

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



IMPLEMENTACIÓN DEL SIG PARA LA EVALUACIÓN
ECONÓMICA DE LAS PÉRDIDAS POR SISMO EN LA CIUDAD DE
CARHUAZ - ANCASH

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CARLOS ENRIQUE DIAZ TARAZONA

Lima- Perú

2015

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 3 |
| LISTA DE CUADROS..... | 5 |
| LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS | 8 |
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| CAPÍTULO I: GENERALIDADES..... | 10 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 11 |
| 1.1.1 Sismicidad en la Cuenca del Río Santa..... | 12 |
| 1.1.2 Historia Sísmica Regional..... | 12 |
| 1.1.3 Sismo del 31 de Mayo de 1970: Origen y Efectos en La Ciudad.... | 15 |
| CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA | 17 |
| 2.1 PELIGRO O AMENAZA SÍSMICA | 18 |
| 2.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA | 18 |
| 2.3 RIESGO SÍSMICO | 19 |
| 2.4 DAÑO SÍSMICO | 19 |
| 2.5 EVOLUCIÓN DE LA SISMICIDAD..... | 21 |
| 2.5.1 Intensidad..... | 21 |
| 2.5.2 Magnitud..... | 23 |
| 2.5.3 Momento Sísmico..... | 24 |
| CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE SELECCIONADO PARA LA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA..... | 25 |
| 3.1 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS EDIFICIOS BASADOS EN CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESTRUCTURA | 26 |
| 3.1.1 Sistema de Puntuación del índice de Vulnerabilidad Sísmica de Edificios..... | 26 |
| 3.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA E ÍNDICE DE DAÑO..... | 28 |
| 3.3 MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES EXISTENTES..... | 34 |
| 3.3.1 Métodos Analíticos..... | 34 |
| 3.3.2 Métodos Cualitativos..... | 36 |

| | |
|--|----|
| 3.4 DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES APLICANDO EL MÉTODO DE BENEDETTI Y PETRINI | 39 |
| 3.4.1 Vulnerabilidad Sísmica de las edificaciones de adobe..... | 39 |
| 3.4.2 Vulnerabilidad Sísmica de las edificaciones de concreto armado. . | 40 |
| 3.4.3 Evaluación del índice de vulnerabilidad..... | 41 |
| CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 50 |
| CAPÍTULO V: APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN | 54 |
| 5.1 EDIFICACIONES EN LA ZONA DE ESTUDIO | 54 |
| 5.2 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD | 55 |
| CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DEL DAÑO ECONÓMICO EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE CARHUAZ..... | 60 |
| 6.1 DETERMINACIÓN DE LOS RANGOS DE ÍNDICE DE DAÑOS..... | 61 |
| 6.2 GRÁFICOS DE TENDENCIA PARA DIFERENTES SISMOS (VII, VIII, IX): | 62 |
| 6.3 CÁLCULO DEL COSTO DE REPARACIÓN Y DEL COSTO DE REPOSICIÓN. | 63 |
| 6.3.1 Cálculo del estado de conservación de las Viviendas..... | 64 |
| 6.3.2 Primer Escenario Sísmico (Intensidad de VII MCS) | 65 |
| 6.3.3 Segundo Escenario Sísmico (Intensidad de VIII MCS) | 66 |
| 6.3.4 Tercer Escenario Sísmico (Intensidad de IX MCS)..... | 67 |
| 6.3.5 Resumen Gráfico del Costo de Reparación con la Intensidad Sísmica..... | 68 |
| CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 69 |
| 7.1 CONCLUSIONES | 69 |
| 7.2 RECOMENDACIONES | 70 |
| BIBLIOGRAFÍA | 71 |
| ANEXOS | 72 |

RESUMEN

En la actualidad el Perú forma parte de una de las regiones de más alta actividad sísmica en nuestro planeta, debido a ello estamos expuestos a desastres, que puedan ocasionar pérdida de vidas humanas y bienes materiales.

En estas últimas dos décadas las ciudades a lo largo de todo el territorio han crecido de manera acelerada y desordenada, a esto se suma la informalidad del proceso constructivo de las viviendas. Esto, junto con la informalidad de los procesos constructivos de vivienda, aumenta la vulnerabilidad en caso de sucesos del terremoto.

Teniendo como objetivo principal la necesidad de disminuir las pérdidas humanas y materiales ante la ocurrencia de un sismo en la Ciudad de Carhuaz, el presente trabajo tiene por finalidad la evaluación de la vulnerabilidad en dos zonas de la ciudad que son: el AAHH Las Flores y la URB. Puquio Aurora aplicando el Método Italiano Benedetti y Petrini, integrando la información obtenida en un Sistema de Información Geográfica (SIG); que permite la elaboración de mapas temáticos para indicar las diferentes condiciones de vulnerabilidad de las viviendas encuestadas.

Sobre la base de los parámetros del método italiano mencionado se tomaron datos de campo de las viviendas de la zona de estudio, obteniendo como resultado que las viviendas del AAHH Las Flores tienen una vulnerabilidad sísmica mayor en comparación con las viviendas de la URB. Puquio Aurora, esta diferencia reside principalmente en el proceso constructivo en estas dos zonas. En la primera zona evaluada (Las Flores), las casas son el resultado de autoconstrucción sin asesoramiento técnico como parte del proceso de crecimiento urbano no planificado de Carhuaz, mientras que en la segunda zona evaluada (Puquio Aurora) las viviendas se construyeron con el asesoramiento técnico después de la Terremoto de 1970. Incluso las construcciones presentan una vulnerabilidad media.

Además, sobre la base de la evaluación de la vulnerabilidad, se realizó una evaluación de los daños económicos en las viviendas considerando tres escenarios sísmicos se ha hecho.

Para el primer y segundo escenario sísmico (intensidades de VII y VIII MCS) en ambas zonas evaluadas los resultados indican un índice de daño menor al 10%, por lo tanto el costo por reparación de las infraestructuras tienen un valor económico bajo en comparación al costo de la vivienda.

En el caso del tercer escenario sísmico (intensidad de IX MCS) existe una diferencia en los resultados, para la zona de Las Flores el índice de daño es de 44%, por lo cual el costo de reparación de las infraestructuras tendrían un valor cercano a la mitad del costo de la vivienda, mientras que en la zona de Puquio Aurora el índice de daño es de 24%, indicándonos que el costo de reparación de las infraestructuras es claramente menor en referencia al costo de la vivienda, estos resultados podrían ser relevantes para los planes de prevención que deberían establecer las entidades pertinentes.

LISTA DE CUADROS

| | | Pág. |
|--------------|--|------|
| Cuadro N° 1. | Sistema de Puntuación de índice de vulnerabilidad sísmica | 28 |
| Cuadro N° 2. | Ejemplo de matrices de probabilidad condicional de daño. | 30 |
| Cuadro N° 3. | Coeficientes de regresión propuestos por Angeletti et al. | 32 |
| Cuadro N° 4 | Rangos de clasificación del Índice de Daño. | 33 |
| Cuadro N° 5. | Escala numérica del índice de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, para edificaciones de adobe y albañilería | 40 |
| Cuadro N° 6. | Escala numérica del índice de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, para edificaciones de concreto armado. | 41 |
| Cuadro N° 7. | Rangos de clasificación del índice de vulnerabilidad sísmica. | 42 |
| Cuadro N° 8 | División administrativa de la Provincia de Carhuaz | 50 |
| Cuadro N° 9 | Núcleos vecinales de la Ciudad de Carhuaz. | 51 |
| Cuadro N° 10 | Cuenca y sub cuencas del Río Santa. | 52 |
| Cuadro N° 11 | Porcentajes de Rangos de vulnerabilidades del Asentamiento Humano de Las Flores. | 56 |
| Cuadro N° 12 | Porcentajes de Rangos de vulnerabilidades de La Urbanización de Puquio Aurora. | 58 |
| Cuadro N° 13 | Rangos del índice de Daño Sísmico | 61 |
| Cuadro N° 14 | Valores unitarios para edificaciones de la sierra | 63 |
| Cuadro N° 15 | Porcentajes de depreciación para edificaciones de la sierra | 64 |
| Cuadro N° 16 | Costo de Reparación por Daño del Asentamiento Humano de Las Flores para un escenario de sismo VII MCS | 65 |
| Cuadro N° 17 | Costo de Reparación por daño de la Urbanización Puquio Aurora para un escenario de sismo VII MCS. | 66 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Cuadro N° 18 | Costo de Reparación por Daño del Asentamiento Humano de Las Flores para un escenario de sismo VIII MCS. | 66 |
| Cuadro N° 19 | Costo de Reparación por Daño DE La Urbanización Puquio Aurora para un escenario de sismo VIII MCS. | 66 |
| Cuadro N° 20 | Costo de Reparación por Daño del Asentamiento Humano de Las Flores para un escenario de sismo IX MCS | 67 |
| Cuadro N° 21 | Costo de Reparación por Daño DE La Urbanización Puquio Aurora para un escenario de sismo IX MCS. | 67 |
| Cuadro N° 22 | Costo de Las Viviendas del Asentamiento Humano de Las Flores. | 81 |
| Cuadro N° 23 | Costo de Las viviendas de La Urbanización de Puquio Aurora. | 82 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|------------|--|
| Figura 1 | Funciones de Vulnerabilidad para diversas tipologías estructurales 31 |
| Figura 2 | Funciones de Vulnerabilidad-Angeletti et al, 1988. 33 |
| Figura 3 | Parámetros del Método del índice de Vulnerabilidad 41 |
| Figura 4 | Configuración en planta de la estructura. 46 |
| Figura 5 | Configuración en elevación de la estructura 47 |
| Figura 6 | Configuración de los muros en planta de la estructura y su respectiva separación. 48 |
| Figura 7 | Plano de Ubicación de la Provincia de Carhuaz. 53 |
| Figura 8 | Mapa Temático de Materiales de construcción del Asentamiento Humano de Las Flores. 54 |
| Figura 9. | Mapa Temático de Materiales de construcción de La Urbanización de Puquio Aurora. 55 |
| Figura 10. | Rutina realizada en el ArcGis. 56 |
| Figura 11 | Programación de la rutina en el ArcGis 56 |
| Figura 12. | Distribución Gráfica de los índices de Vulnerabilidad de Asentamiento Humano de Las Flores. 57 |
| Figura 13. | Mapa Temático de Vulnerabilidad del Asentamiento Humano de Las Flores 57 |
| Figura 14 | Distribución Gráfica de los índices de Vulnerabilidad de La Urbanización de Puquio Aurora. 58 |
| Figura 15. | Mapa Temático de Vulnerabilidad La Urbanización de Puquio Aurora. 59 |
| Figura 16 | Funciones de Vulnerabilidad- Angeletti et al, 1988 61 |
| Figura 17 | Gráfico de tendencia para un sismo VII MCS. 62 |
| Figura 18 | Gráfico de tendencia para un sismo VIII MCS 62 |
| Figura 19 | Gráfico de tendencia para un sismo IX MCS. 63 |
| Figura 20 | Rutina realizada en el ArcGis 64 |
| Figura 21 | Programación de la rutina realizada en el ArcGis. 65 |
| Figura 22 | Costo de Reparación Vs Intensidad AA.HH LAS FLORES 68 |
| Figura 23 | Costo de Reparación Vs Intensidad URBANIZACIÓN PUQUIO AURORA 68 |

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

| | |
|----------|---|
| INDECI | : Instituto Nacional de Defensa Civil |
| INEI | : Instituto Nacional de Estadística e Informática. |
| CISMID | : Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres |
| CIGA | : Centro de Investigación en Geografía Aplicada |
| SIDECI | : Sistema de Defensa Civil |
| SINADECI | : Sistema Nacional de Defensa Civil |
| CRYRZA | : Comisión para la Reconstrucción y Rehabilitación de la zona afectada. |
| EERI | : Instituto de Investigación de Ingeniería Sísmica |
| EAAE | : Asociación Europea de Ingeniería Sísmica |
| CSSC | : Comisión de Seguridad Sísmica de California |
| UNDRO | : Oficina Coordinadora de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres. |
| MSK | : Medvedev-Sponheuer - Kamik |
| EMS | : European Macroseismic Scale |
| SIG | : Sistema de Información Geográfica |
| MCS | : Mercalli-Cancani-Sieberg |
| GNDT | : Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti |

INTRODUCCIÓN

El presente informe de Suficiencia tiene por finalidad principal tiene como objetivo principal, determinar la Vulnerabilidad Sísmica en dos zonas de la ciudad de Carhuaz, aplicando la metodología Italiana de Benedetti y Petrini, complementando con la tecnología del Sistema de Información Geográfica (SIG).

El primer capítulo comprende las generalidades, este capítulo contiene los antecedentes y reseñas históricas de los sismos ocurridos en nuestro país.

El segundo capítulo comprende los aspectos generales de la vulnerabilidad sísmica, en este capítulo se describen los diferentes conceptos concernientes a la sismología.

El tercer capítulo contiene la descripción del índice de vulnerabilidad seleccionado para la evaluación, en este capítulo se enuncia diferentes métodos cualitativos y cuantitativos existentes y explica más detalladamente acerca del método Italiano de Bedenetti y Petrini.

El cuarto capítulo comprende la descripción del área de estudio, este capítulo narra la ubicación de la ciudad de Carhuaz.

El quinto capítulo comprende la aplicación del índice de vulnerabilidad en las edificaciones de Carhuaz, este capítulo contiene una serie de gráficos elaborados con la información recopilada de campo para el índice de vulnerabilidad plasmada en diferentes mapas temáticos.

Finalmente el sexto capítulo comprende la evaluación del Daño Económico en las Edificaciones de la Ciudad de Carhuaz, se hace uso de los resultados obtenidos del quinto capítulo para poder establecer una relación entre el costo de reposición con el costo de reparación de las viviendas como consecuencia de diferentes escenarios sísmicos.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

El Perú pertenece al grupo de países de mayor actividad sísmica en el mundo, siendo la principal causa la de subducción de la placa oceánica (Nazca) bajo la placa continental (Sudamericana), la cual genera una constante acumulación de energía que se libera mediante los terremotos. Es por ello que es necesario realizar estudios que permitan conocer los efectos más probables de este fenómeno para así mitigar dichos efectos que ocasionan.

Con relación a la vulnerabilidad sísmica en zonas urbanas, se han realizado muchas investigaciones a nivel mundial, lo que facilita la recopilación de antecedentes de este tipo de avances que se han logrado.

Los estudios de vulnerabilidad surgen a principios del siglo XX, debido a una necesidad ante las consecuencias de sismos en diferentes partes del mundo. A través de la experiencia, los ingenieros fueron los encargados de evaluar los efectos de los sismos en las viviendas y en las edificaciones y de proponer medidas que mitiguen dichos efectos en el futuro.

Siendo así que se fueron proponiendo los primeros conceptos de diseño sismo resistente y se iniciaron investigaciones en el área de la ingeniería sísmica en Japón y en Estados Unidos.

Una de las herramientas utilizadas en los últimos años en los estudios de vulnerabilidad sísmica y riesgo sísmico ha sido la tecnología de Sistema de Información Geográfica, que representó un avance en las investigaciones por su rapidez y manejo de información.

En los últimos años, organismos públicos descentralizados como el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), centros de investigación vinculados a universidades como el Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), de la Universidad Nacional de Ingeniería, el Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA) de la Pontificia Universidad Católica del Perú, entre otras, se implementaron con Sistemas de Información Geográfica con el propósito de organizar bases de datos y procesar mapas temáticos de amenazas, atlas geográficos, de recursos naturales, etc.

1.1 ANTECEDENTES

El Perú forma parte de esta región y su actividad sísmica más importante está asociada al proceso de subducción de la Placa de Nazca (oceánica) bajo la Placa Sudamericana (continental), generando frecuentemente terremotos de magnitud elevada. Un segundo tipo de sismicidad, es producida por las deformaciones corticales, presentes a lo largo de la Cordillera Andina, con terremotos menores en magnitud y frecuencia.

