiones de capital o donde se deben considerar sólo actividades menos susceptibles a terremotos, si es que se realizó un estudio de peligro sísmico. De la misma manera, estas áreas expuestas junto a datos socio-económicos y de infraestructura, pueden proporcionar el número de personas o la infraestructura, que pueden estar en situación de riesgo.

Mediante la superposición de diferentes capas de información, se pueden generar mapas completos, para realizar análisis y generación de reportes

gráficos entendibles para una persona que no está familiarizada con el tema. Además, los SIG incorporan diversas funciones de visualización, incluyendo recursos tridimensionales. Los cálculos de: longitud, área, perímetro e intersecciones entre distintas unidades geográficas, pueden ser realizados y detectados con precisión.

Por otro lado, una vez ocurrido el desastre, los SIG son esenciales para una pronta respuesta de las autoridades civiles de una manera ordenada y prioritaria en aquellos lugares donde se determinó que los daños podrían ser mayores [4]. La aplicación de los SIG ayuda a determinar las zonas con mayor probabilidad de daño, localizando a su vez los sistemas de emergencia más cercanos y las zonas que pueden utilizarse como áreas de resguardo para la población. También se pueden fijar las prioridades necesarias durante los planes de reconstrucción.

En comparación con otros tipos de software para la representación gráfica de información, tal como los CAD (Computer Aided Design), los SIG mantienen la relación espacial de los objetos almacenados en la memoria del ordenador y permiten la asignación a dichos objetos de cualquier información que sea posible almacenar en una base de datos. Esta información hace posible que los objetos no solo puedan ser relacionados entre sí de forma gráfica, sino también mediante operaciones lógicas o matemáticas complejas.

Un SIG puede capturar datos geográficos en diferentes formatos; por ejemplo, mapas analógicos digitalizados, imágenes de satélite y datos alfanuméricos georeferenciados, y puede también almacenar grandes volúmenes de datos en un formato digital en diferentes estructuras de bases de datos. Aproximadamente el 90% de las exigencias de información, de quienes toman decisiones en emergencias y a su vez definen políticas de las mismas, están relacionadas con una ubicación geográfica y sus características.

El uso de los SIG puede ser barato, si es que hay una selección adecuada de equipos; puede multiplicar la productividad, reducir costos y dar resultados de más alta calidad que técnicas manuales. Adicionalmente, puede mejorar la amplitud y profundidad de los análisis de riesgos. El uso de un SIG puede

ahorrar tiempo en la preparación de mapas y facilitar la evaluación de diferentes estrategias de desarrollo, referente a usos de tierra existentes y potenciales. Mediante la combinación de diferentes fuentes de información, un SIG puede descubrir información nueva y valiosa sobre los riesgos, que permita ayudar a los planificadores a evaluar el impacto de las amenazas en actividades de desarrollo existentes y propuestas [4].

5.2 Limitaciones

Se debe tener en cuenta que un SIG no siempre es aplicable a una situación determinada y puede no ser provechoso. Los planificadores necesitan evaluar meticulosamente las necesidades de un SIG en términos de objetivos y aplicaciones específicas antes de decidir adquirirlo. Si se sobre estiman las necesidades en la integración de un SIG, ello se traduce en pérdida en muchos aspectos, como por ejemplo el aspecto económico, porque se tendrá equipo con más capacidad que la necesaria, o que en determinado momento llegue a necesitarse. Además, esto implica personal más especializado para manejarlo.

La confiabilidad de cualquier análisis generado en un SIG dependerá principalmente de la calidad de la información tabular geográfica. Hay muchos aspectos que pueden influir en la calidad de los análisis obtenidos, por ejemplo, si se realiza un análisis en un mapa a escala 1:25,000 sobre información geográfica creada a escala 1:100,000, la calidad de lo generado no se puede garantizar, ya que se obtienen resultados en una escala con mayor resolución de la que se cuenta. En este caso, la información obtenida solo sería fiable si se diera el caso inverso al descrito.

Muchas veces los resultados no superan las expectativas de los usuarios, esto se debe principalmente a la calidad de la información que se ingresa, o la forma en que se maneja e integra, porque debe estar bien organizada para tener buenos resultados. Por lo tanto, es necesario que exista personal capacitado y con experiencia acorde a las necesidades que el sistema requiera.

En el caso específico de este informe de suficiencia, la información obtenida se ha limitado a algunas manzanas, por lo que es necesario que la base de datos

catastral digitalizada se amplia de manera que el análisis de la vulnerabilidad sísmica del Centro Poblado de Medio Mundo sea realizado al 100%.

5.3 Equipo y Software Necesario

5.3.1 Hardware

El equipo necesario para los estudios debe resolver las necesidades de actualización, administración, visualización, producción cartográfica y capacidad de almacenamientos de información. El equipo que integra un SIG es individual para cada caso específico dependiendo de los alcances que se desean obtener.

La computadora se debe seleccionar acorde al volumen de información que administrará, ya que pueden utilizarse desde una computadora personal, hasta computadoras basadas en procesadores de gran capacidad con servidores de bases de datos geográficos. Otro factor decisivo en la selección del equipo, es la compatibilidad y la cantidad de programas que debe soportar. Por lo tanto, la integración del equipo SIG, es el resultado de una estimación para cada caso específico, realizado por una persona con experiencia en el tema. Se recomienda usar para este tipo de labores de investigación lo siguiente:

- Computadora Core i5 con Memoria RAM 4Gb y Disco Duro de 500 Gb.

Actualmente, las computadoras estándar permiten realizar consultas e informes de bases de datos localizadas en administraciones de gran envergadura. También, es necesario dotarse de otros periféricos importantes como impresoras o plotters de gran formato, equipos GPS, sistemas de almacenamiento de datos masivos, cámaras fotográficas digitales, etc.

5.3.2 Software

El software es el encargado de facilitar la captura de información, administración y la realización de consultas. Para la selección de las herramientas SIG, se debe buscar un grupo de programas que permitan alcanzar los objetivos del estudio, todo conceptualizado para el alcance real del proyecto. Entre las herramientas líderes en el campo de los SIG a nivel mundial, están los productos de ESRI, tales como: ArcGis, Spatial Analyst y 3d Analyst, herramientas netamente orientadas a la manipulación y análisis de datos espaciales.

También se deben mencionar las herramientas que permitan capturar o crear información georeferenciada. Porque los programas mencionados anteriormente tienen algunas opciones para captura y generación de datos espaciales. Sin embargo, son funciones básicas, existiendo otras herramientas orientadas a este tipo de trabajo. Sin embargo, existen herramientas especializadas para la captura de datos como Autocad, que es un programa muy utilizado mundialmente para la generación de cartografía.

La disponibilidad de programas SIG en el mercado, varía de acuerdo a la funcionalidad y costo. Hoy día, más de 100 sistemas comerciales se ofrecen en el mercado con las capacidades de un SIG [4]. Para el presente trabajo se utilizó el programa *ArcGis v. 10.0*, con el cual se generarán los mapas temáticos.

5.4 Personal Humano

El recurso humano es un elemento muy importante en los SIG de vulnerabilidad sísmica. Aunque se han desarrollado programas muy complejos que hacen la mayor parte de trabajo analítico, no llegan a ser tan inteligentes en la toma de decisiones, en diferentes procesos y evaluaciones de casos específicos. De acuerdo con el alcance que pueda tener la implementación de un proyecto SIG para la administración de estudios de vulnerabilidad sísmica, puede incluir el siguiente personal:

- ✓ Ingeniero experto en riesgo sísmico
- ✓ Experto en SIG
- ✓ Programador
- ✓ Técnicos para procesamiento en oficina
- ✓ Técnicos evaluadores de campo

El nivel de capacitación del personal será determinante en el éxito o fracaso del sistema, más que cualquier otro factor. Una limitante actual de la tecnología SIG, es la dificultad de las organizaciones y dependencias en encontrar expertos o especialistas que administren el sistema y desarrollen planes y programas que puedan ser aplicados. De aquí que la capacitación del personal involucrado, se convierte en la clave del éxito de los proyectos SIG.

CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ESCOGIDA EN ALGUNAS EDIFICACIONES DEL CENTRO POBLADO DE MEDIO MUNDO

La metodología escogida para determinar la vulnerabilidad sísmica en algunas edificaciones del Centro Poblado de Medio Mundo es la desarrollada por los investigadores italianos Benedetti y Petrini (1982) y conocida como Método del Índice de Vulnerabilidad, el cual fue desarrollado con mayor detenimiento en el capítulo 4 del presente trabajo. Tal como se mencionó en dicho capítulo, este método recoge la información sobre las características de una determinada tipología constructiva o estructural y la procesa para que mediante cálculos sencillos y la opinión subjetiva del investigador se determine el índice de vulnerabilidad de dicha edificación.

6.1 Edificaciones de la Zona de Estudio

Según se mencionó en el Capítulo I, el centro poblado ha sido dividido en dos zonas: I Etapa y II Etapa. Las manzanas escogidas para el estudio pertenecen a la II Etapa (74 manzanas y 875 lotes). Las 8 manzanas escogidas (06, 08, 12, 13, 14, 20, 21, 22) comprenden 164 lotes para el estudio de la vulnerabilidad sísmica, los cuales pueden apreciarse de color azul en la Figura 6.1 realizada en el entorno SIG para mostrar las viviendas estudiadas. (También se puede ver el Anexo 07 – Lámina 01).



Figura 6.1 Viviendas incluidas en el Estudio (Color Azul)

A continuación se presenta la Figura 6.2 realizada en entorno SIG que indica que la mayor cantidad de viviendas estudiadas tiene en sus muros material noble, es decir albañilería, que sin embargo es no reforzada. También se puede ver el Anexo 07 – Lámina 05.

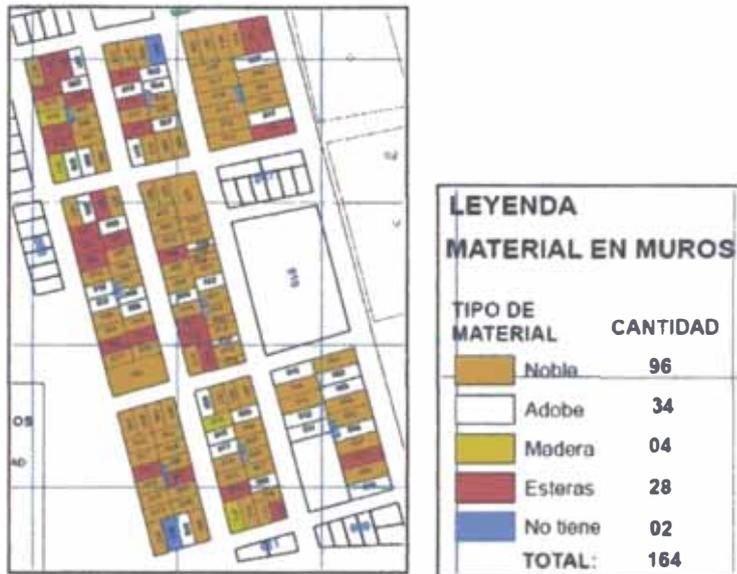


Figura 6.2 Material de Muro en Viviendas de Zona Estudiada

La Figura 6.3 presenta el material del que están cubiertas las viviendas estudiadas, encontrándose que la mayor parte de ellas es de Caña Guayaquil. También se puede ver el Anexo 07 – Lámina 06.