La información sobre la actividad sísmica histórica de Perú se remonta a los años 1513 y la calidad de los datos dependerá de la distribución y densidad de las poblaciones en las regiones afectadas por los terremotos (Tavera y Buforn, 1998). La recopilación más completa sobre esta sismicidad fue realizada por Silgado (1968, 1978, 1985) y Dorbath et al, (1990). La mayoría de estos terremotos generaron maremotos de intensidad variable y produjeron daños a lo largo de la costa Oeste de Sudamérica (Montessus de Ballore, 1911) y alrededor del Pacífico (Hatori, 1968). En el interior del país solo se localizan 3 terremotos, el de 1650 ocurrido en Cusco ($I_0=X$ MM), 1946 en Ancash, ($I_0=IX$ MM) y 1947 en Satipo, ($I_0=VIII$ MM). Silgado (1978) estima los valores de magnitud de los terremotos a partir del área de Intensidad Máxima con el propósito de compararlos con sismos recientes ("Magnitud Silgado"). Así mismo, Dorbath et al, (1990b) realizaron una revisión de las intensidades y evaluaron los principales maremotos a fin de recalcular los valores de magnitud. La profundidad estimada para todos estos terremotos, es aproximada. Para la costa central de Perú, Silgado (1978) y Dorbath et al (1990b) indican que los terremotos mayores son los de 1586, 1687 y el de 1746 ($I_0=X$ MM) que destruyó la ciudad de Lima y generó un maremoto con olas de 15-20 m. de altura. En la región sur, los terremotos más importantes son los de 1604, 1784 y 1868, este último mejor documentado y descrito en detalle por Montessus de Ballore (1911) y Vargas (1922). Estos terremotos destruyeron las ciudades de Arequipa, Moquegua, Tacna, Puno y norte de Chile. El terremoto de 1868 ($I_0=X$ MM) fue sentido desde Ecuador hasta Chile generando un maremoto con olas de 14 m. de altura (Silgado, 1978). En el interior del continente, el único terremoto documentado es el de 1650, que destruyó la ciudad del Cusco y fue sentido en Lima, Arequipa y La Paz (Bolivia). Para el periodo 1513-1959, no existe mayor información sobre terremotos ocurridos en la zona Andina y Subandina del norte y centro de Perú, pero actualmente se sabe que estas regiones son sísmicamente muy activas.

1.1.1 Sismicidad en la Cuenca del Río Santa.

De un análisis histórico general podemos deducir que los sismos más importantes que se habrían realizado y de tal manera haber afectado de algún grado la cuenca del Río Santa, son aquellos que se efectuaron en la costa. De acuerdo a esta información y para un período aproximadamente de 400 años, se realizaron en la cuenca 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.

Los análisis realizados han determinado que en un período de 70 años se puede alcanzar una magnitud de 6.5 Mb (magnitud de ondas de cuerpo). Con probabilidades de 12, 50 y 72% de ocurrencias en 10, 50 y 100 años respectivamente.

1.1.2 Historia Sísmica Regional

La “Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú (1513 – 1974)”, de E. Silgado, publicada por el Instituto de Geología y Minería en 1978, describe la actividad sísmica para la región de Ancash ocurrida antes del año 1900, la cual no posee datos instrumentales y en donde aparecen seis sismos de carácter catastrófico.

Los sismos más importantes que afectaron a la región y cuyos registros se encuentran recopilados en el CISMID, son:

- **Sismo del 14 de febrero de 1619, a las 11:30 horas**, que se sintió con una intensidad aproximada de IX MM en Trujillo, destruyendo esta ciudad, y con una intensidad aproximada de VIII en Chicama y Santa.
- **Sismo del 6 de enero de 1725, a las 23:25 horas**, que se sintió con una intensidad aproximada de VIII MM en Barranca y Huacho, VII MM en Casma y VI MM en Trujillo y Santa. En los nevados de la Cordillera Blanca originó la rotura de una laguna glaciar, la cual desbordó y arrasó un pueblo cercano a Yungay, muriendo 1,500 personas.

- **Sismo del 28 de octubre de 1746, a las 22:30 horas**, que causó muchos daños y 1,141 muertos en Lima, con una intensidad probable de X-MMI. Se produjo un tsunami en el Callao.
- **Sismo del 14 de marzo de 1747, a las 13:30 horas**, fue un sismo destructor que causó muertos en Tauca, Conchucos, registrándose también daños en Corongo.
- **Sismo del 05 de marzo de 1935, a las 17:35 horas**, causó muchos daños en Trujillo, y ligeros daños en Cutervo, Cajamarca, Chimbote y Casma. Fue sentido en todo el Callejón de Huaylas hasta Chiquián, lo mismo que en Celendín, San Marcos y Pomabamba..
- **Sismo del 24 de mayo de 1940, a las 11:35 horas**, con intensidades de VIII MMI en Lima, fue sentido desde Guayaquil a Arica. Hubo tsunami. Causó 179 muertos y 3,500 heridos. Tuvo una intensidad de VI MMI en el Callejón de Huaylas.
- **Sismo del 10 de noviembre de 1946, a las 12:53 horas**, ocurrido en las provincias de Pallasca y Pomabamba, asociado a un visible caso de dislocación tectónica, causó 1,396 víctimas
- **Sismo del 18 de febrero de 1956, a las 12:49 horas**, sismo destructor sentido en todo el Callejón de Huaylas, causando daños en Carhuaz y los caseríos de Amashca, Shilla, Shipa y Hualcán.
- **Sismo del 18 de abril de 1962, a las 14:15 horas**, movimiento destructor que causó numerosos agrietamientos en las construcciones de adobe de la ciudad de Casma, deterioro en la catedral de Huaraz y deslizamiento en el asiento minero de Quiruvilca.
- **Sismo del 24 de setiembre de 1963, a las 11:30 horas**, movimiento destructor en los pueblos de la Cordillera Negra, se registraron fuertes daños en Huayllacayán, Cajacay, Malvas, Cotaparaco, Cajamarquilla, Ocros, Raquia, Congas, Llipos. En Huaraz se produjeron daños en construcciones, con caída de tejas y comisas.
- **Sismo del 17 de octubre de 1966, a las 16:41 horas**, fue uno de los más destructores ocurridos después del de 1940, produciendo daños a lo largo de la franja litoral, principalmente entre Lima y Supe.
- **Sismo del 31 de Mayo de 1970, a las 15:23 horas**, con intensidades de IX MM en Casma y Chimbote, VIII MM en el Callejón de Huaylas y Santa, VII MM en Trujillo, Moche y Paramonga. Fue uno de los más catastróficos ocurridos en

el Perú, desencadenando además la producción de fenómenos de licuefacción de suelos, deslizamiento de taludes en la Cordillera Blanca, el gran aluvión que arrasó la ciudad de Yungay al desprenderse la cornisa norte del nevado Huascarán. En el Callejón de Huaylas los deslizamientos y escarpas fueron muchos. A la altura de Recuay una activación de estructuras geológicas represó el río Santa.

- **Sismo del 4 de mayo de 1971, a las 12:00 horas**, violento sismo local que sacudió la provincia de Sihuas. Por los deslizamientos que provocó el sismo, en Chingalpo y en Quiches murieron 5 personas y 30 quedaron heridas.

De acuerdo con la historia sísmica estudiada, se puede concluir que en Carhuaz han ocurrido sismos con intensidades de hasta VIII MM; sin embargo, en áreas cercanas como en Chimbote y Trujillo han ocurrido intensidades máximas de hasta IX grados MM.

- **Sismo del 16 de Febrero de 1979, a las 05:08 horas**, fuerte terremoto en el departamento de Arequipa, que ocasionó algunas muertes y muchos heridos. Este sismo produjo severos daños en las localidades de Chuquibamba y pueblos del valle de Majes. Alcanzó una intensidad máxima del grado VII en la Escala Internacional de Intensidad Sísmica M.S.K.

En la ciudad de Arequipa el sismo fue del grado VI habiendo afectado seriamente algunas viviendas de sillar.

- **Sismo del 23 de Julio de 1988, a las 14:30 horas**, terremoto de 6.2 grados en la escala de Richter. Afectó Maca, Lare y otras localidades del Valle del Colca en Arequipa. 12 muertos, 70 heridos, 800 damnificados, 323 viviendas derrumbadas 5 locales públicos destruidos.

- **Sismo del 12 de Noviembre de 1996, a las 11:59 horas**, Se produjo un violento Terremoto en el Sur del país provincias de Ica, Pisco, Nazca y Palpa en el departamento de Ica; Caravelí y Caylloma en el Departamento de Arequipa, Lucanas y Coracora en Ayacucho, Huaytará en Huancavelica.

Magnitud 6.4 en la escala de Richter. 17 muertos, 1,591 heridos, 94,047 damnificados, 5,346 viviendas destruidas, 12,700 viviendas afectadas. Dado que el sismo se localizó al Sur Oeste de Nazca los mayores daños se registraron en dicha ciudad destruyendo el 90% de las viviendas.

- **Sismo del 23 de Junio de 2001, a las 15:33 horas**, terremoto destructor que afectó el Sur del Perú, particularmente los Departamentos de Moquegua, Tacna y Arequipa. Este sismo tuvo características importantes entre las que se destaca

la complejidad de su registro y ocurrencia. El terremoto ha originado varios miles de post-sacudidas o réplicas y alcanzó una intensidad máxima de VIII.

Las localidades más afectadas por el terremoto fueron las ciudades de Moquegua, Tacna, Arequipa, Valle de Tambo, Caravelí, Chuquibamba, Ilo, algunos pueblos del interior y Camaná por el efecto del Tsunami.

• **Sismo del 25 de Setiembre de 2005**, La región nor oriental fue sacudida por un sismo de magnitud 7.0 de la Escala de Richter con intensidad V. El epicentro fue localizado a 90 KM. al NE de la localidad de Moyabamba. El sismo ocurrió a una profundidad de 115 Km. Se registraron daños personales en los siguientes departamentos: En Amazonas, 08 heridos; en Cajamarca, 06 heridos; en La Libertad, 01 fallecido y 30 heridos; en San Martín, 04 fallecidos y 22 heridos. De igual forma, se registraron familias afectadas: En Amazonas: 100 familias; en Ancash, 01 familia; en La Libertad, 129 familias; en Loreto, 82 familias; en San Martín 635 familias. También se registraron familias damnificadas: En Amazonas, 125 familias; en Cajamarca, 78 familias damnificadas; en La Libertad, 12 familias; en Loreto, 07 familias; en San Martín, 436 familias. En cuanto a daños en viviendas se registró lo siguiente: En Amazonas, 100 viviendas afectadas y 125 destruidas; en Ancash, 01 vivienda afectada; en Cajamarca, 78 viviendas destruidas; en La Libertad, 133 viviendas afectadas y 14 viviendas destruidas; en Loreto 82 viviendas afectadas y 07 viviendas destruidas; en San Martín, 635 viviendas afectadas y 436 viviendas destruidas.

• **Sismo de Ica de Agosto de 2007, a las 18.41 horas**, se registró un sismo que duró aproximadamente 210 segundos, con epicentro marino a 60 km de Pisco-Ica, con profundidad hipocentral a 40 km, cuya magnitud alcanzó 7,0 en magnitud local y 7,9 en magnitud momento (Ritcher), sus intensidades registraron VII-VIII MM en Pisco, VI MM en Lima y V MM en Huancavelica

1.1.3 Sismo del 31 de Mayo de 1970: Origen y Efectos en La Ciudad.

El terremoto ocurrido en esta fecha tuvo una magnitud MS de 7.7 en la escala de Richter, se produjo a las 15:23 horas (hora local), frente a la costa del departamento de Ancash, con los siguientes parámetros epicentrales:

| | | | |
|-------------|------------|-----------------------|--------------------|
| Longitud | = 9.1176 S | Magnitud | = 6.6 Mb - 7.8 Ms. |
| Latitud | = 78.823 W | Intensidad en Carhuaz | = VIII MMI |
| Profundidad | = 43 Km. | | |

Este sismo fue el más destructor de los últimos años, y afectó un área comprendida, aproximadamente, en un rectángulo de 355 km paralelo a la línea de costa y 170 km tierra adentro, causando:

- 67,000 muertos.
- 150,000 heridos.
- 800,000 personas sin hogar.
- 2'000,000 de personas afectadas.
- 95% de viviendas de adobe destruidas.
- 6,730 aulas destruidas.
- En 18 ciudades con un total de 309,000 habitantes, los alcantarillados quedaron destruidos.
- Quedaron dañadas las facilidades para irrigar 110 mil hectáreas El 77% de los caminos de La Libertad y Ancash se interrumpieron, así como el 40% de los existentes en Chancay y Cajatambo.
- U.S.\$ 500'000,000 en pérdidas que actualizadas sobrepasan los 2,000 Millones.

Fue poco después de este terremoto, el 27 de Marzo de 1972, que se creó el Sistema de Defensa Civil (SIDECI) por DL N° 119338, lo que devino posteriormente en el Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

Desde el punto de vista de la magnitud del sismo y su distancia al epicentro, a Carhuaz le correspondía una intensidad de VII MMI, pero se estima que algunos sectores alcanzaron una intensidad de VIII MMI, debido a la amplificación sísmica causada por las condiciones locales del suelo. No se registraron cambios geofísicos en gran escala, y la serie de fallas geológicas que existen en la zona no fueron reactivadas por el sismo, pero los efectos del evento en la parte antigua de la ciudad de Carhuaz fueron catastróficos.

Una evaluación efectuada por CRYRZA determinó que, como consecuencia del sismo, se produjeron agrietamientos, causados por las fuerzas tensionales y de gravedad, los que fueron difíciles de determinar con precisión, debido al recubrimiento con material de escombros, deduciéndose su existencia mayormente por las resquebrajaduras en paredes y losas.

CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad sísmica de una estructura, grupo de estructuras o de una zona urbana completa, se define como su predisposición intrínseca a sufrir daños ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño (barbat, 1998).

La sismicidad es una característica del planeta tierra que no se puede remediar, se tiene que vivir con ella, aceptarla como una realidad que supera por largo tiempo el andar del hombre en la tierra. Es precisamente este mismo personaje el que se ha encargado de construir un entorno vulnerable, ya que resulta extremadamente caro diseñarlo con vulnerabilidad nula. Sismicidad y vulnerabilidad van de la mano cuando se trata de evaluar el daño debido a la ocurrencia de terremotos. En todas las regiones del planeta, con menor o mayor grado, existe una sismicidad. En algunos casos ésta es tan alta que a no mediar el hecho que no existe un entorno vulnerable, las catástrofes serían de proporciones. Las ciudades, al ser vulnerables, cuando se encuentran en una región con alta sismicidad, pasan a ser un entorno con peligro sísmico. La lección es fácil, la sismicidad no puede ser controlada y a pesar de que mucho se ha avanzado en el estudio de esta materia, la ocurrencia de terremotos sigue siendo espacial y temporalmente no previsible en forma exacta, lo que obliga a que el enfoque de arquitectos e ingenieros apunte hacia el tratamiento de la vulnerabilidad. En la mayoría de los casos, la disminución de la vulnerabilidad del entorno de ciudad no se logra incrementando fuertemente la resistencia estructural de las edificaciones, las líneas viales o la infraestructura de transporte, sino que haciendo más coherente la concepción de todo aquello que con su accionar hace que la ciudad funcione y se desarrolle.

Los planteamientos antes descritos son perfectamente válidos para otros tipos de catástrofes, como aluviones, tsunamis o deslizamientos. Cada uno incrementa el riesgo de vivir en una ciudad vulnerable.

Los estudios de vulnerabilidad en general entregan las herramientas básicas para preparar los planes de acción, que deben enfocarse hacia la mitigación aun cuando resulte más caro y requiera de mayor esfuerzo, tiempo y dedicación, de tal forma de romper los esquemas en una sociedad (compuesta por la población y los entes gubernamentales) para la cual es más cómodo actuar en la emergencia.

Algunos comités y trabajos científicos han logrado establecer una nomenclatura

Adecuada dentro del área de la sismología e ingeniería sísmica, que nos 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 EE.UU (USGS).
- La Oficina Coordinadora de las Naciones Unidas para el Socorro en caso de Desastres (UNDRO).

Entre otros. Las definiciones que daremos a continuación están basadas en las referencias mencionadas anteriormente.

2.1 PELIGRO O AMENAZA SÍSMICA

La palabra “peligrosidad” definida por la Real Academia Española como la “calidad de peligro”, mientras que en términos técnicos se define como “amenaza impuesta por ciertos fenómenos naturales, como son los huracanes, erupciones volcánicas, terremotos, etc., que pueden ocasionar consecuencias adversas a las actividades humanas (impacto social negativo y pérdida humanas y económicas importantes).

Por lo tanto, podemos definir a la Peligro o Amenaza Sísmica como la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia de un terremoto, ocasionando efectos muy adversos en las actividades humanas (impacto social negativo y pérdida humanas y económicas importantes), dentro de un período específico de tiempo y dentro de un área dada.

Los parámetros más significativos que influyen en el peligro sísmico son: La ubicación del epicentro, dada por sus coordenadas y por su profundidad focal, con la que queda señalada la ubicación del foco; el tamaño o magnitud del sismo; el mecanismo de generación y direccionalidad de la propagación de la ruptura; las características del medio a través del cual viajan las ondas sísmicas locales del sitio de observación.

2.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA

Es definida la Vulnerabilidad 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 respuesta de las estructuras al ser sometidos a un terremoto.

Entonces podemos 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 no vulnerable a muy vulnerable ante la acción de un terremoto de una intensidad dada.

La vulnerabilidad sísmica de los diferentes tipos de edificaciones, es decir su resistencia sísmica en sí. De acuerdo a sus propias características, podrá ser reducida de acuerdo al grado de daños que han sufrido los numerosos edificios que han sido analizados, en función al peligro sísmico, definido por los diferentes grados de intensidad.

2.3 RIESGO SÍSMICO

De acuerdo a la Real Academia Española la palabra “Riesgo” significa, “Contingencia o proximidad de algún daño”, mientras que términos técnicos significa la posibilidad de pérdida o daño que se dará en las estructuras.

Entonces podemos definir al Riesgo Sísmico como “las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como el resultado de la falla de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por el terremoto”

Por lo cual, 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.

2.4 DAÑO SÍSMICO

El daño es el grado de degradación o destrucción causado por un fenómeno peligroso sobre las personas, los bienes, los sistemas de prestación de servicios y los sistemas naturales o sociales. Desde el punto de vista estructural, generalmente se relaciona con deformaciones irreversibles (inelásticas), por lo tanto, cualquier variable de daño debe ser preferiblemente referida a una cierta cantidad de deformación.

La evaluación y la interpretación del daño causado por los sismos surge de la necesidad de cuantificar y explicar los efectos de este fenómeno sobre los diferentes tipos de estructuras existentes. Varias crónicas escritas en los siglos pasados, describen catástrofes sísmicas, incluyendo comentarios acerca de la influencia de la calidad de la construcción sobre el daño. Se puede encontrar

información cualitativa bastante interesante en los archivos históricos que aún se conservan, en donde pueden apreciarse informes de daños pos-terremoto. Varias consideraciones sobre los patrones de daño recurrentes están contenidos en estos reportes editados por famosos sismólogos tales como Mercalli (Corsanego, 1995).

En las últimas décadas, se ha empezado a incluir la no linealidad de los materiales en el análisis y diseño sísmico, para lo cual, se dispone de información detallada sobre los fenómenos que se producen cuando se sobrepasa el límite elástico de los materiales. Así, mediante procedimientos de análisis y/o estudios experimentales, es posible evaluar, paso a paso, el comportamiento de un material. Estos resultados deben extrapolarse para representar el comportamiento global de la estructura. Para ello, existe en la actualidad, un amplio espectro de indicadores o índices de daño, que permiten cuantificar el daño local y global de la estructura. Sin embargo, a pesar del avance en el desarrollo de estos modelos de daño, hay que anotar que el problema de evaluar cuantitativamente el daño es complejo y que aún no existe un criterio unificado, tanto para la definición de los modelos analíticos, como para la descripción del daño en sí, principalmente debido a la gran variedad de tipos estructurales y a sus propiedades, así como a las características de las acciones aplicadas.

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 el daño en tres grupos:

- **Daño Estructural.-** Es el de mayor importancia, ya que puede ocasionar que una estructura colapse, y considerando una mejor opción que su reparación puede 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, teniendo que ver con la calidad de los materiales componentes en dichos elementos. El diseño resistente y, obviamente de las características de las cargas actuantes.

- **Daño No Estructural.-** Está asociado principalmente a elementos que no forman el sistema resistente, como pueden ser muros de tabiquería,

ventanales, revestimientos, etc. Sin embargo, a pesar de que este tipo de daño no pone en peligro el comportamiento estructural, si ocasiona un incremento importante en las pérdidas económicas, como se ha podido comprobar en los sismos importantes en nuestro país. 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 un índice de daño económico global de la estructura que agrupa índices anteriores.

Por otra parte, el Instituto de Investigación de Ingeniería Sísmica de California, EUA (EERI, Sel) considera que es necesario evaluar las consecuencias económicas y sociales del efecto que el fenómeno intenso o extremo puede tener en el medio ambiente construido (built environment) que incluye el conjunto de de facilidades: edificaciones sistemas de transporte y comunicaciones, de agua y energía del área afectada. De esta manera la comunidad, después de efectuar un análisis costo – beneficio, podrá decidir qué facilidades reforzar o mejorar a fin de que el nivel de pérdida sea aceptable.

2.5 EVOLUCIÓN DE LA SISMICIDAD

El tamaño de un terremoto se puede caracterizar por la magnitud, la intensidad 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 se la falla y el desplazamiento 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 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 medios que dependen de la respuesta de las estructuras y valores altos describen lo que han ocurrido cuando se produce la ruptura de una falla.

Una de las escalas más utilizadas para medir la intensidad sísmica es la Mercalli Modificada, a partir de la cual se han desarrollado otras en el mundo. 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 poco conocida en América y Europa, pero no por eso menos importante es la escala de la Agencia Meteorológica de Japón, JMA (por sus siglas en inglés "Japan Meteorological Agency") .

La evolución histórica de las escalas de intensidad se resume en:

- M. de Rossi y F. Forel (1883), reagrupan los efectos del terremoto en 10 grados de intensidad.
- G. Mercalli (1902), introduce una nueva escala con 10 grados de intensidad, siendo incrementada a 12 por A. Cancani.
- Sieberg (1923), publica una escala más detallada, pero basada en el trabajo de Mercalli-Cancani.
- O. Word y F. Newmann (1931), proponen una nueva escala, modificando y condensando la escala Mercalli-Cancani Sieberg, surgiendo así la escala de Intensidad de Mercalli Modificada (IMM).
- Medvedev, Spoonheuer y Karnik (1964), tres sismólogos europeos, definen la escala MSK-1964 que consta de 12 grados denotados de I a XII. Esta escala mantiene las descripciones de la IMM referentes a efectos en las

personas, solo modifica la descripción de efectos en edificios, distinguiendo tres tipos de edificios y cinco grados de daños.

No se puede dejar de mencionar que investigadores peruanos (Julio Kuroiwa-Fernando Lázares) realizaron una propuesta de escala de intensidades sísmicas a ser utilizadas 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 de 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.

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 relacionó con una liberación de 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 como M ó ML. Cabe destacar que se han desarrollado varias expresiones para calcular la magnitud, entre ellas se encuentran las de magnitud superficial (MS), la magnitud de ondas internas (mb), magnitud local (mi), etc.

Por otra parte aunque la magnitud se define de forma cuantitativa de un terremoto, las diferentes formas de medirla arroja 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 (MS), generalmente subestima el tamaño de los terremotos profundos y la magnitud basada en las ondas internas que se han desarrollado tanto para los terremotos poco profundos como para los profundos.

2.5.3 Momento Sísmico

Se puede considerar como 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 relacionada directamente con parámetros fundamentales del proceso de falla. Esta medida está siendo cada vez más usada por los sismólogos debido a su mayor fiabilidad. La relación entre el momento sísmico y cualquiera de las diferentes magnitudes no es inmediata, pero algunos autores utilizan un ajuste logarítmico lineal.

$$\text{Log } M_0 = a + bM \dots \dots \dots \text{Ec.1}$$

Donde:

M_0 = Momento Sísmico.

a,b= Parámetros de ajuste lineal de la Magnitud Sísmica

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE SELECCIONADO PARA LA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

En la actualidad el porcentaje de edificios construidos con materiales frágiles o poco dúctiles como es la mampostería, sigue siendo superior a los de hormigón armado y acero, acentuándose este porcentaje en los países en vías de desarrollo. Estos edificios en muchos casos se encuentran expuestos a un riesgo sísmico potencial real, es decir, la ocurrencia de un terremoto provocaría inevitablemente daños en una menor o mayor medida, dependiendo de la calidad estructural de los mismos. Este fenómeno no es exclusivo de las zonas con una actividad sísmica alta, en zonas de sismicidad moderada o baja, la ocurrencia de un sismo puede producir daños materiales considerables, especialmente en los edificios antiguos y en aquellos que fueron construidos sin considerar una normativa sismorresistente.

Las líneas de investigación actuales sobre riesgo sísmico se han enfocado al estudio del comportamiento sísmico de los edificios, gracias al importante desarrollo alcanzado en los métodos de análisis estructural y a las técnicas experimentales que permiten conocer las características mecánicas de los edificios construidos, además del mejoramiento de las normas de diseño sismorresistente para la construcción de nuevos edificios. Sin embargo, a pesar de estos avances siguen ocurriendo grandes catástrofes ocasionadas por los terremotos, debido al colapso de los edificios. Las razones pueden ser que los métodos de análisis o las normas sismorresistentes no han sido lo suficientemente eficaces para reducir el daño en los edificios o quizás que los programas de mitigación de riesgo sísmico no se han aplicado correctamente en el caso que existan. Probablemente esta última es la más factible, es decir, por la falta de programas de planeación, las consecuencias tanto de pérdidas humanas como de daños en los edificios han sido devastadores.

Los programas de planeación o programas de mitigación sísmica, permiten tomar las medidas adecuadas en las zonas donde se ha determinado que el riesgo sísmico es alto. Para esto se necesita que la metodología elegida para evaluar la calidad estructural o vulnerabilidad sísmica de los edificios se adecue a los objetivos planteados en el estudio. Es decir, 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.

3.1 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS EDIFICIOS BASADOS EN CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESTRUCTURA

Una de las características más importantes de los estudios de Riesgo Sísmico a nivel urbano es que la metodología que se utiliza en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios tiene que ser de alguna manera simplificada, para que se pueda aplicar a grandes áreas o a un gran conjunto de estructuras. Evidentemente cualquier metodología se puede aplicar pero con su correspondiente incremento en los costos de aplicación, que para el caso de ciudades grandes sería completamente inadmisibles. Por esta razón se tiene que encontrar la metodología que mejor se adapte a los objetivos planteados en el estudio de Riesgo Sísmico, pero sobre todo al presupuesto con que se cuenta y a la disposición de información de los elementos que se pretenden estudiar (edificios, puentes, líneas vitales, etc.). En la siguiente parte de este capítulo se hará una revisión de algunas metodologías existentes que utilizan parámetros básicos (en su mayoría subjetivos) para evaluar la vulnerabilidad sísmica o calidad estructural de los edificios. Por último se describirá con mayor detalle la metodología del índice de vulnerabilidad elegida para la realización de este trabajo (Benedetti y Petrini, 1984; Yopez, 1996).

3.1.1 Sistema de Puntuación del índice de Vulnerabilidad Sísmica de Edificios

Un ejemplo de metodología utilizada en estudios a nivel urbano, basadas en la evaluación de algunos parámetros básicos pueden ser las propuestas por Chang et al, (1995). Esta metodología corresponde a un sistema de puntuación que evalúa el índice de vulnerabilidad sísmica de los edificios, basada en la propuesta del ATC-21, 1988 (Rapid Visual Screening of Building for Potencial

Seismic Hazards) pero agregando consideraciones para tomar en cuenta las características específicas del sitio en donde se encuentran ubicados, como son el potencial de licuefacción, el tipo de cimentación y la estabilidad de taludes. Este sistema de puntuación es adecuado desde el punto de vista costo — efectividad y sobre todo Útil para estudios preliminares de evaluación de la vulnerabilidad sísmica a nivel regional, obteniéndose resultados significativos dentro de los estudios de riesgo sísmico con presupuesto limitado y con la necesidad de obtener resultados rápidos. El sistema de puntuación consta de 16 criterios o parámetros afectados por un peso dependiendo de la importancia que tenga, estos criterios están divididos en dos grupos principales:

1.-Categoría Estructural.

2.-Categoría del Sitio/ Cimentación (Ver Cuadro N°1)

Las categorías más importantes o con mayor peso corresponden al tipo de edificio o material utilizado en su construcción y al año o aplicación de una normativa sismorresistente. La variedad de materiales utilizados en la construcción de los edificios se agrupa en 12 tipos que son: marcos sismorresistentes de acero; marcos de acero reforzados; edificios de metal ligero; marcos de acero con muros de cortante de hormigón mezclado en sitio; marcos sismorresistente de hormigón; marcos de acero u hormigón con muros de mampostería no reforzada; edificios inclinados; edificios de hormigón premezclados; mampostería reforzada y mampostería no reforzada.

La puntuación total máxima del índice de vulnerabilidad en este método es de 108 en donde a mayor puntuación de la estructura representa una menor vulnerabilidad sísmica, obviamente no existen estructuras con una puntuación de 108, ya que es una combinación de efectos entre las características estructurales de edificio y las características del sitio, es decir, aunque una estructura obtenga la máxima calificación en la categoría estructural, por estar en un sitio con características adversas la calificación final se reduce. Una de las principales ventajas de este tipo de puntuación es el tiempo de aplicación que le lleva a una persona con ciertos conocimientos básicos de ingeniería. En algunos trabajos de campo se ha podido calcular un tiempo de entre 20 y 40 minutos por edificio dependiendo de las condiciones del sitio/estructura y la disponibilidad de datos antes de la visita.

CuadroN°1: Sistema de puntuación de índice de vulnerabilidad sísmica

| FACTOR ESTRUCTURAL | PESO |
|---|-------------|
| Tipo de edificio | 20 |
| Tipo de construcción/Usos de Norma | 20 |
| Irregularidad Vertical | 3 |
| Piso Suave | 5 |
| Irregularidad Torsional | 3 |
| Irregularidad en Planta | 3 |
| Columnas Cortas | 5 |
| Elevación (Solo para Hospitales) | 5 |
| Acumulación de agua | 3 |
| Revestimiento Pesado | 3 |
| Daño Visible | 5 |
| FACTOR DE CIMENTACION | PESO |
| Tipo de suelo | 10 |
| Potencial de Licuefacción | 10 |
| Tipo de Cimentación (Para un Potencial de Licuefacción alto o moderado) | 3 |
| Estabilidad de Taludes | 10 |
| Total | 108 |

Fuente: Propuesta por Chang, et al, 1995

3.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA E ÍNDICE DE DAÑO

Como se ha comentado en el Capítulo II, la Vulnerabilidad Sísmica de una estructura se define como el grado de daño debido a la ocurrencia de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada. Ya habiendo entendido este concepto, se hará un análisis más detallado sobre él.

El grado de daño que puede sufrir una estructura puede ser de dos tipos: a) daño Estructural o daño que se produce en elementos que forman parte del sistema resistente de la edificación, y b) daño No Estructural que ocurre en los elementos que no forman parte del sistema resistente principal, incluyendo el daño arquitectónico, daño en los sistemas mecánicos, eléctricos, sanitarios y daño en el contenido del edificio. El daño estructural depende del comportamiento de los elementos del esquema resistente sean vigas, columnas, muros de corte, sistemas de piso, etc., y puede cuantificarse mediante un indicador de daño local, es decir, un indicador del daño ocasionado en el elemento asociándolo luego a un indicador de daño global de toda la estructura en conjunto. El indicador global se estima a partir de las contribuciones ponderadas de los indicadores de daños locales. Por otra parte, el daño no estructural se evalúa en función de las deformaciones y distorsiones que sufra la estructura y, en ocasiones, a partir de las aceleraciones que experimenta la

misma. (Yépez let al, 1995).

Desde el punto de vista de los costos financieros, se requiere conocer un índice de daño económico de la estructura, que agrupe de alguna manera los índices de daños anteriores. Generalmente se define como:

Costo de reparación por daño = Índice de daño * costo de vivienda..... Ec.1

El costo de reparación es una suma ponderada de los costos parciales de reparación, tanto de elementos estructurales como no estructurales y, por lo tanto, se deben relacionar los costos con los indicadores de daño estructural. Para edificios de mampostería no reforzada, parece razonable suponer que el indicador de daño estructural se asemeje al índice de daño, sin embargo, para edificaciones de hormigón armado el problema es muy complicado. Dicho problema no tiene fácil solución, ya que dependerá de factores propios de cada país y de cada región. Se han propuesto, sin embargo, algunas relaciones entre indicadores de daño e índices de daño económico, las cuales están basadas en la experiencia de los expertos, pero su aplicabilidad a todo tipo de casos es aún una incógnita. Incluso algunos autores recomiendan que, a falta de datos sobre estas correlaciones, deba tomarse el índice de daño económico igual al índice de respuesta de daño global de la estructura (Yépez let al, 1995).