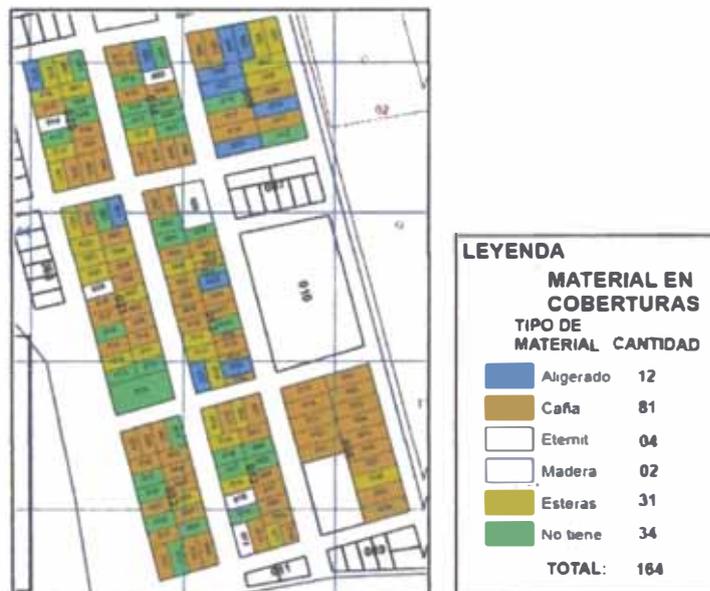


Figura 6.3 Material de Techo en Viviendas de Zona Estudiada

Finalmente, y no menos importante, es tener en cuenta la antigüedad de las viviendas estudiadas. La Figura 6.4, en entorno SIG, muestra los rangos de antigüedad teniendo en cuenta que la Norma de Diseño Sismorresistente más recientemente publicada es la del 2006 y la anterior es la del 2003. Puede verse también la Lámina 08 del Anexo 07.

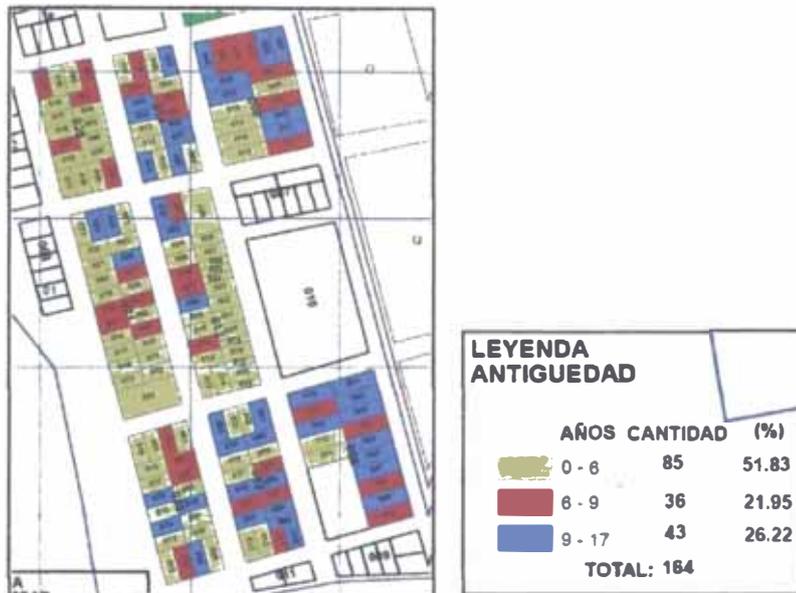


Figura 6.4 Antigüedad de Viviendas en Zona Estudiada

Fotografías de las principales edificaciones analizadas se pueden encontrar en el Anexo 03. Teniendo en consideración los datos anteriores y demás información levantada en campo, se procedió al cálculo de los índices de vulnerabilidad y daño en plataforma SIG (Ver ejemplos de cálculo de índice de vulnerabilidad en el Anexo 04).

6.2 Cálculo de los Índices de Vulnerabilidad

De acuerdo a lo descrito en los Capítulos 4 y 5, se procedió a la aplicación del Método del Índice de Vulnerabilidad en los 164 lotes escogidos. La base cartográfica, es decir planos, ya se había importado y georeferenciado en el programa ArcGis 10.0 y la base de datos alfanuméricas también. El vínculo entre ambas bases también se realizó a través del ID_LOTES, que es un código que contiene el número de manzana y de lote, aparte de otros datos catastrales. Esto se puede apreciar en la Figura 6.5, donde vemos por un lado la parte alfanumérica y la parte gráfica vinculada, que es uno de los aportes del entorno

SIG. Era necesario, entonces, realizar rutinas de programación que relacionen las columnas de la base alfanumérica en el mismo programa para poder obtener los índices de vulnerabilidad. Se mostrarán algunas de las rutinas aplicadas ya que por cuestiones de espacio no se podrían mostrar todas. Estas rutinas están basadas en las ecuaciones expuestas en el Capítulo 4.

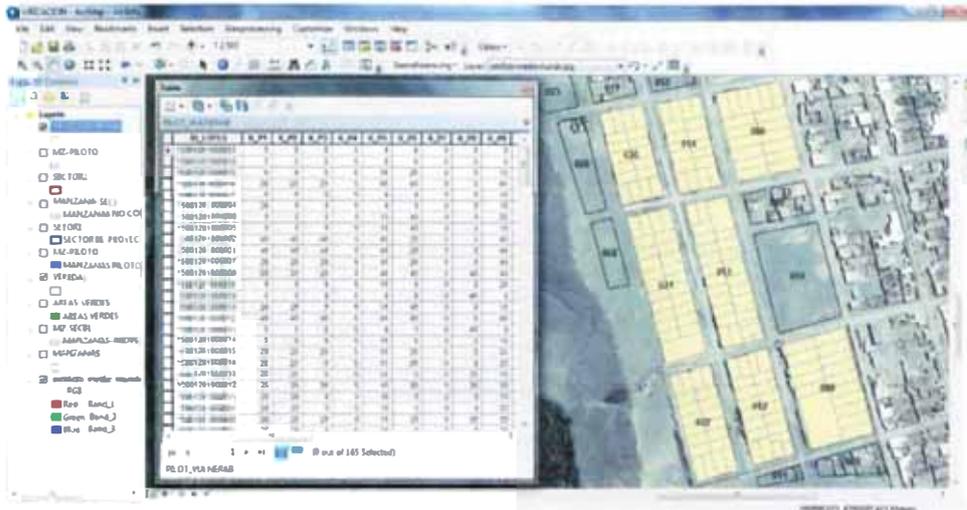


Figura 6.5 Base gráfica vinculada a base alfanumérica en ArcGis

La siguiente Figura 6.6 muestra un ejemplo de cómo se programó la rutina para el cálculo del índice de vulnerabilidad en ArcGis usando lenguaje de programación de Visual Basic o VB Script.

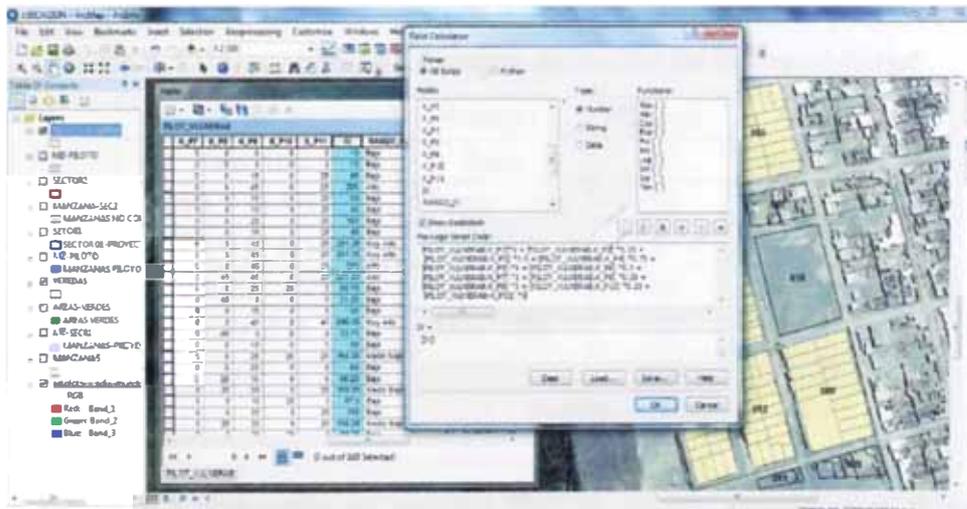


Figura 6.6 Programación en ArcGis para hallar el Índice de Vulnerabilidad

A continuación unos ejemplos de programación con lenguaje de Visual Basic usados en el presente trabajo para determinar el valor de los parámetros del método aplicado y el rango del valor de vulnerabilidad (Ver Figura 6.7).

```

if ([Hoja1$.Clase_P3]="A") then
[PILOT_VULNERAB.K_P3] =0
elseif ([Hoja1$.Clase_P3]="B") then
[PILOT_VULNERAB.K_P3] =5
elseif ([Hoja1$.Clase_P3]="C") then
[PILOT_VULNERAB.K_P3] =25
else
[PILOT_VULNERAB.K_P3] =45
end if

if ( [PILOT_VULNERAB.IV] >231) then
[PILOT_VULNERAB.RANGO_IV] ="Muy Alto"
elseif ( [PILOT_VULNERAB.IV] >190) then
[PILOT_VULNERAB.RANGO_IV] ="Alto"
elseif ( [PILOT_VULNERAB.IV] >170) then
[PILOT_VULNERAB.RANGO_IV] ="Medio"
elseif ( [PILOT_VULNERAB.IV] >150) then
[PILOT_VULNERAB.RANGO_IV] ="Medio Bajo"
else
[PILOT_VULNERAB.RANGO_IV] ="Bajo"
end if
    
```

Figura 6.7 Rutinas de programación en ArcGis

Luego de realizada la programación, se consiguieron los siguientes resultados, los cuales se muestran en tablas y figuras. En primer lugar se muestran la Tabla 6.1 en la que se aprecian los rangos propuestos por el método aplicado y la cantidad de viviendas en el rango específico.

Tabla 6.1 Porcentajes de Rangos de Índice de Vulnerabilidad

Iv	Rango	Casos	%
$Iv \leq 150$	Bajo	70	42.68
$150 < Iv \leq 170$	Medio Bajo	22	13.41
$170 < Iv \leq 190$	Medio	8	4.88
$190 < Iv \leq 230$	Alto	35	21.34
$Iv > 231$	Muy Alto	29	17.68
Total		164	100.00

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 6.8 elaborada en entorno SIG se puede apreciar que el mayor porcentaje de viviendas (42.68%) tiene un índice de vulnerabilidad sísmico bajo, mientras que un 21.34 % de viviendas tiene un alto índice de vulnerabilidad.

Puede verse la distribución de rangos de vulnerabilidad por edificios en la (Ver también la Lámina 09 del Anexo 07).

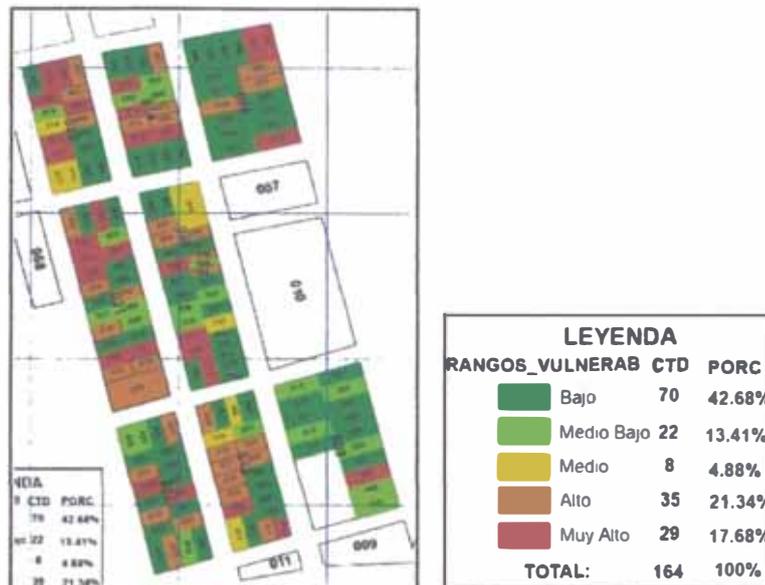


Figura 6.8 Rangos de Índice de Vulnerabilidad en Zona de Estudio

6.3 Cálculo de los Índices de Daño

La obtención de estos índices se hizo en base a funciones de vulnerabilidad para el presente trabajo aplicando los conceptos expuestos en el Capítulo 4. Los resultados obtenidos se presentan en tablas y gráficos. En primer lugar se muestra la Tabla 6.2, la cual muestra el escenario de daños para las intensidades 6, 7 y 8 de la escala de Intensidades MSK en el Centro Poblado de Medio Mundo.