La observación de los daños causados por sismos ha sido la preocupación de muchos investigadores, dando origen a las escalas de intensidad macrosísmica tal como se las conoce hoy en día. Puesto que la Vulnerabilidad sísmica nace de la observación y cuantificación de los daños ocasionados por terremotos, puede denominarse entonces Vulnerabilidad Observada, puesto que está basada en métodos de carácter empírico o subjetivo. Sin embargo, teniendo en cuenta que las acciones sísmicas son esporádicas e incluso pueden no producirse durante el periodo de vida útil de una estructura y dado el avance de las técnicas tanto de análisis estructural como de laboratorio, es posible cuantificar el grado de daño ocasionado por un eventual sismo mediante modelos matemáticos o mecánicos, que simulen el efecto del terremoto, en cuyos casos se denominan Vulnerabilidad Calculada (Yepez 1, et al).

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, las cuales expresan 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 . Ejemplo de matrices un poco más simplificadas se encuentran en la Cuadro N° 2, donde para diferentes bases de datos provenientes de levantamientos de daños provocados por terremotos pasados y, según la tipología del edificio, se obtienen los niveles de daños probables para diferentes intensidades macrosísmicas. Las tipologías consideradas (A, B y C) responden a la clasificación descrita en la escala MSK-64.

Cuadro N° 2: Ejemplo de matrices de probabilidad condicional de daño

| | MSK | Intensidad Macrosísmica | | |
|-----------------------------|---------------|-------------------------|-------|-------|
| | Tipo de edif. | IX | VIII | VII |
| MSK | A | 0.825 | 0.565 | 0.227 |
| | B | 0.565 | 0.227 | 0.057 |
| | C | 0.227 | 0.072 | 0.010 |
| Microzonificación de Lisboa | A | 0.800 | 0.500 | 0.150 |
| | B | 0.550 | 0.275 | 0.090 |
| | C | 0.200 | 0.100 | 0.030 |
| Sauter and Shah | A | 1.000 | 0.500 | 0.220 |
| | B | 0.560 | 0.270 | 0.080 |
| | C | 0.400 | 0.180 | 0.060 |
| Munich Reinsurance Company | A | 1.000 | 0.700 | 0.200 |
| | B | 0.800 | 0.400 | 0.100 |
| | C | 0.500 | 0.200 | 0.050 |
| VillaCañas | A | 0.800 | 0.600 | 0.300 |
| | B | 0.600 | 0.300 | 0.150 |
| | C | 0.300 | 0.150 | 0.050 |

Fuente: Yopez 1 et al, 1995.

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. Un ejemplo de funciones de vulnerabilidad puede observarse en la Figura 1, en la cual se recopilan datos proporcionados por diferentes estudios post-terremotos para diferentes tipologías de estructuras, adicionando todos los datos disponibles en los bancos de información de las compañías de seguros del mundo. En dichas

Figuras, 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.

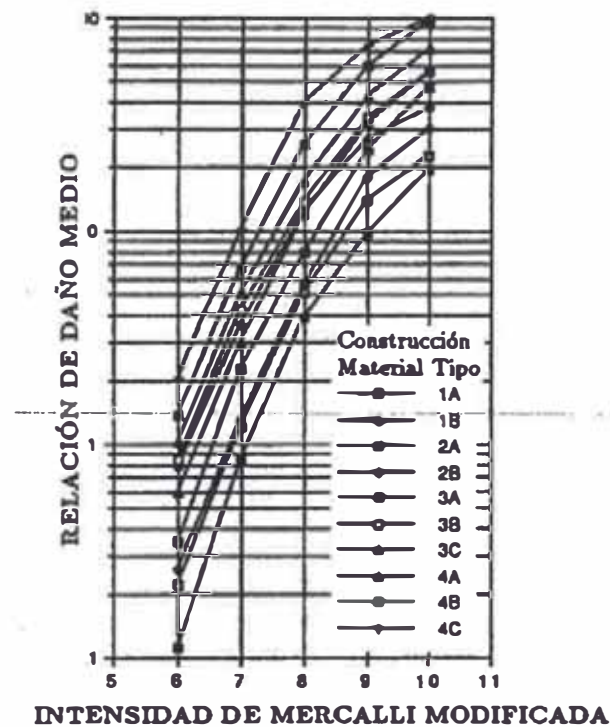


Figura 1: Funciones de Vulnerabilidad para diversas tipologías estructurales.
Fuente: Yopez 1 et al, 1995

A pesar de que las funciones mostradas representan un amplio banco de datos, 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, 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. La obtención tanto de matrices de probabilidad de daño, como de funciones de vulnerabilidad, pueden realizarse por una parte, mediante estudios estadísticos de datos observados durante sismos pasados (Vulnerabilidad observada) y por otra, mediante la simulación de resultados basada en modelos matemáticos y mecánicos de estructuras (Vulnerabilidad calculada).sin embargo, hay que resaltar la falta de estudios de este tipo e incluso la existencia de ellos en muchos países con una sismicidad significativa. (Yopez 1 et al, 1995).

El índice de Vulnerabilidad del método aplicado en este informe está relacionado 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.

Existen diversas funciones de vulnerabilidad, dentro de las cuales destacan la propuestas por el profesor Angeletti et al (1988), el cual es uno de los propulsores de este Método del índice de Vulnerabilidad al igual que Benedetti y Petrini. Angeletti propone una regresión para la función de vulnerabilidad tal como se muestra en la Ecuación 2. Esto es fruto de varios análisis de los levantamientos después de los terremotos en las localidades de Venzone y Barrea en Italia.

$$D = 100 \cdot \left[\rho + k \cdot I_v + \frac{I_v^2}{I_v^2 + A^2} \right] \dots\dots\dots Ec.2$$

Donde los coeficientes de regresión ρ, k, A dependen de la intensidad Sísmica I , como se observa en la Cuadro N°3, donde son mostrados los valores de los coeficientes. Los grados de intensidad sísmica mostrados corresponden a la escala MSK (Medvedev, Spoonheuer y Karnik).

Cuadro N°3: Coeficientes de regresión propuestos por Angeletti et al.

| | Intensidad | ρ | K | A |
|------------|------------|----------|-----------|-----------|
| Escala MSK | 6 | -0.08934 | -0.00115 | -325.7573 |
| | 7 | -0.03505 | -0.000207 | -484.5664 |
| | 8 | -0.00861 | 0.0004643 | -369.0801 |
| | 9 | 0.05 | 0.00108 | -259.3114 |
| | 10 | 0.017 | 0.00239 | -211.4026 |

Fuente: Caicedo et al, 1994

En la figura N°2 se puede apreciar las curvas creadas a partir de la ecuación 2 y los valores Cuadro N°3 para las intensidades sísmicas de VI al IX en la escala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) que es antecesora de la escala Mercalli Modificada.

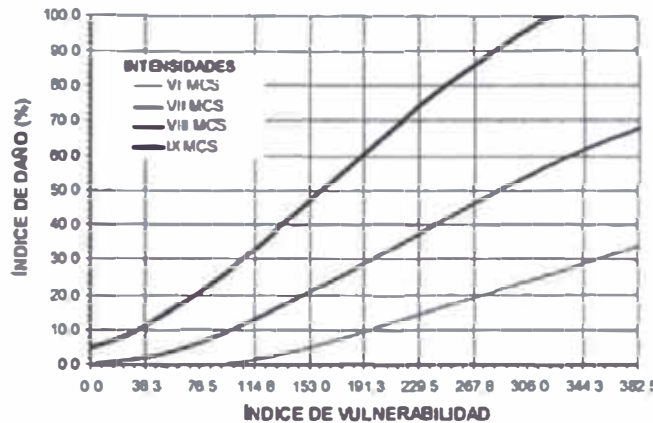


Figura N°2: Funciones de Vulnerabilidad-Angeletti et al, 1988.
 Fuente: Mena.2002.

El resultado final de los cálculos mediante mediante la Ecuación 2 es un Índice de Daño (D) que varía entre 0 y 100 (porcentaje de daño global de la estructura). Estos valores corresponden a un determinado rango de daño mostrado en la Cuadro N°4, que será aplicado en marco de la presente investigación.

Cuadro N°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

3.3 MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES EXISTENTES

3.3.1 Métodos Analíticos

Los métodos cuantitativos se basan en el análisis que no por exhaustivo son necesariamente más precisos. Típicamente son extensiones propias de los procedimientos de análisis y diseño antisísmico recomendados por las normas modernas. Tienen su fundamento en un modelo calibrado que tiene en cuenta el análisis dinámico inelástico del edificio, que permite conocer el proceso de plastificación paso a paso y el posterior colapso de la estructura. La placabilidad de estos métodos ha sido muy discutida, ya que requieren una alta complejidad en el modelo utilizado y la evaluación del comportamiento de las edificaciones ante la posible ocurrencia de acción sobre la estructura (CONSTRUWEB, 2001). Entre los métodos más usados en el medio, están el Método NSR-98, 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 NSR-98**

En el capítulo A10 de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98, se presenta una descripción de este método y los criterios que tiene en cuenta para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de dicha norma

Para Llevar a cabo una evaluación de Vulnerabilidad empleando este método, se debe realizar un análisis dinámico de la estructura, que permita estudiar su comportamiento y saber su cumple los requisitos exigidos por la norma sísmica vigente. Con los resultados obtenidos de este análisis y las capacidades actuales calculadas en los elementos, se calculan los índices de sobre-esfuerzo y los índices de flexibilidad de los pisos, cuyos valores inversos definen el grado de vulnerabilidad de la estructura (Llanos, 2003)

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

- **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 evalúe el uso de la estructura después del terremoto (Llanos, 2003).

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 NSR-98 o la del FEMA-273 (Palomino, 1999).

- **Método ATC-14**

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

Para determinar la vulnerabilidad de una edificación, se deben calcular los esfuerzos cortantes actuantes y los desplazamientos relativos del entrepiso. Con las fuerzas cortantes en los entrepisos se calcula el esfuerzo promedio v_v de los elementos resistentes verticales del edificio, el cual se compara con el esfuerzo estimado del material mediante la relación $V_v/v_v/4.26$; si esta relación es menor que uno, indica que la estructura presenta problemas de corte y que requiere de un análisis estructural más detallado. (Llanos, 2003).

- **Método FEMA-273**

Está diseñado para identificar los elementos estructurales que podrían tener un mal comportamiento frente a la ocurrencia de un evento sísmico, porque tienen poca capacidad o resistencia. Además, define diferentes técnicas y criterios de

diseño que permiten alcanzar diferentes niveles de desempeño sísmico de la edificación. Dentro de los niveles de desempeño sísmico se encuentran, el nivel de ocupación inmediata, el nivel operacional, nivel de protección de la vida y el nivel de prevención de colapso y su 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. (Palomino, 1999).

3.3.2 Métodos Cualitativos

Para realizar el estudio de vulnerabilidad de un conjunto de edificios, se han desarrollado múltiples métodos cualitativos que permiten hacer la evaluación de forma rápida y sencilla. Estos métodos son usados para obtener un estimativo de la vulnerabilidad de las edificaciones, lo que permite conocer el comportamiento de una zona urbana ante la ocurrencia de algunos fenómenos naturales, proporcionando con esto una herramienta muy importante para los planes de prevención y mitigación de desastres (Llanos, 2003).

Dentro de los métodos cualitativos que han sido desarrollados se encuentran el método ATC-21, el método NAVFAC, los métodos japoneses, el método Venezolano, el método ISTC, el método del Índice de Vulnerabilidad y el método de la AIS.

- **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. (Llanos, 2003).

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

- **Método NAVFAC**

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

- **Métodos Japoneses**

Entre los métodos Japoneses, se encuentran el Método de Hirosawa, 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 medias existentes o dañadas, del orden de seis a ocho pisos estructurados con muros o pórticos. En estudios más recientes el método se ha aplicado en edificios de hormigón armado y albañilería. (OPS, 2004).

- **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) (Cardona, 1990; Jaramillo Y Trujillo, 1999).

Los índices que intervienen en la ecuación del índice sísmico se obtienen a partir de Cuadros 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. (Llanos, 2003).

- **Método del ISTC**

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, I1 e I2, que representan los dos posibles modos de rotura en los muros. Con estos índices se calcula el índice I3, 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. (Llanos; 2003).

- **Método del Índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini, 1982)**

Como se ha observado antes, la evaluación de la vulnerabilidad o calidad estructural de los edificios no es única y el procedimiento o parámetros utilizados para la evaluación también varían. Esto obviamente plantea un problema, ¿Cuál de las metodologías existentes para evaluar la vulnerabilidad de los edificios es la adecuada? La respuesta estará en los objetivos planteados para el estudio, las hipótesis empleadas y por supuesto de la información que necesite la metodología.

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. A partir de esta información se elaboró una gran base de datos con el índice de vulnerabilidad de cada edificio y el daño sufrido por terremotos de determinada intensidad.

Algunas de las razones que se tomaron en cuenta para elegir esta metodología fueron:

- a) Está fundamentada en datos reales.
- b) Se puede aplicar en estudios a nivel urbano.
- c) Se tiene la experiencia de haberse aplicado en diferentes ciudades de Italia con buenos resultados y como consecuencia se adoptó oficialmente por un organismo gubernamental de protección civil (Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti, GNDT).
- d) Se ha aplicado en España en los sismos de Almería en 1993 y 1994 (Yepez, 1994) y Murcia en 1999 (Mena, et al 1999).
- e) En general se ha aplicado en diversos trabajos como los de Angeletti et al, 1988; Benedetti et al, 1988; Caicedo, 1993; Barbat et al, 1996; Grimaz, 1994; Yepez, 1996; Mena, 1997a; el proyecto Europeo SERGISAI, 1998; Mena et al, 1999, entre otros.

La metodología se desarrolló para las tipologías de mampostería no reforzada y hormigón armado, poniendo un especial interés en las primeras debido a que son las construcciones con mayor porcentaje en Italia y en general en muchas partes del mundo.

3.4 DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES APLICANDO EL MÉTODO DE BENEDETTI Y PETRINI

3.4.1 Vulnerabilidad Sísmica de las edificaciones de adobe.

De acuerdo con la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, el índice de vulnerabilidad para edificaciones de adobe y de albañilería se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la “calidad sísmica” de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales que juegan un papel importante en el comportamiento sísmico en las estructuras de

mampostería. A cada parámetro se le atribuye, durante las observaciones de campo, una de las cuatro calificaciones A, B, C o D, siguiendo una serie de instrucciones detalladas con el propósito de minimizar las diferencias de apreciación entre los observadores. A cada una las calificaciones le corresponden un valor numérico “Ki” que varía entre 0 y 45.

Por otra parte, cada parámetro es afectado por un coeficiente de peso “Wi”, entre 0,25 y 1,5. Este coeficiente refleja la importancia de cada uno de los parámetros dentro del sistema resistente del edificio. De esta forma, el índice de vulnerabilidad se define por la siguiente expresión:

$$VI = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i \quad \dots\dots\dots Ec.3$$

Cuadro N°5: Escala numérica del índice de Vulnerabilidad de Benedetti – Petrini, para edificaciones de adobe y albañilería.

| N° | Parámetro | KiA | klb | KiC | KiD | Peso Wi |
|----|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------|
| 1 | Organización del Sistema Resistente | 0 | 5 | 20 | 45 | 1,25 |
| 2 | Calidad del Sistema Resistente | 0 | 5 | 25 | 45 | 0,25 |
| 3 | Resistencia Convencional | 0 | 5 | 25 | 45 | 1,5 |
| 4 | Posición del Edificio y Cimentación | 0 | 5 | 25 | 45 | 0,75 |
| 5 | Diafragmas Horizontales | 0 | 5 | 15 | 45 | 1,0 |
| 6 | Configuración en Planta | 0 | 5 | 25 | 45 | 0,5 |
| 7 | Configuración en Elevación | 0 | 5 | 25 | 45 | 1,0 |
| 8 | Separación Máxima de Muros | 0 | 5 | 25 | 45 | 0,25 |
| 9 | Tipo de Cubierta | 0 | 15 | 25 | 45 | 1,0 |
| 10 | Elementos no Estructurales | 0 | 0 | 25 | 45 | 0,25 |
| 11 | Estado de Conservación | 0 | 5 | 25 | 45 | 1,0 |

Fuente: Caballero Guerrero ÁLVARO, 2007

3.4.2 Vulnerabilidad Sísmica de las edificaciones de concreto armado.

Otro tipo de estructura que se puede utilizar para aplicar el método de vulnerabilidad, es la de concreto armado. En este método también presenta once parámetros, que aunque algunos son parecidos al de mampostería no reforzada, otros tienen diferencia, especialmente a los que requieren de cálculos.