Tabla 6.2 Porcentajes de Viviendas por Rango de Daño (I6 – I8)

Rango de Daño	I6 (MSK)		I7 (MSK)		I8 (MSK)	
	Casos	%	Casos	%	Casos	%
Ligero	164	100.00	157	95.73	70	42.68
Moderado	0	0.00	7	4.27	65	39.63
Grave	0	0.00	0	0.00	29	17.68
Destrucción	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Colapso	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Total	164	100.00	164	100.00	164	100.00

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 6.3 muestra el escenario de daños para las intensidades 9 y 10 de la escala de Intensidades MSK en el Centro Poblado de Medio Mundo.

Tabla 6.3 Porcentajes de Viviendas por Rango de Daño (I9 – I10)

Rango de Daño	I9 (MSK)		I10 (MSK)	
	Casos	%	Casos	%
Ligero	15	9.15	8	4.88
Moderado	55	33.54	30	18.29
Grave	29	17.68	32	19.51
Destrucción	38	23.17	21	12.80
Colapso	27	16.46	73	44.51
Total	164	100.00	164	100.00

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 6.9, elaborada en entorno SIG, muestra los resultados de índices de daño para la Intensidad IX (MSK) donde la mayor parte de viviendas (33.54%) tendrían un daño moderado a esa intensidad sísmica. Ver también Anexo 07 – Lámina 13.

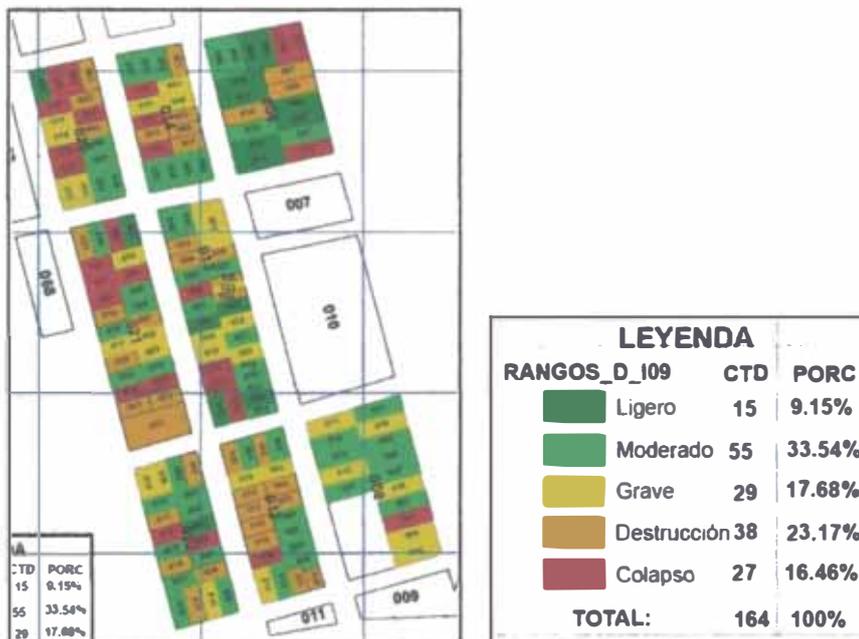


Figura 6.9 Escenario de Daños para una Intensidad IX (MSK)

Las funciones de vulnerabilidad aplicadas en el presente trabajo muestran variación a medida que aumenta la intensidad sísmica cumpliéndose la lógica que a mayor intensidad, debe haber mayor daño. Esto se puede apreciar en la

Figura 6.10, donde se muestran las variaciones de los rangos (ligero, moderado, grave, destrucción y colapso) de daños en función del aumento de intensidad sísmica.

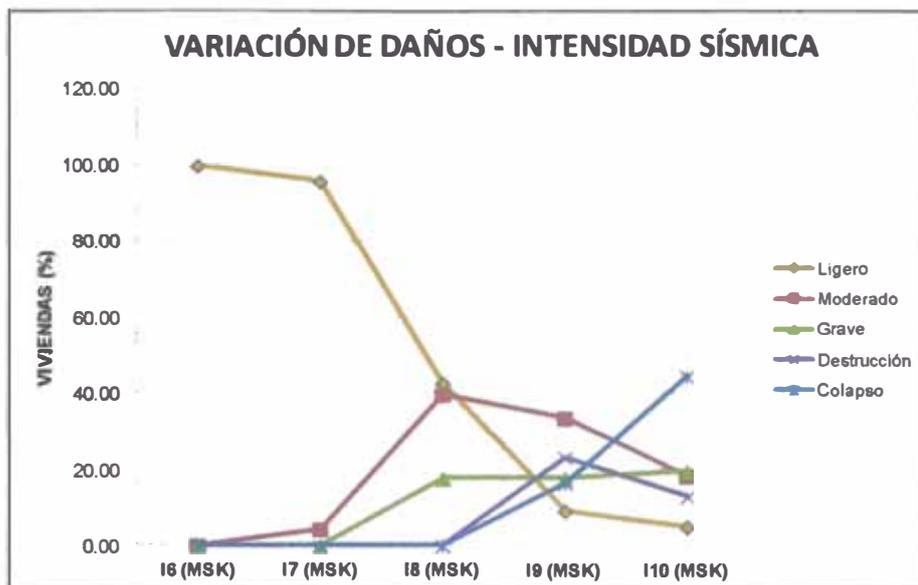


Figura 6.10 Variación del Porcentaje de Viviendas con determinado rango de daño en función del aumento de la intensidad sísmica.

En las Láminas 09 hasta la 13 del Anexo 06 se pueden apreciar los Mapas Temáticos relacionados con los diferentes escenarios de daños realizados en el programa ArcGis.

Cabe mencionar también que para generar estos mapas se tuvo que realizar breves rutinas que calculen el índice de daño para cada edificación y a la vez puedan clasificarse de acuerdo a la tabla de rango de daño mostrada en el capítulo 4. Todas ellas fueron programas con lenguaje de VB Script.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente informe de suficiencia tuvo por objetivo general evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones, el cual se logró bajo la metodología del Índice de Vulnerabilidad. Se obtuvieron los índices de vulnerabilidad y de daño de un grupo de viviendas representándose los resultados a través de mapas temáticos aplicando los Sistemas de Información Geográfica.

7.1 Conclusiones

Algunas conclusiones principales se mencionan a continuación:

- i) Realizar un estudio a escala mayor sobre la vulnerabilidad sísmica de edificaciones en el Centro Poblado de Medio Mundo, considerando que el trabajo actual es solo un proyecto piloto, servirá a la sociedad en general pues las decisiones que tomen las autoridades del lugar referentes a planeación urbana, prestación de servicios, protección civil, prevención de desastres, atención post-terremotos, entre otras, serán en base a un estudio técnico comprobado en distintas partes del mundo.
- ii) De la información sobre tipología estructural obtenida en campo, se determinó que la mayor parte de las edificaciones en análisis era de mampostería no reforzada y de adobe, que en conjunto hacen un 79.27% del total de viviendas estudiadas. Lo que constituye un peligro potencial siempre y cuando no se levanten con la correcta asesoría profesional ni con los materiales y técnicas adecuadas que actualmente existen (Normas y Publicaciones Técnicas de Centros de Investigación en Ingeniería Sísmica).
- iii) La mayor parte de las viviendas en estudio no tiene más de 6 años de antigüedad, que es el tiempo que ha pasado desde que salió publicada la última versión de la Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E.030. Sin embargo ninguna de ellas fue levantada teniendo en consideración las indicaciones de la norma, sino que fueron hechas mediante autoconstrucción, lo que lleva a tener una inadecuada estructuración y por ende la vulnerabilidad ante sismos es mucho mayor, lo cual también se vio reflejado en el primer parámetro del método aplicado, en el cual casi un 85% de las edificaciones tuvo una baja calificación.

- iv) Los resultados en cuanto a índices de vulnerabilidad que se obtuvieron en el estudio muestran que un 42.68% de las viviendas tienen una baja vulnerabilidad sísmica, lo cual parecería contradictorio teniendo en cuenta que son autoconstrucciones y algunas de ellas hechas de adobe; sin embargo se debe tener en cuenta que el hecho de tener sólo un piso, tener una configuración en planta casi cuadrada y no tener mayor número de elementos no estructurales influyen en la obtención final del índice de vulnerabilidad sísmica.
- v) Las edificaciones con vulnerabilidad alta y muy alta comprenden un 39.02% del total de viviendas en estudio. Se caracterizan generalmente por ser de esteras y aquellas que son de adobe o mampostería no tienen cobertura o si la tienen, esta no está bien articulada con los muros. Algunos de los muros no están ligados con los transversales a ellos, lo que aumenta su vulnerabilidad y no cumplen con la condición de que las estructuras tengan un comportamiento tipo “cajón”. Algunos de los problemas que también se vieron son relacionados a mantenimiento, lo cual aumenta considerablemente el índice de daño.
- vi) Los resultados obtenidos para índice de vulnerabilidad, sobre todo por el alto porcentaje de viviendas con baja vulnerabilidad sísmica cuando lo que se esperaba era un mayor índice de vulnerabilidad para las mismas, indican que el método de Benedetti-Petrini necesita un reajuste o calibración en sus parámetros a las condiciones encontradas en el centro poblado en relación al tipo de material y sistema resistente.
- vii) Teniendo los índices de vulnerabilidad sísmica se calcularon los escenarios de daños, para los cuales se utilizaron funciones de vulnerabilidad desarrolladas por el investigador Angeletti, las cuales son fruto de investigaciones post-terremotos en Italia; sin embargo para evaluaciones de daño es importante disponer de funciones de vulnerabilidad calibradas para la zona de estudio, ya que entre una ciudad y otra, hay diferencias significativas en cuanto a los procesos constructivos, tipos de materiales y mano de obra, lo que hace que las estructuras de una zona se comporten de manera diferente a las de otra. Por ello, los resultados del índice de daño no son necesariamente confiables para el caso de Medio Mundo.
- viii) La aplicación del SIG en la determinación de los índices de vulnerabilidad sísmica del presente trabajo ha permitido el ahorro de tiempo al momento

del procesamiento de datos y la presentación de resultados debido a la ventaja de poder vincular la base de datos alfanumérica con la cartográfica en un mismo programa computacional. También ha permitido el uso de menos personal técnico pues ya no hubo necesidad de tener personal específico que elaborara los mapas temáticos en otros ordenadores sino que la persona con dominio del programa del entorno SIG puede realizarlo con relativa rapidez y sencillez.

- ix) El presente estudio puede ser ampliado y sus resultados pueden ser actualizados ya que la base de datos alfanumérica que se realizó tiene la capacidad de ser aumentada incluyendo así nuevas manzanas y lotes de manera que pueda ser ingresada al programa ArcGis y vinculada con la base cartográfica que se encuentra ya en dicho programa para calcular nuevamente los índices de vulnerabilidad.