Otra diferencia es que cada parámetro clasifica a las estructuras entre A, B, C, y no como el caso de las estructuras de mampostería que son hasta D, el cual hace que la calificación de las estructuras de concreto sea un poco más estrecha.

3.4.3 Evaluación del índice de vulnerabilidad.

Una vez obtenida todas las calificaciones (A, B, C) de cada uno de los once parámetros analizados del edificio, se procede a asignar un valor numérico a cada clase de acuerdo a una escala similar a la estructura de mampostería no reforzada. Según el cuadro que se indica a continuación:

Cuadro N°6: Escala numérica del índice de Vulnerabilidad de Benedetti – Petrini , para edificaciones de concreto armado.

| N° | Parámetro | KiA | Kib | KiC |
|----|-------------------------------------|-----|-----|-----|
| 1 | Organización del Sistema Resistente | 0 | 6 | 10 |
| 2 | Calidad del Sistema Resistente | 0 | 6 | 10 |
| 3 | Resistencia Convencional | 0 | 11 | 22 |
| 4 | Posición del Edificio y Cimentación | 0 | 2 | 4 |
| 5 | Diafragmas Horizontales | 0 | 3 | 6 |
| 6 | Configuración en Planta | 0 | 3 | 6 |
| 7 | Configuración en Elevación | 0 | 3 | 6 |
| 8 | Separación Máxima de Muros | 0 | 3 | 6 |
| 9 | Tipo de Cubierta | 0 | 3 | 66 |
| 10 | Elementos no Estructurales | 0 | 4 | 10 |
| 11 | Estado de Conservación | 0 | 10 | 20 |

Fuente: Caballero Guerrero ALVARO, 2007

La siguiente ilustración (ver figura N°3) muestra los parámetros del método que se está utilizando para este trabajo de una manera didáctica, ubicando de manera gráfica los parámetros.

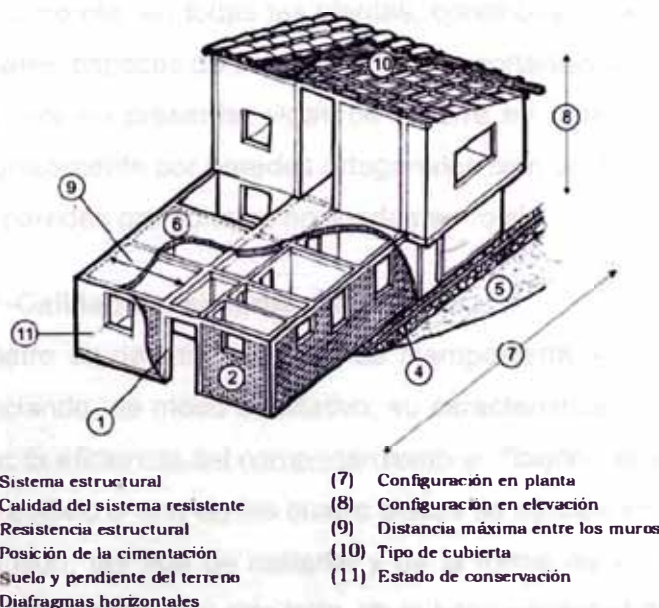


Figura N°3: Parámetros del Método del Índice de Vulnerabilidad.

Fuente: Bedenetti- Petrini.

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 el siguiente cuadro.

Cuadro N°7: 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.

Parámetro N°1.-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. Se reporta una de las clases:

- 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, capaces de transmitir acciones cortantes verticales.
- C. Edificio que, por no presentar vigas de amarre en todas las plantas, está constituido únicamente por paredes ortogonales bien unidas.
- D. Edificio con paredes ortogonales no ligadas entre sí.

Parámetro N°2.-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. Se reporta una de las clases:

- 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 la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.

Parámetro N°3.-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.

At = área total cubierta en (m²).

Ax,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 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 cada uno de los materiales τ_i , utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área A_i de cada uno de ellos.

$$\tau_K = \frac{\sum \tau_i A_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots Ec.3$$

H = Altura media de los pisos en (m).

P_m = Peso específico de la mampostería en (Ton/m³).

P = Peso por unidad de área del diafragma en (Ton/m²).

El coeficiente sísmico C, se define como el factor entre la fuerza horizontal resistente al pie del edificio dividido entre el peso del mismo y está dado por la expresión:

$$C = \frac{a_0 \tau_K}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1.5 a_0 \tau_K (1 + \gamma)}} \dots\dots\dots Ec.4$$

Dónde: $A = \min \{A_x, A_y\}$

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

$a_0 = A / A_s$

$\gamma = B / A$

$q = \frac{(A+B)h}{A_s} P_m + P_d$

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, D se hace por medio del factor, en donde es un coeficiente sísmico de referencia que se toma como 0.4.

- A) Edificio con $\alpha \geq 1$.
- B) Edificio con $0.6 < \alpha < 1$.
- C) Edificio con $0.4 < \alpha < 0.6$.
- D) Edificio con $\alpha < 0.4$.

Parámetro N°4.-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 tiene 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:

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

Parámetro N°5.-Diafragmas horizontales

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

- A) Edificio 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 los muros es eficaz.
- B) Edificio con diafragma 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 las condiciones 1 y 2.
- D) Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones

Parámetro N°6.-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 Figura 4.0 se explica el significado de los dos valores que se deben reportar, para lo cual se evalúa siempre el caso más desfavorable.

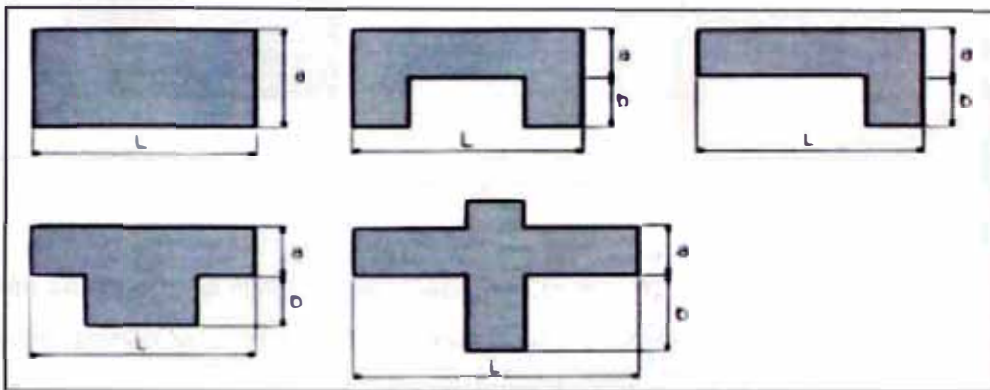


Figura No.4.0: Configuración en planta de la estructura.

Fuente: Bedenetti- Petrini.

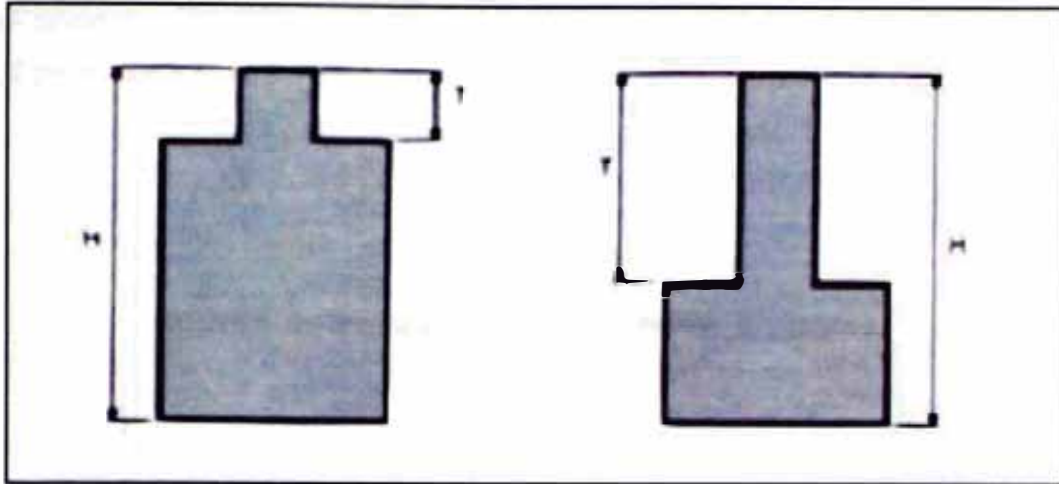
La asignación de este parámetro dentro de una de las cuatro en las condiciones:

- A) Edificio con $\beta_1 = 0.8$ ó $\beta_2 = 0.1$.
- B) Edificio con $0.8 > \beta_1 = 0.6$ ó $0.1 < \beta_2 = 0.2$.
- C) Edificio con $0.6 > \beta_1 = 0.4$ ó $0.2 < \beta_2 = 0.3$.
- D) Edificio con $0.4 > \beta_1$ ó $0.3 < \beta_2$.

Parámetro N°7.-Configuración en elevación

En el caso de edificios de mampostería, sobre todo para los más antiguos, la principal causa de irregularidad 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 porches 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 5.0. No se deben tener en cuenta las torretas de modesta dimensión tales como chimeneas, escapes de ventilación, etc.

Figura N° 5: Configuración en elevación de la estructura.



Fuente: Bedenetti- Petrini.

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.

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

- 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 $T/H > 2/3$.

Parámetro N°8.-Distancia máxima entre los muros

Con este parámetro se tiene en cuenta la presencia de muros maestros (de carga) interceptados por muros transversales, ubicados a distancia excesiva entre ellos. Se reporta el factor L/S , donde L es el espaciamiento entre los muros transversales y S el espesor del muro maestro, evaluando siempre el caso más desfavorable.

La asignación de este parámetro, se rige dentro de una en las condiciones:

- A) Edificio con $L/S < 15$.
- B) Edificio con $15 = L/S < 18$.
- C) Edificio con $18 = L/S < 25$.
- D) Edificio con $L/S = 25$.

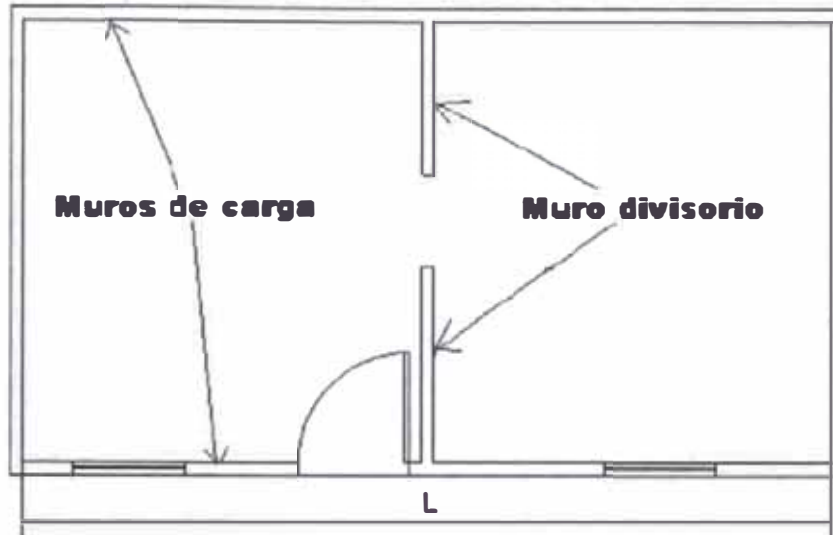


Figura N°.6: Configuración de los muros en planta de la estructura y su respectiva separación (L).

Fuente: Bedenetti- Petrini.

Parámetro N°9.-Tipo de cubierta

Se tiene en cuenta con este parámetro, la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas. Se reporta una de las clases:

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

Parámetro N°10.- Elementos no estructurales

Se tiene en cuenta con este parámetro la presencia de cornisas, parapetos o cualquier 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. Se reporta una de las clases:

- A) 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.
- 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) Edificio con 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 construidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones construidos posteriormente a la estructura principal y conectada a ésta de modo deficiente.

Parámetro N°11.-Estado de conservación

Se reporta una de las clases:

- 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 entre 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.

CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La provincia de Carhuaz, creada por Ley N° 7951 del 14 de diciembre de 1934, se encuentra ubicada en la parte central de la región Ancash, limitando por el norte con la provincia de Yungay, por el este con las provincias de Asunción y Huari, por el sur con la provincia de Huaraz y por el oeste con las provincias de Huaraz y Yungay. Su capital es la ciudad de Carhuaz del distrito del mismo nombre.

Cuadro N°8: División Administrativa de la Provincia de Carhuaz.

| DISTRITOS | CAPITAL | SUPERFICIE (km ²) | ALTITUD msnm |
|-------------------|-------------------|-------------------------------|--------------|
| Carhuaz | Carhuaz | 194.62 | 2638 |
| Acopampa | Acopampa | 14.17 | 2725 |
| Amashca | Amashca | 11.99 | 2850 |
| Anta | Anta | 40.77 | 2791 |
| Ataquero | Ataquero | 47.22 | 2719 |
| Marcara | Marcara | 157.49 | 2726 |
| Pariahuanca | Pariahuanca | 11.74 | 2611 |
| San Miguel de Aco | San Miguel de Aco | 133.89 | 2925 |
| Shilla | Shilla | 130.19 | 3910 |
| Tinco | Tinco | 15.44 | 2588 |
| Yungar | Yungar | 46.43 | 2828 |

Fuente: Equipo Técnico INDECI-2004.

La ciudad de Carhuaz se encuentra ubicada en la margen derecha del río Santa, a una altura de 2,638 metros sobre el nivel del mar, siendo sus coordenadas geográficas, 09°25' 9°75' de latitud sur y 77°25' – 77°75' de longitud oeste del Meridiano de Greenwich. Es equidistante, en aproximadamente 33 km, de las ciudades de Huaraz y Caraz, y dista 418 km de la ciudad de Lima.

Considerada la tercera ciudad en importancia del Callejón de Huaylas, su nombre proviene de la voz quechua "Qjarhuash" que significa amarillo, por el color de las flores de retama que cubren los cerros contiguos y que abunda en la zona. Hemando Pizarro castellanizó la palabra con Carhuaz, perdurando hasta la actualidad. La ciudad de Carhuaz, antes villa de Carhuaz fue elevada a la categoría de ciudad por Ley del 22 de noviembre de 1868.

La ciudad está constituida por cuatro Sectores: San Martín, Independencia, El Triunfo y La Paz, conformados por la intersección del Jirón Unión (entre sus intersecciones con la carretera Pativilca-Huaraz y el Jr. Juan Saavedra), y la Av.

Santa Rosa (en toda su dimensión); dos barrios denominados El Tambo y Eccana,

localizados a lo largo de la Carretera Antigua; y dos Caseríos: Yanamarca y Chucchún, ubicados en el extremo sur este de la carretera Pativilca - Huaraz. Asimismo, existen tres Asentamientos Humanos, producto de invasiones; Ucchu Pedro ubicado en el Sector El Triunfo; e Ida Terry y Las Flores, ubicados en la periferia del Sector San Martín.

Cuadro N°9: Núcleos Vecinales de La Ciudad de Carhuaz.

| SECTORES | AA.HH | BARRIOS | CASERÍOS |
|---------------|-------------|---------|-----------|
| San Martín | La Flores | Tambo | Yanamarca |
| Independencia | Ida Torres | Eccana | Chucchún |
| El Triunfo | Ucchu Pedro | | |
| La Paz | | | |

Fuente: Equipo Técnico INDECI-2004.

La ciudad de Carhuaz está asentada sobre una planicie inclinada, con una pendiente promedio de 2%, rodeada por un paisaje, entre el norte y el este, de colinas que presentan gran cantidad de disecciones por su origen volcánico, y, por el oeste, por colinas de origen sedimentario marino (formación Santa).

La ciudad está conformada por terrenos constituidos en un proceso de erosión glacial y aluvional, su tendencia de expansión urbana es sobre el cono de deyección del río Chuchún en la quebrada del Hualcán.

El tipo de suelo que presenta se conoce con el nombre de litosoles-camvisoles calcicos; se caracteriza por presentar suelos superficiales cuya profundidad está limitada por un horizonte "B" cámbrico (transicional o incipiente) de naturaleza calcárea coherente a partir de los 10 cm de la superficie. Este tipo de suelo se distribuye en las partes más bajas de las estribaciones occidentales de la Cordillera Blanca que miran al valle del Santa, en el fondo de valle, en la zona donde se encuentra el Cañón del Pato y en las vertientes occidentales altas y medio altas de la Cordillera Negra.