7.2 Recomendaciones

Algunas recomendaciones principales se mencionan a continuación:

- i) Se recomienda que al momento de ampliarse el estudio o actualizar la base de datos se capacite a los evaluadores en temas relativos a estructuras y tipologías estructurales con sus fallas más comunes para que su opinión sea válida y responsable pues los parámetros consideran cantidades, porcentajes y descripciones que obedecen necesariamente al buen juicio y a experiencia de los evaluadores.
- ii) Es aconsejable que antes de realizar un método como el aplicado en el presente trabajo, se cuenta con un plano de lotización actualizado y con un nivel de detalle adecuado, de manera que se tenga, antes de las visitas de campo, un plan para ser llevado a cabo en cuanto a las manzanas escogidas y, además, se pueda tener un preliminar de las medidas de los frentes de los lotes, las cuales son útiles para los cálculos de los parámetros. Toda esta información se puede tener cuando se realiza, mantiene y actualiza el catastro urbano del centro poblado.
- iii) Es importante que las edificaciones que presentan altos índices de vulnerabilidad mediante métodos cualitativos, sean evaluadas posteriormente por métodos cuantitativos, es decir con análisis estructural

minucioso, con equipamientos y laboratorios especializados para que se determinen finalmente las propuestas de reforzamiento con el fin de reducir la vulnerabilidad sísmicas de tales edificaciones.

- iv) Es importante estudiar los otros tipos de estructuras (maderas, esteras, estructuras metálicas, etc.) que no están consideradas en el método original del índice de vulnerabilidad de Benedetti- Petrini (mampostería no reforzada y concreto armado) por medio de metodologías adecuadas según sea el caso para así tener resultados completos de la zona, sin dejar estructuras por fuera del estudio, y a la vez, desarrollar funciones de vulnerabilidad para las restantes tipologías existentes en el centro poblado.
- v) Es recomendable adaptar los parámetros para el cálculo del índice de vulnerabilidad sísmica a la normatividad peruana pues permitirá la obtención de resultados más confiables y cercanos a la realidad de la zona de estudio.
- vi) Al tener un gran porcentaje de viviendas de mampostería no reforzada y de adobe se recomienda instruir a la población del centro poblado de Medio Mundo con charlas y difusión de publicaciones realizadas por centros especializados en investigaciones sísmicas como el CISMID con el fin de que construyan sus viviendas de manera adecuada y segura. Por ejemplo una de ellas es la “Guía para la Construcción con Albañilería” o el “Manual de Construcción de Edificaciones Antisísmicas de Adobe” publicado por la Dirección Nacional de Construcción del Ministerio de Vivienda.
- vii) Los estudios de zonificación geotécnica antes del desarrollo de un estudio de vulnerabilidad sísmica son de vital importancia y deben ser desarrollados para poder conocer las características del suelo sobre el cual están cimentadas las estructuras y tener mayor seguridad en los resultados obtenidos.
- viii) Al ser Medio Mundo un centro poblado en constante crecimiento, por su relativa juventud en cuanto a la creación del mismo, se hace imperioso que la Municipalidad de Vegueta tome interés en este tipo de estudios ya que a mayor densidad poblacional, mayor será la necesidad de viviendas, lo que conlleva a la autoconstrucción y mala utilización de los materiales, teniendo finalmente edificaciones altamente vulnerables ante los sismos de gran magnitud.
- ix) Para el trabajo de campo y procesamiento de datos realizados en este trabajo se puede recurrir a personal técnico con conocimientos básicos pero

sólidos en conceptos estructurales, como por ejemplo, estudiantes de pregrado de últimos ciclos, lo que puede beneficiar la eficiencia del método e incluso disminuir los costos de la aplicación del mismo ya que no es necesario contar con personal totalmente calificado y entrenado en investigaciones post-terremotos, tal como lo requieren otros métodos. Además es una excelente forma de generar trabajos de investigación en las universidades con facultades de ingeniería civil como la Universidad Faustino Sánchez Carrión de Huacho que es la más cercana a la zona de estudio.

- x) El aplicar un Sistema de Información Geográfica para analizar la vulnerabilidad sísmica ha implicado, en este trabajo, el uso de otros programas como los del entorno CAD y también programas especializados en tratamiento de imágenes satelitales, de manera que se hace necesario que el investigador, o la persona que procese los datos, tenga un conocimiento básico en programas como Autocad, Microsoft ICE, Irfanview, Itag, entre otros (teniendo en cuenta que no son los únicos) al momento de querer interactuar y vincular la información gráfica con el entorno del ArcGis ya que esto conllevará a que la presentación de resultados y mapas temáticos sea la más adecuada y entendible.
- xi) Se debe estar atento a las continuas mejoras que presentan los Sistemas de Información Geográfica para que se puedan incorporar a los estudios de vulnerabilidad sísmica y puedan ser cada vez mejor las presentaciones de resultados de estas investigaciones. Actualizar también el hardware que se utiliza para estar acorde al avance tecnológico y los programas del entorno SIG puedan ser usados sin problemas ni retrasos.
- xii) Para realizar estudios de vulnerabilidad sísmica de edificaciones aplicando un sistema de información geográfica, se debe hacer una relación minuciosa entre los alcances que se desean con respecto a los recursos económicos con los que se cuente. Es decir, realizar un análisis beneficio-costos, de manera que el estudio pueda ser provechoso para la Municipalidad sin tener que realizar gastos innecesarios.
- xiii) Se recomienda que la Municipalidad dé el apoyo necesario antes de realizar la aplicación del método del índice de vulnerabilidad pues para realizar los cálculos se necesitan algunos datos para los cuales es necesario ingresar a la casa y tomar medidas como distancias entre muros, espesores de muros,