La ciudad de Carhuaz se localiza en la cuenca del río Santa, en la margen derecha de dicho río. Cuenca de relieve accidentado, presenta una hoya hidrográfica alargada, que abarca una superficie aproximada de 12,000 km², del cual el espacio geográfico de la provincia de Carhuaz, con una superficie de 803.95 km², constituye el 6.6% del área total de la cuenca.

En el Cuadro N° 10, se puede apreciar que en la provincia de Carhuaz, en el área de la cuenca del río Santa, margen derecha, existen sub cuencas de los ríos Chucchún, Buín, Ucucharure y Quebrada Honda, que son los principales alimentadores del recurso hídrico en la provincia, al contar con fuentes permanentes en los nevados de la Cordillera Blanca. En la margen izquierda del Río Santa (Cordillera Negra), se ubican las sub cuencas de los ríos Póyor, San Luis y Punyarure. Igualmente existen áreas Inter-fluviales entre los ríos de las subcuencas de ambas márgenes del río Santa.

Cuadro N°10: Cuenca del Río Santa; Sub Cuenclas

| CUENCA | SUB-CUENCA |
|-----------|------------------|
| RIO SANTA | Margen Derecha |
| | Río Buín |
| | Río Chucchún |
| | Río Ucucharune |
| | Río Qda. Honda |
| | Margen Izquierda |
| | Río Póyor |
| | Río San Luis |
| | Río Punyarure |

Fuente: Esquema de Organización del Territorio de la Provincia de Carhuaz.

En cuanto al clima, la ciudad presenta un tipo de clima templado y seco durante los meses de abril a diciembre, moderado lluvioso en los meses de verano; con una temperatura anual que varía entre 11° y 21° C.

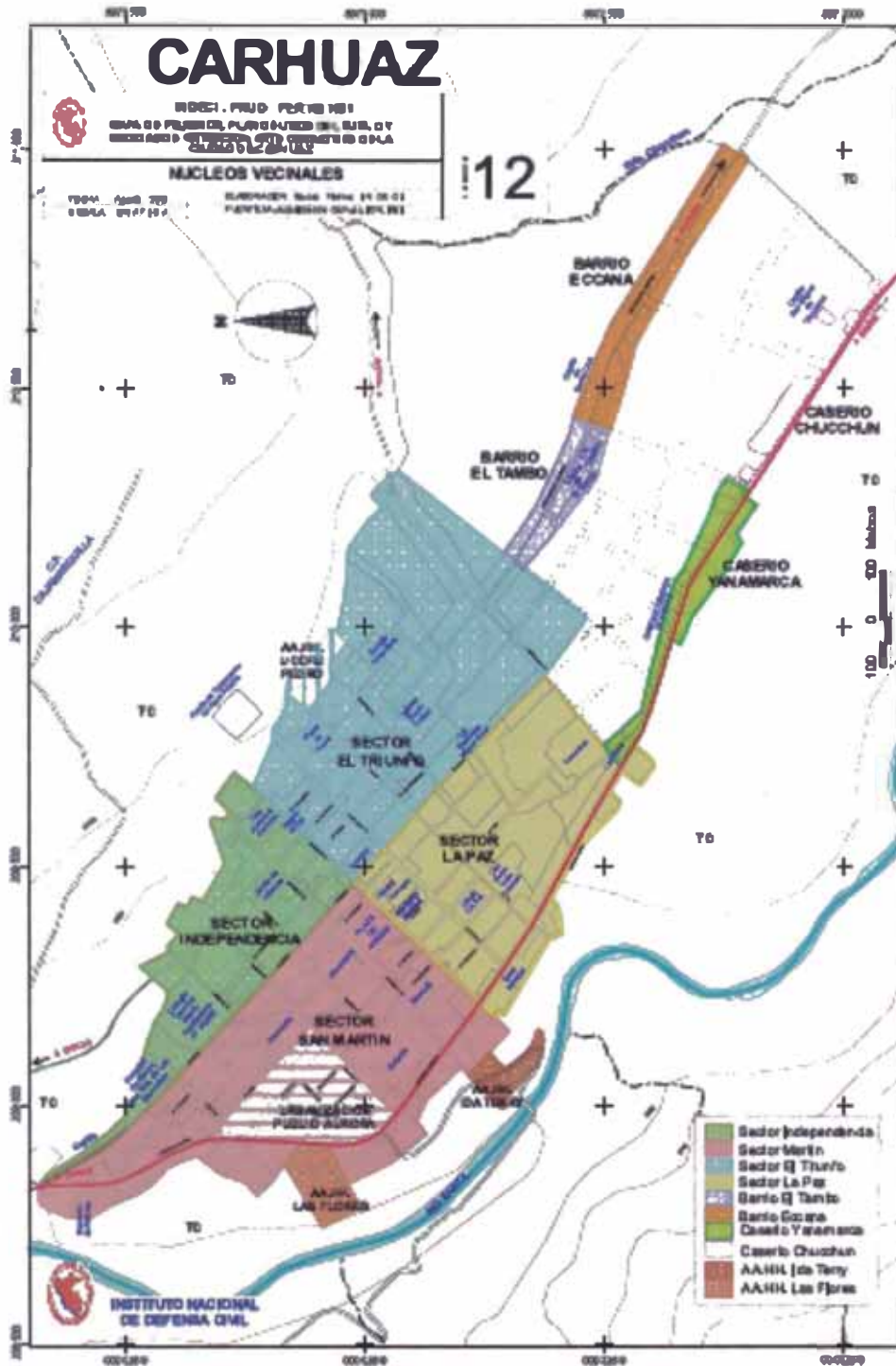


Figura N°7. Plano de Ubicación de la Provincia de Carhuaz.

Fuente: Equipo Técnico INDECI-2004.

CAPÍTULO V: APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE CARHUAZ

La metodología escogida para determinar la vulnerabilidad sísmica en algunas viviendas en la ciudad de Carhuaz es la desarrollada por los investigadores italianos Benedetti y Petrini (1982) y conocida como el método del Índice de Vulnerabilidad, el cual fue desarrollado con mayor detenimiento en el capítulo IV 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.

5.1 EDIFICACIONES EN LA ZONA DE ESTUDIO

Se escogió para la evaluación, el asentamiento Humano LAS FLORES con sus 6 manzanas escogidas (01, 02, 03, 04, 05, 06) que comprenden 79 lotes, como también de la Urbanización de Puquio Aurora que conforman 6 manzanas (A, B, C, D, E, F) y comprenden 86 lotes, haciendo un total de 165 para el estudio de vulnerabilidad, las cuales pueden apreciarse en las figuras N°8 y N°9 respectivamente, realizada en entorno GIS para mostrar las viviendas estudiadas.

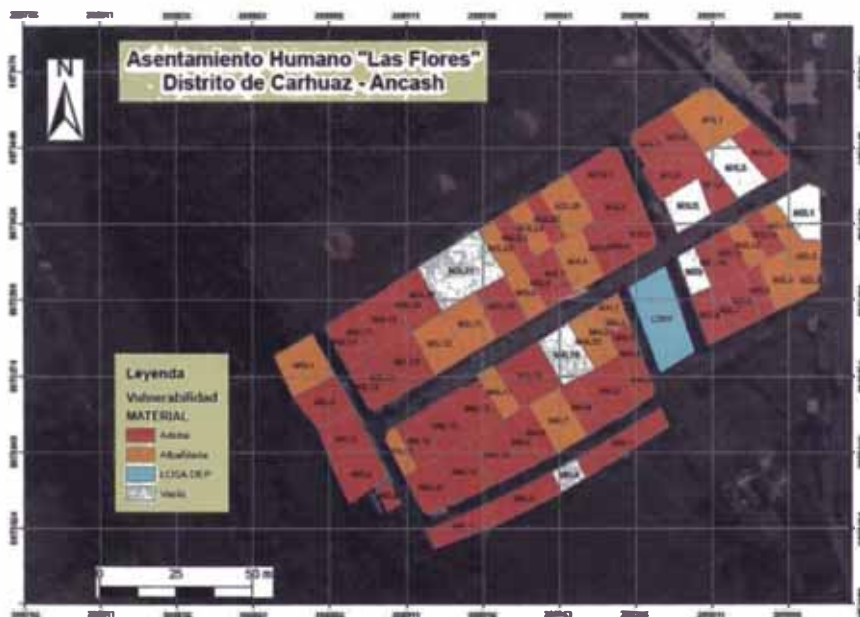


Figura N°8 Mapa Temático de Materiales de Construcción del Asentamiento Humano "Las Flores".

Fuente: Elaboración Propia.

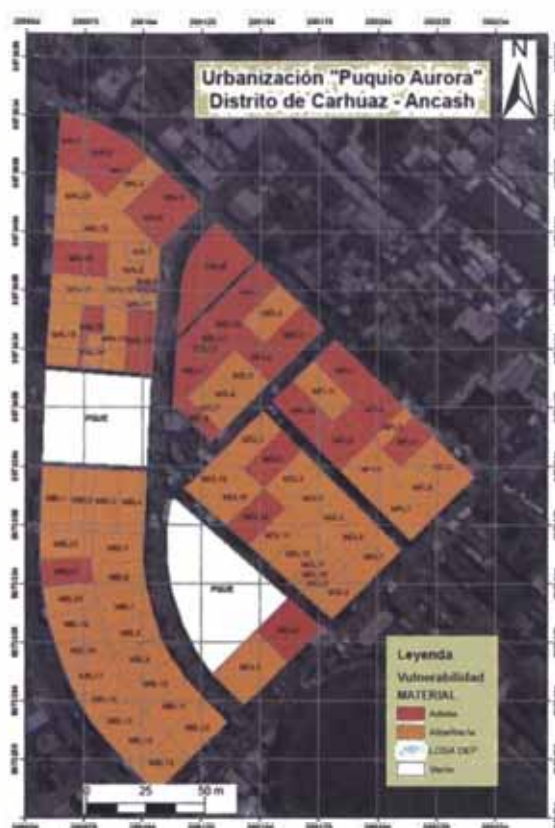


Figura N°9 Mapa Temático de Materiales de Construcción de la Urbanización "Puquio Aurora".
Fuente: Elaboración Propia.

5.2 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

De acuerdo a lo descrito en el capítulo III, procedió a la aplicación Método del Índice de Vulnerabilidad de los 165 lotes escogidos. La base cartográfica, es decir los planos, ya se habían importado y geo referenciado en el programa ArcGis 10.0.

A continuación mostraremos un ejemplo de programación con el lenguaje de Visual Basic usado en el presente trabajo para determinar el rango del valor de la vulnerabilidad, como se puede apreciar en las figuras N°10 y N°11.

```

IF [Vul_]>231 THEN
[vul_T] = "Muy Alto"
ELSEIF [Vul_]>190 THEN
[vul_T] = "Alto"
ELSEIF [Vul_]>170 THEN
[vul_T] = "Medio"
ELSEIF [Vul_]>150 THEN
[vul_T] = "Medio Bajo"
ELSE
[vul_T] = "Bajo"
END IF
    
```

Figura N°10 Rutina realizada en el ArcGis.

Fuente: Elaboración Propia.

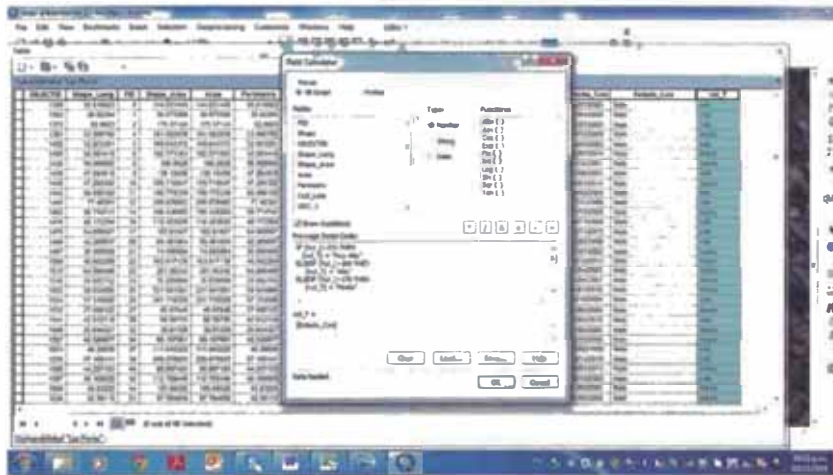


Figura N°11 Programación de la rutina en el ArcGis.

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de realizada la programación, se consiguieron los siguiente resultados, los cuales se muestran en las Cuadros y figuras.

En primer lugar mostramos la Cuadro N° 11 en la cual se aprecia los rangos propuestos por el método aplicado a la cantidad de viviendas encuestadas del Asentamiento Humano "Las Flores".

Cuadro N°11: Porcentajes de Rangos de Vulnerabilidad del Asentamiento Humano "Las Flores"

| RANGO | lv | CASOS | PORCENTAJE |
|------------|---------------------|-------|------------|
| Bajo | $lv \leq 150$ | 28 | 35% |
| Medio Bajo | $150 < lv \leq 170$ | 8 | 10% |
| Medio | $170 < lv \leq 190$ | 23 | 29% |
| Alto | $190 < lv \leq 230$ | 20 | 25% |
| Muy Alto | $lv > 231$ | 0 | 0% |
| TOTAL | | 79 | 100% |

Fuente: Elaboración Propia.

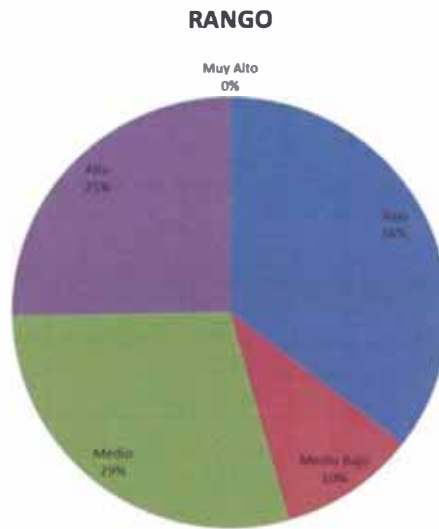


Figura N°12: Distribución Gráfica de los Índices de Vulnerabilidad del Asentamiento Humano "Las Flores"
Fuente: Elaboración Propia.

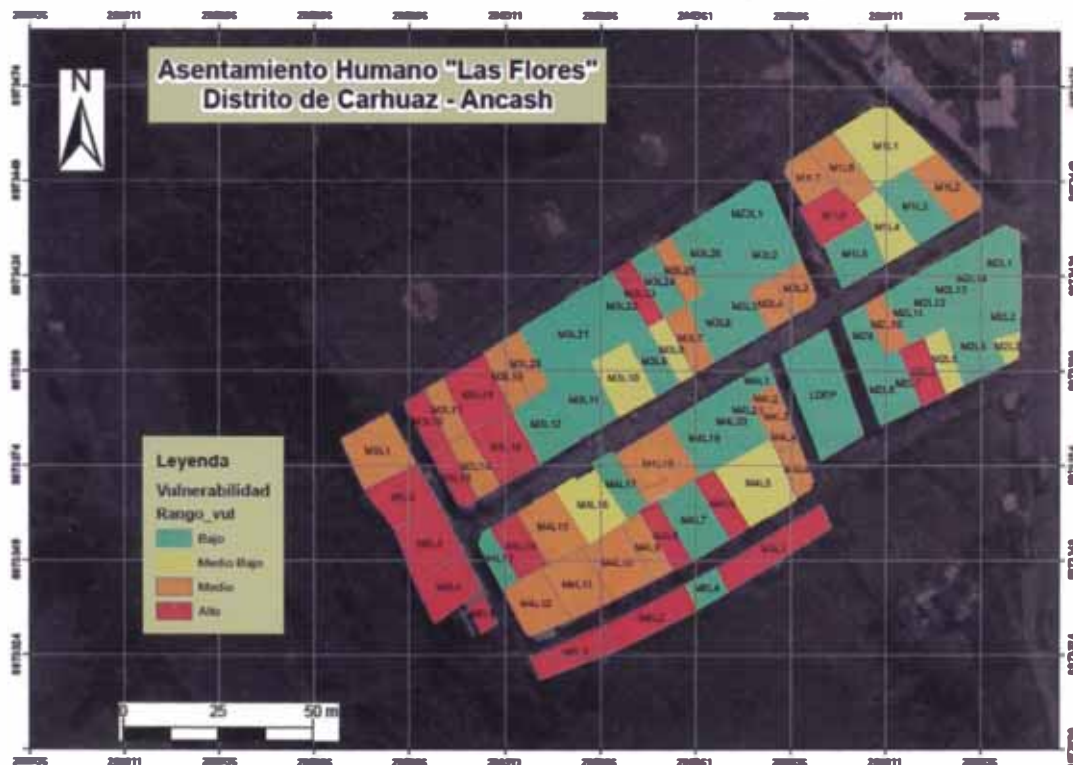


Figura N°13 Mapa Temático de Vulnerabilidad.

Asentamiento Humano "Las Flores"

Fuente: Elaboración Propia.

En segundo lugar mostramos la Cuadro N° 12 en la cual se aprecia los rangos propuestos por el método aplicado a la cantidad de viviendas encuestadas de La Urbanización “Puquio Aurora”.

Cuadro N°12: Porcentajes de Rangos de Vulnerabilidad de La Urbanización “Puquio Aurora”.

| RANGO | I _v | CASOS | PORCENTAJE |
|------------|----------------------|-------|------------|
| Bajo | $I_v \leq 150$ | 71 | 83% |
| Medio Bajo | $150 < I_v \leq 170$ | 8 | 9% |
| Medio | $170 < I_v \leq 190$ | 6 | 7% |
| Alto | $190 < I_v \leq 230$ | 1 | 1% |
| Muy Alto | $I_v > 231$ | 0 | 0% |
| TOTAL | | 86 | 100% |

Fuente: Elaboración Propia.

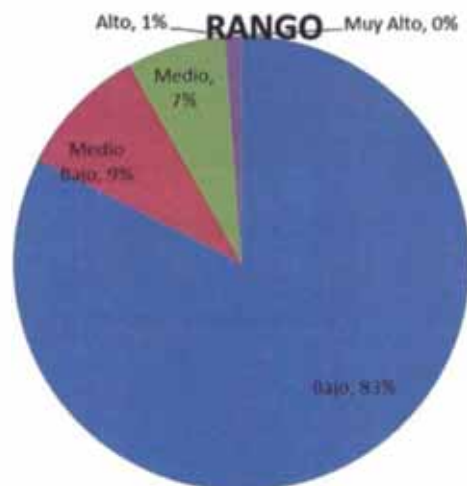


Figura N°14: Distribución Gráfica de los Índices de Vulnerabilidad de La Urbanización “Puquio Aurora”.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°15 Mapa Temático de Vulnerabilidad.
Urbanización "Puquio Aurora".

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DEL DAÑO ECONÓMICO EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE CARHUAZ

Se toma en cuenta dos tipos de desastres en una sociedad y en una economía: La destrucción (total o parcial) de activos físicos y los cambios en los flujos de la zona afectada.

Se han adoptado las siguientes definiciones para efectos de desastres:

Daño: Destrucción total o parcial de los activos físicos existentes en la zona afectada. El daño ocurre durante o inmediatamente después del desastre y se cuantifica en unidades físicas (esto es, metros cuadrados de viviendas, kilómetros de carreteras, etc.). Su valor monetario se expresa en términos de los costos de reposición de conformidad con los precios prevalecientes antes del suceso.

Pérdida: Cambios de flujos económicos derivados del desastre, Estos ocurren desde el momento del desastre hasta que se alcanza la recuperación económica y la reconstrucción plena, en algunos casos pueden durar varios años.

Característicamente la pérdidas incluyen la disminución de la producción de los sectores productivos (agricultura, ganadería, pesquería, industria y comercio) y la reducción de los ingresos y el aumento de los costos de operación de la prestación de servicios (salud, educación, agua y saneamiento, electricidad, transporte, y comunicación).

El daño económico se resume a relacionar el daño estructural con las pérdidas económicas de un edificio producto de un evento sísmico. Para lo cual se requiere saber el costo de reposición global en términos financieros, asociándolo a un índice de daño económico global en términos financieros, asociándolo a un índice de daño económico global que involucre los anteriores.

Generalmente se define de la siguiente manera:

Costo de reparación por daño = Índice de daño * costo de viviendaEc.5

Para el análisis de los respectivos costos, primero determinares el parámetro de Daño Sísmico, que según la Cuadro de Funciones de Vulnerabilidad-Angeletti et al, 1988, basándome en las intensidades (IX, VIII, VII) MCS (Figura N° 18), obtenemos el cuadro de índices de daños.

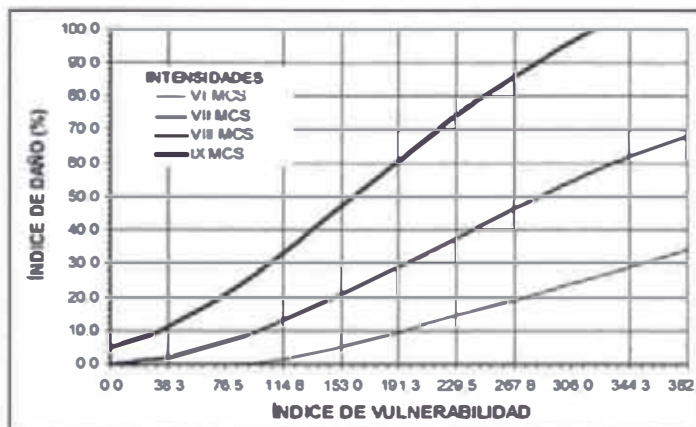


Figura N°16 Funciones de Vulnerabilidad-Angeletti et al, 1988.

Fuente: Mena.2002.

6.1 DETERMINACIÓN DE LOS RANGOS DE ÍNDICE DE DAÑOS

Para poder determinar los rangos de los índices de daños nos basamos en los estudios realizados por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres realizadas en el Programa “Nuestras Ciudades” para el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento:

- Para el asentamiento Humano Las Flores y para la Urbanización Puquio Aurora:

Cuadro N°13: Rangos del Índice de Daño Sísmico.

| Rango | D(%) |
|-------------|------------------|
| Ligero | $D \leq 15$ |
| Moderado | $15 < D \leq 30$ |
| Grave | $30 < D \leq 60$ |
| Destrucción | $60 < D \leq 85$ |
| Colapso | $D > 85$ |

Fuente: CISMID-Programa Nuestras Ciudades

6.2 GRÁFICOS DE TENDENCIA PARA DIFERENTES SISMOS (VII, VIII, IX):

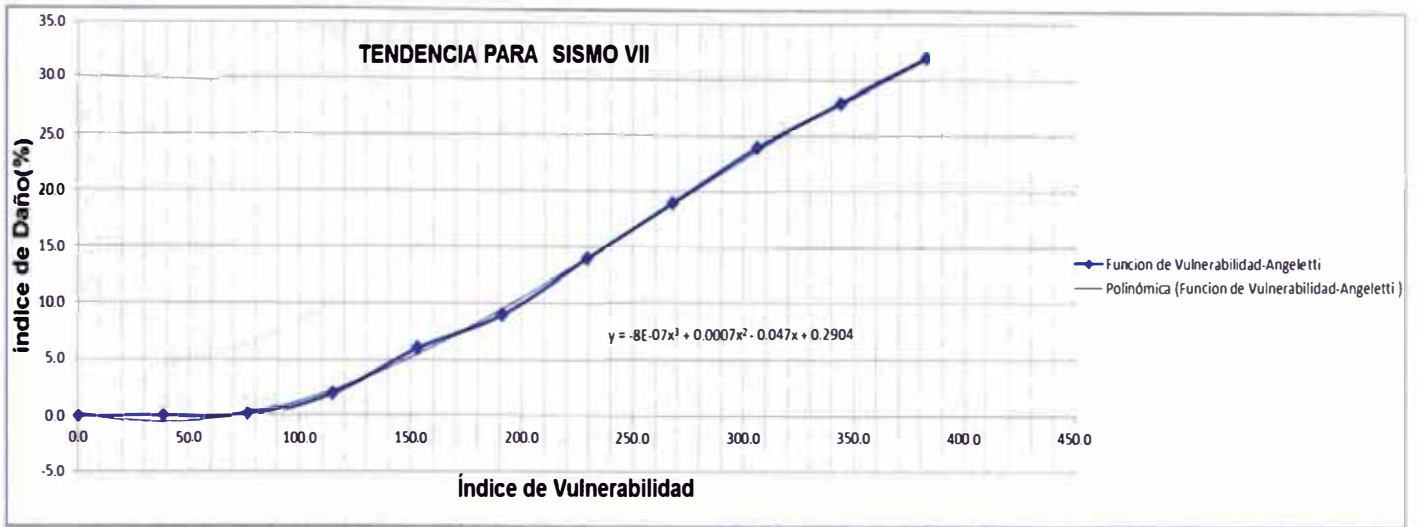


Figura N°17 Gráfico de tendencia para un sismo VII MCS
 Fuente: Elaboración Propia.

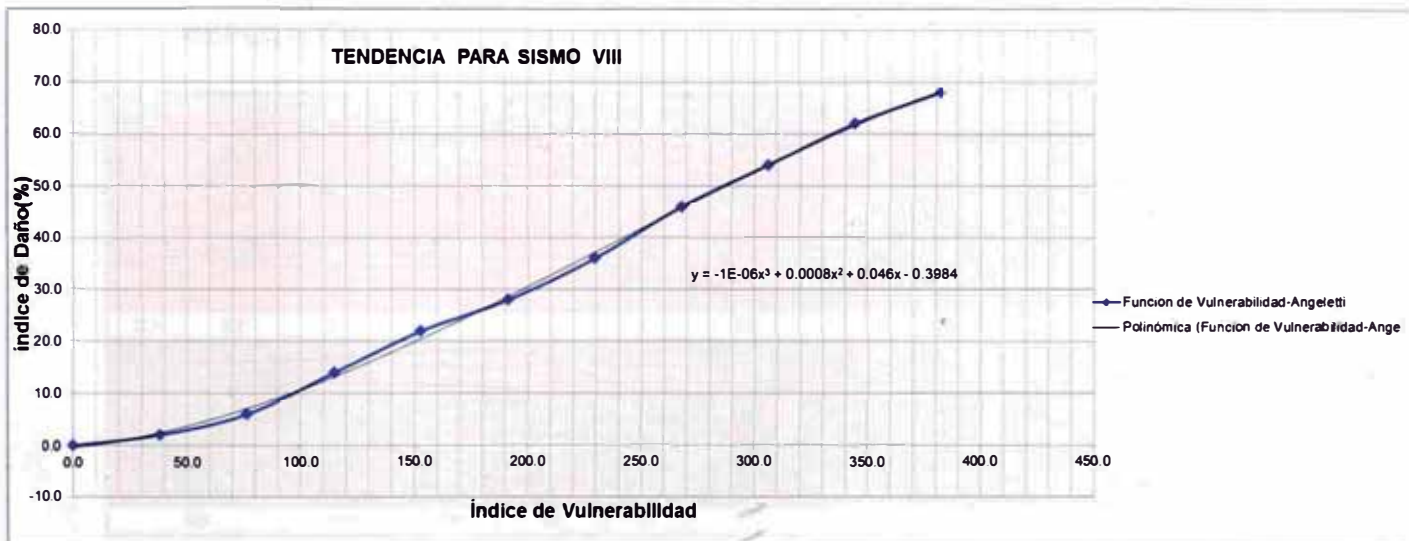


Figura N°18 Gráfico de tendencia para un sismo VIII MCS
 Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°19 Gráfico de tendencia para un sismo IX MCS
Fuente: Elaboración Propia.

6.3 CÁLCULO DEL COSTO DE REPARACIÓN Y DEL COSTO DE REPOSICIÓN.

| EXTRACTO DEL CUADRO DE VALORES UNITARIOS PARA EDIFICACIONES DE LA SIERRA (COSTO POR M ²) | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|---|---|--|--|---|---|---|---|--|--|--|
| VIVIENDA DE ALBANELERIA | | | | | | | | | | | | |
| ESTRUCTURA | | | ACABADOS | | | | | | | | INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS | |
| TECHO | MUROS Y COLUMNAS | PISO | PUERTAS Y VENTANAS | | REVESTIMIENTO | | BAÑOS | | INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS | | | |
| ALZARADO | CALAMINTEJA | COQUEO (1/2) con mano de obra y materiales y agua de canalización | Laminado Normal/Placa Brindada/Concreto | Concreto Pulido/Alfombra | Módulo de Formidulario de vidrio o similar/Alfombra Simple | Módulo General | Terminado/Parquetado de Piso/Alfombra/Parquetado/Parquetado/Alfombra Simple | Alfombra de Piso de Baño/Parquetado/Alfombra Simple | Baño Completo/Alfombra/Parquetado/Alfombra Simple | Baño Completo/Alfombra/Parquetado/Alfombra Simple | Agua Fría/Caliente/Corriente/Alfombra/Parquetado/Alfombra Simple | Agua Fría/Caliente/Corriente/Alfombra/Parquetado/Alfombra Simple |
| 125.24 | 36.55 | 231.24 | 41.55 | 15.99 | 41.7 | 24.65 | 57.4 | 48.05 | 28.59 | 12.06 | 46.68 | 15.24 |
| VIVIENDA DE ADobe | | | | | | | | | | | | |
| ESTRUCTURA | | | ACABADOS | | | | | | | | INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS | |
| TECHO | MUROS Y COLUMNAS | PISO | PUERTAS Y VENTANAS | | REVESTIMIENTO | | BAÑOS | | INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS | | | |
| CALAMINTEJA | Alfombra Simple | Concreto Pulido/Alfombra | Tapa/Alfombra | Módulo de Formidulario de vidrio o similar/Alfombra Simple | Módulo General | Terminado/Parquetado de Piso/Alfombra/Parquetado/Parquetado/Alfombra Simple | Alfombra de Piso de Baño/Parquetado/Alfombra Simple | Baño Completo/Alfombra/Parquetado/Alfombra Simple | Baño Completo/Alfombra/Parquetado/Alfombra Simple | Agua Fría/Caliente/Corriente/Alfombra/Parquetado/Alfombra Simple | Agua Fría/Caliente/Corriente/Alfombra/Parquetado/Alfombra Simple | |
| 36.55 | 111.95 | 15.99 | 3.52 | 41.7 | 24.65 | 57.4 | 48.05 | 28.59 | 12.06 | 46.68 | 15.24 | |

Cuadro N°14: Valores unitarios para edificaciones de la Sierra.

Fuente: Norma Legal del Peruano R.M -278-2013-VIVIENDA

Cuadro N°15: Porcentajes de depreciación para edificaciones de la Sierra.

| Antigüedad (En Años) | Material Estructural Predominante | Estado de conservación | | |
|----------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------|--------|
| | | Bueno % | Regular % | Malo % |
| Hasta 5 Años | Concreto | 5 | 10 | 55 |
| | Ladrillo | 8 | 20 | 60 |
| | Adobe | 15 | 30 | 65 |
| Hasta 10 Años | Concreto | 5 | 10 | 55 |
| | Ladrillo | 11 | 23 | 63 |
| | Adobe | 20 | 55 | 70 |
| Hasta 15 Años | Concreto | 8 | 13 | 58 |
| | Ladrillo | 14 | 26 | 66 |
| | Adobe | 25 | 40 | 75 |
| Hasta 20 Años | Concreto | 11 | 16 | 61 |
| | Ladrillo | 17 | 29 | 69 |
| | Adobe | 30 | 45 | 80 |
| Hasta 25 Años | Concreto | 14 | 19 | 64 |
| | Ladrillo | 20 | 32 | 72 |
| | Adobe | 35 | 50 | 85 |
| Hasta 30 Años | Concreto | 17 | 22 | 67 |
| | Ladrillo | 23 | 35 | 75 |
| | Adobe | 40 | 55 | 90 |
| Hasta 35 Años | Concreto | 20 | 25 | 70 |
| | Ladrillo | 26 | 38 | 78 |
| | Adobe | 45 | 60 | * |
| Hasta 40 Años | Concreto | 23 | 28 | 73 |
| | Ladrillo | 29 | 41 | 81 |
| | Adobe | 50 | 65 | * |
| Hasta 45 Años | Concreto | 26 | 31 | 76 |
| | Ladrillo | 32 | 44 | 84 |
| | Adobe | 55 | 70 | * |

*: El evaluador deberá estimar los porcentajes no tabulados.