alturas de piso, etc. y muchas veces las personas son reacias a dejar que un desconocido ingrese a sus casas, lo cual es muy comprensible pero que se puede evitar si la Municipalidad da alerta a los pobladores sobre la realización de este tipo de estudios para que así se brinden todas las facilidades posibles a los evaluadores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Caballero Guerrero Álvaro Rafael, "Determinación de la Vulnerabilidad Sísmica por medio del Método del Índice de Vulnerabilidad en las Estructuras ubicadas en el Centro Histórico de la Ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del Sistema de Información Geográfica", Tesis de Maestría - Universidad del Norte - Colombia - 2007
- [2] Caicedo C., Barbat A.H., Canas J.A., "Vulnerabilidad Sísmica de Edificios. Monografía de Ingeniería Sísmica", Editorial CIMNE, 1994.
- [3] Coarita Tintaya Grover Alfredo, "Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de la Biblioteca de la Universidad Agraria La Molina", Tesis de Grado – UNI-FIC – 2011
- [4] España Pixtún Isaías, "Aplicación de SIG en la Integración de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica Estructural en la Ciudad de Guatemala", Tesis de Grado – Guatemala, 2007
- [5] Gómez de Travesedo Menéndez Natalia, Durán Vargas Luis, Allemant Salas, Melissa, "Vulnerabilidades, Capacidades y Gestión de Riesgo en la República del Perú - Documento País", 2008
- [6] Juape Chamaya Danner Aleksei, "Vulnerabilidad Sísmica de centros educativos en el distrito del Rimac y análisis de riesgo sísmico para el reforzamiento del C.E. N°3006", Tesis de Grado – UNI-FIC – 2005
- [7] Kuroiwa J., "Reparación y Reforzamiento de Hospitales dañados por Sismo", CISMID-UNI, Lima, 1989
- [8] Kuroiwa J., Lázares F., "Escala de Intensidades Mercalli Modificada para los Países Andinos (M.M.A.-92)", XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Trujillo, Perú, 1997
- [9] Maldonado Rondón Esperanza, Gómez Araújo Iván, Chio Cho Gustavo, "Índice de Vulnerabilidad Sísmica en Edificaciones de Mampostería basado en la Opinión de Expertos", Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2007
- [10] Maskrey Andrew, "Navegando entre Brumas - La Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al Análisis de Riesgo en América Latina", Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 1998
- [11] Mena Hernández Ulises, "Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas - Memoria de la Tesis de Doctorado en Ingeniería Sísmica y Dinámica

- Estructural – Barcelona”, Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica – Universidad Politécnica de Cataluña, 2002
- [12] Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Minas y Asuntos Ambientales, “Estudio de Evaluación Ambiental Territorial y de Planteamientos para Reducción o Eliminación de la Contaminación de Origen Minero en la Cuenca del Rio Huaura”, 1998
- [13] Morales-Soto Nelson, Zavala Carlos, “Terremotos en el Litoral Central del Perú: ¿Podría ser Lima el Escenario de un Futuro Desastre? - Simposio: Emergencias y Desastres”, 2008
- [14] Norma E070 de Albañilería – Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima, 2006
- [15] Norma E080 de Adobe – Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima, 2006
- [16] Oficina de Defensa Civil - Gobierno Regional de Lima, “Plan Regional de Operaciones de Emergencia”, 2008
- [17] Peralta Buriticá Henry Adolfo, “Escenarios de Vulnerabilidad y Daño Sísmico de las Edificaciones de Mampostería de uno y dos pisos en el Barrio San Antonio, Cali, Colombia”, Tesis de Grado - Universidad del Valle - 2002
- [18] Pérez Pérez Edwin Fernando, “Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica Estructural del Barrio San Antonio en la Zona 6 de la Ciudad de Guatemala”, Tesis de Grado – UNSAC – Guatemala – 2005
- [19] Real Academia Española, “Diccionario de la Lengua Española”, Editorial Espasa – Calpe, Madrid, 1970
- [20] Reque Córdova Kelly, Ríos Vara José Francisco, “Aplicación de Sistemas de Información Geográfica para la Diagnósis de la Vulnerabilidad Sísmica de las edificaciones del distrito de Ate-Vitarte”, CISMID-UNI, Lima, 2003
- [21] Torres Juan Pablo, “Implementación del Método del Cálculo de Vulnerabilidad Sísmica de Edificios en un Sistema de Información Geográfica”, Facultad de Ingeniería Ensenada – Universidad Autónoma de Baja California
- [22] Yépez Fabricio, H. Barbat Alex, Canas Josep A., “Simulación de Funciones de Vulnerabilidad y Matrices de Probabilidad de Daño para Estudios de Riesgo Sísmico”, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España

ANEXOS

A continuación se presenta lista de los anexos del presente trabajo:

- **Anexo 01** – Escalas de Intensidades Sísmicas
 - Escala de Intensidades MSK
 - Escala de Intensidades MMA-92

- **Anexo 02** – Formulario de Encuesta - Método del Índice de Vulnerabilidad

- **Anexo 03** – Fotografías de Viviendas Características de la Zona de Estudio

- **Anexo 04** – Ejemplos de Cálculo de Índice de Vulnerabilidad

- **Anexo 05** – Mapas relacionados con la Sismicidad en el Perú
 - Mapa de Zonificación Sísmica del Perú
 - Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas del Perú
 - Mapa de Calificación de Provincias según Niveles de Peligros Sísmicos

- **Anexo 06** – Plano de Lotización de la II Etapa del CC. PP. de Medio Mundo

- **Anexo 07** – Mapas Temáticos de los Resultados del Estudio
 - Lámina 01: Ubicación del Proyecto
 - Lámina 02: Usos de los Lotes
 - Lámina 03: Área de Lotes
 - Lámina 04: Número de Pisos
 - Lámina 05: Material de Muro
 - Lámina 06: Material de Cobertura
 - Lámina 07: Material de Piso
 - Lámina 08: Antigüedad de Vivienda
 - Lámina 09: Rangos de Vulnerabilidad Sísmica
 - Lámina 10: Escenario de Daños – Intensidad Sísmica VI (MSK)
 - Lámina 11: Escenario de Daños – Intensidad Sísmica VII (MSK)
 - Lámina 12: Escenario de Daños – Intensidad Sísmica VIII (MSK)
 - Lámina 13: Escenario de Daños – Intensidad Sísmica IX (MSK)
 - Lámina 14: Escenario de Daños – Intensidad Sísmica X (MSK)