Fuente: R.M.N -126-2013-VIVIENDA

6.3.1 Cálculo del estado de conservación de las Viviendas

Para esta parte se realizó una relación con la vulnerabilidad realizada de las viviendas, que a continuación se muestra en el siguiente gráfico la programación en el lenguaje del Visual Basic.

```

IF [Vul_]>231 THEN
    [Estado_Cos] = "Malo"
ELSEIF [Vul_]>170 THEN
    [Estado_Cos] = "Malo"
ELSE
    [Estado_Cos] = "Regular"
END IF
    
```

Figura N°20 Rutina realizada en el ArcGis.

Fuente: Elaboración Propia.

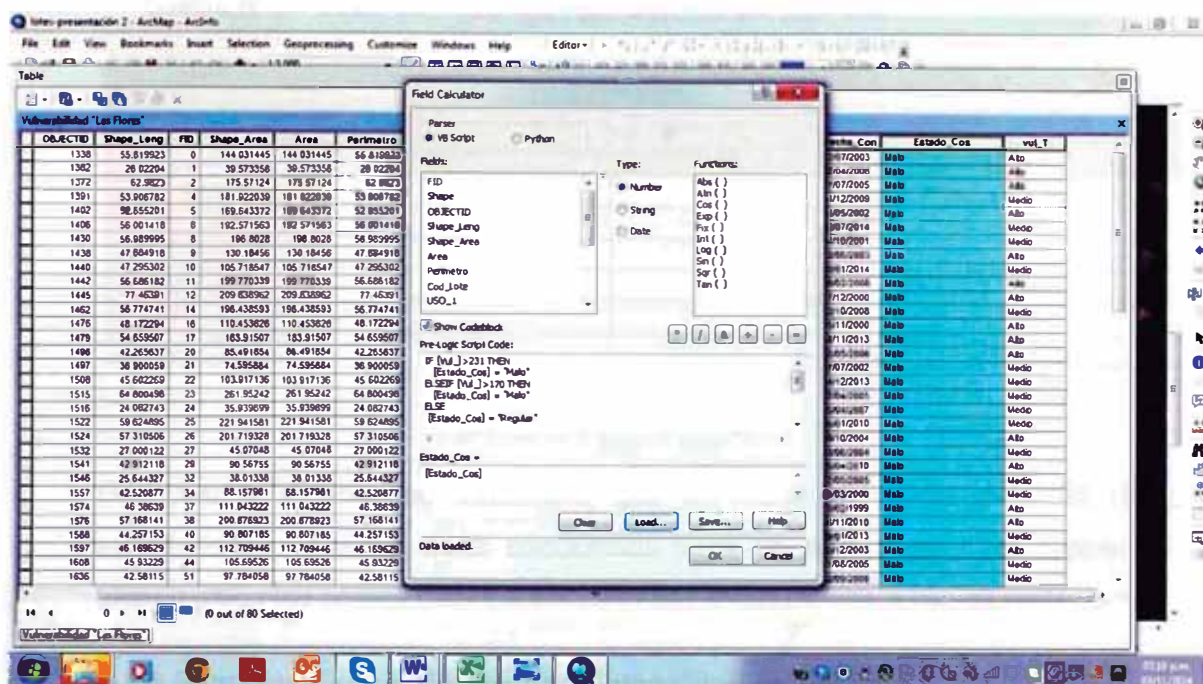


Figura N°21 Programación de la rutina realizada en el ArcGis.

Fuente: Elaboración Propia.

6.3.2 Primer Escenario Sísmico (Intensidad de VII MCS)

Cuadro N°16: Costo de Reparación por Daño del Asentamiento Humano “Las Flores”.

| PRIMER ESCENARIO: SÍSMO VII | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-------|-------|------------------------------|
| DAÑO | CANTIDAD DE LOTES EVALUADOS | | | COSTO DE REPARACIÓN POR DAÑO |
| | ALBAÑILERIA CONFINADA | ADOBE | VACÍO | |
| Ligero | 21 | 49 | 7 | S/. 184,679.81 |
| Moderado | | 2 | | S/. 3,969.22 |
| Grave | | | | |
| Destrucción | | | | |
| Colapso | | | | |
| TOTAL | | | | S/. 188,649.03 |

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro anterior se determina que el índice de daño es 0.06 (6%), indicándonos que la zona encuestada tiene un bajo costo por reposición, siendo estos los costos directos por pérdidas relacionadas a las infraestructuras.

Cuadro N°17: Costo de Reparación por Daño de La Urbanización “Puquio Aurora”.

| PRIMER ESCENARIO: SÍSMO VII | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-------|-------|------------------------------|
| DAÑO | CANTIDAD DE LOTES EVALUADOS | | | COSTO DE REPARACIÓN POR DAÑO |
| | ALBAÑILERÍA CONFINADA | ADOBE | VACÍO | |
| Ligero | 58 | 25 | 3 | S/. 149,940.49 |
| Moderado | | | | |
| Grave | | | | |
| Dstrucción | | | | |
| Colapso | | | | |
| TOTAL | | | | S/. 149,940.49 |

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro anterior se determina que el índice de daño es 0.09 (9%), indicándonos que la zona encuestada tiene un bajo costo por reposición, siendo estos los costos directos por pérdidas relacionadas a las infraestructuras

6.3.3 Segundo Escenario Sísmico (Intensidad de VIII MCS)

Cuadro N°18: Costo de Reparación por Daño del Asentamiento Humano “Las Flores”.

| SEGUNDO ESCENARIO: SÍSMO VIII | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|-------|-------|------------------------------|
| DAÑO | CANTIDAD DE LOTES EVALUADOS | | | COSTO DE REPARACIÓN POR DAÑO |
| | ALBAÑILERÍA CONFINADA | ADOBE | VACÍO | |
| Ligero | 13 | | 7 | S/. 118,468.55 |
| Moderado | 8 | 30 | | S/. 36,864.24 |
| Grave | | 21 | | S/. 138,025.54 |
| Dstrucción | | | | |
| Colapso | | | | |
| TOTAL | | | | S/. 293,358.32 |

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro anterior se determina que el índice de daño es 0.9 (9%), indicándonos que la zona encuestada tiene un valor mucho menos de la mitad del costo por reposición que serían los costos directos por pérdidas relacionadas a las infraestructuras.

Cuadro N°19: Costo de Reparación por Daño de La Urbanización “Puquio Aurora”.

| SEGUNDO ESCENARIO: SÍSMO VIII | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|-------|-------|------------------------------|
| DAÑO | CANTIDAD DE LOTES EVALUADOS | | | COSTO DE REPARACIÓN POR DAÑO |
| | ALBAÑILERÍA CONFINADA | ADOBE | VACÍO | |
| Ligero | 51 | 7 | 3 | S/. 979,473.59 |
| Moderado | 7 | 17 | | S/. 163,899.69 |
| Grave | | 1 | | S/. 1,326.67 |
| Dstrucción | | | | |
| Colapso | | | | |
| TOTAL | | | | S/. 1,144,699.95 |

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro anterior se determina que el índice de daño es 0.09 (9%), indicándonos que la zona encuestada tiene un valor de menos de la mitad del costo por reposición que serían los costos directos por pérdidas relacionadas a las infraestructuras.

6.3.4 Tercer Escenario Sísmico (Intensidad de IX MCS)

Cuadro N°20: Costo de Reparación por Daño del Asentamiento Humano "Las Flores".

| TERCER ESCENARIO: SÍSMO IX | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-------|-------|------------------------------|
| DAÑO | CANTIDAD DE LOTES EVALUADOS | | | COSTO DE REPARACIÓN POR DAÑO |
| | ALBAÑILERIA CONFINADA | ADOBE | VACÍO | |
| Ligero | 1 | | 7 | S/. 4,147.72 |
| Moderado | 9 | | | S/. 165,909.86 |
| Grave | 11 | 25 | | S/. 1,206,995.91 |
| Destrucción | | 26 | | |
| Colapso | | | | |
| TOTAL | | | | S/. 1,377,053.49 |

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro anterior se determina que el índice de daño es 0.44 (44%), indicándonos que la zona encuestada tiene un valor cercano a la mitad del costo por reposición que serían los costos directos por pérdidas relacionadas a las infraestructuras en un escenario sísmico con características similares al ocurrido en el año 1970 en Ancash.

Cuadro N°21: Costo de Reparación por Daño de La Urbanización "Puquio Aurora".

| TERCER ESCENARIO: SÍSMO IX | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-------|-------|------------------------------|
| DAÑO | CANTIDAD DE LOTES EVALUADOS | | | COSTO DE REPARACIÓN POR DAÑO |
| | ALBAÑILERIA CONFINADA | ADOBE | VACÍO | |
| Ligero | | | 3 | S/. 0.00 |
| Moderado | 45 | 6 | | S/. 2,316,788.31 |
| Grave | 13 | 18 | | S/. 649,558.47 |
| Destrucción | | 1 | | S/. 2,675.53 |
| Colapso | | | | |
| TOTAL | | | | S/. 2,969,022.31 |

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro anterior se determina que el índice de daño es 0.24 (24%), indicándonos que la zona encuestada tiene un valor de menos de la mitad del costo por reposición que serían los costos directos por pérdidas relacionadas a las infraestructuras en un escenario sísmico con características similares al ocurrido en el año 1970 en Ancash.

6.3.5 Resumen Gráfico del Costo de Reparación con la Intensidad Sísmica

En el presente resumen elaborado nos muestra la tendencia que se da en las dos zonas evaluadas con los diferentes escenarios sísmicos y sus respectivos costos de reparación, se observa que la tendencia es similar en ambos casos.



Figura N°22 Gráfico: Costo de Reparación Vs Intensidad
AA.HH LAS FLORES
Fuente: Elaboración Propia.

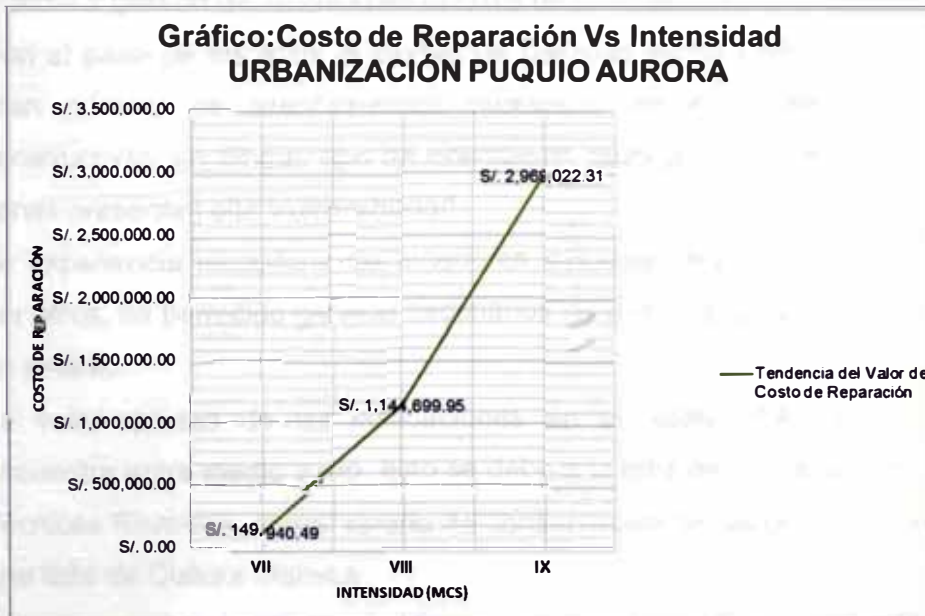


Figura N°23 Gráfico: Costo de Reparación Vs Intensidad
URBANIZACIÓN PUQUIO AURORA
Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El método del Índice de Vulnerabilidad es adecuado para implementarlo en grandes ciudades (aplicación en el ámbito urbano), solo en el caso que se disponga de la información mínima necesaria para evaluar la calidad sismo resistente de los edificios o estructuras que se estudien.
- Para la evaluación de daño de los edificios es importante disponer de funciones de vulnerabilidad calibradas para la zona de estudio. Los resultados obtenidos aplicando funciones de otra zona pueden inducir a errores considerables, con el riesgo en los resultados finales.
- Las visitas de campo realizadas a la zona de estudio permitieron contar con una base de datos regularmente buena para aplicar el método del índice de Vulnerabilidad a las edificaciones del asentamiento humano escogido.
- A pesar que la aplicación de la metodología descrita permite asignar un índice de Vulnerabilidad a cada edificio singular, no hay que perder de vista el sentido probabilístico del método y de los resultados obtenidos.
- Aplicar la metodología del índice de Vulnerabilidad a una escala mayor requiere obligadamente disponer de una herramienta de almacenamiento, análisis y gestión de un volumen enorme de información.
- Con el paso de los años la ciudad de Carhuaz se ha visto rodeada de un gran número de asentamientos humanos, donde se tienen prácticas constructivas sin ningún tipo de orientación técnica, lo que hace que estas zonas presenten alta Vulnerabilidad.
- La experiencia recopilada de anteriores estudios metodológicos realizados por otros, ha permitido generar escenarios de daño particulares para la zona de estudio.
- La vulnerabilidad de las edificaciones en el AAHH “LAS FLORES” se encuentra entre medio y alto, esto se debe a la falta de aplicación de normas Técnicas Sísmicas, al mal estado de conservación de las construcciones y a una falta de Cultura Sísmica.
- La vulnerabilidad de las edificaciones en La Urbanización “PUQUIO AURORA” se encuentra entre bajo y medio, esto se debe a que después del sismo del año 70 ocurrido en Ancash, se realizaron programas de construcción de casas con la orientación técnica correspondiente.

- El estado de conservación se clasificaron de regular a malo debido a una falta de mantenimiento regular que presentan las viviendas encuestadas.
- Es fundamental transferir los resultados obtenidos a los organismos con responsabilidad de gestión de la protección civil y en la planificación y gestión de emergencia, para elaborar planes de emergencia viables.

7.2 RECOMENDACIONES

- En este trabajo se han realizado en estructura de mampostería (ladrillo, adobe). Es conveniente desarrollar funciones de vulnerabilidad para las restantes tipologías existentes en el país. Ello permitiría ampliar la muestra de edificios a los que se aplicaría el método.
- Comparar los resultados obtenidos con otras metodologías de manera de contar con información más detallada acerca del comportamiento de las estructuras.
- Prestar atención al desarrollo de los SIG para adoptar sistemas más amigables y potentes.
- Los datos son el núcleo de todo estudio de Vulnerabilidad y Riesgo. Es imprescindible actualizar la información. Para ello es necesario contar con sistemas de actualización automática de las bases de datos.
- Es importante involucrar a organismos públicos y privados en la evaluación de riesgo Sísmico para obtener su interés y participación en la en la obtención de datos necesarios para este tipo de estudios.
- Incorporar a las bases de datos información anual económica y de valor de las instalaciones, edificios, y servicios para alimentar un módulo de evaluación de costo que permita re-evaluar el valor económico del daño de forma automática.
- Incorporar otra información sensible de tipo socio-económico como evolución y su movilidad, que permita establecer de forma automática escenarios de daño espacio-temporales.
- Es de suma importancia que los resultados del presente trabajo se deberían complementar con los estudios realizados por El Instituto Nacional de Defensa Civil mediante su Programa de Ciudades Sostenibles, que contempla un Plan de uso de Suelos y Medidas de Mitigación ante desastres en la Ciudad de Carhuaz.

BIBLIOGRAFÍA

- Caballero Guerrero Álvaro Rafael, "Determinación de la Vulnerabilidad Sísmica por medio del Método de 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.
- Caicedo C., Barbat A.H, Canas J.A., "Vulnerabilidad Sísmica de Edificios. Monografía de Ingeniería Sísmica", Editorial CIMNE, 1994
- GFDRR, "Evaluación de Daños y pérdidas ocasionadas por los desastres", Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial-Washington DC-2010.
- Instituto Nacional de Defensa Civil, "MAPA DE PELIGRO, PLAN DE USO DEL SUELO, Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN ANTE DESASTRES CIUDAD DE CARHUAZ", Carhuaz –Ancash, 2004.
- Kuroiwa Julio, "REDUCCION DE DESASTRES-Viviendo en Armonía con la Naturaleza", Lima, 2002.
- Peralta Adolfo, "ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD Y DAÑO SÍSMICO DE LAS EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA DE UNO Y DOS PISOS EN EL BARRIO SAN ANTONIO", Proyecto de Grado, Universidad del Valle –Facultad de Ingeniería –Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Cali-Colombia, 2002.
- Quintero Cardona, Nayriuska Del Carmen, "Niveles de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en edificaciones de la Parroquia Catedral del Municipio Libertador de Caracas", Proyecto de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2011.