



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, DE
SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA**



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“VULNERABILIDAD SISMICA APLICANDO INDICES DE
VULNERABILIDAD (BENEDETTI PETRINI) EN LA CIUDAD DE
SAN JOSE, DISTRITO DE SAN JOSE, PROVINCIA
LAMBAYEQUE, DEPARTAMENTO LAMBAYEQUE”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

BACH. CRIOLLO PAUCAR, JOSÉ ALEXIS

BACH. SANTISTEBAN JACINTO, ALEX GUILLERMO

PATROCINADOR:

ING. CARLOS JORGE RAMOS CHIMPEN

LAMBAYEQUE – PERÚ

2018

TESIS

“VULNERABILIDAD SISMICA APLICANDO INDICES DE VULNERABILIDAD (BENEDETTI PETRINI) EN LA CIUDAD DE SAN JOSE, DISTRITO DE SAN JOSE, PROVINCIA LAMBAYEQUE, DEPARTAMENTO LAMBAYEQUE”

Presentada a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura para optar el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL, en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Responsables:

Bach. CRIOLLO PAUCAR JOSÉ ALEXIS

Responsable

Bach. SANTISTEBAN JACINTO ALEX GUILLERMO

Responsable

Miembros del Jurado:

ING. AMADOR GUILMER NAVEDA ASALDE

Presidente de Jurado

ING. OVIDIO SERRANO ZELADA

Miembro de Jurado

ING. ROBERTO CARLOS CACHAY SILVA

Miembro de Jurado

ING. CARLOS JORGE RAMOS CHIMPEN

Patrocinador

ÍNDICE

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT.....	4
1 CAPITULO I: INTRODUCCION.....	6
1.1 INTRODUCCIÓN.....	6
1.2 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	6
1.3 HIPÓTESIS.....	7
1.4 OBJETIVO.....	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.5 ÁREA DE ESTUDIO.....	8
1.6 MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.7 CONTENIDO DEL PROYECTO.....	8
2. ASPECTOS GENERALES DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	11
2.1 INTRODUCCIÓN.....	11
2.2 CLASES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	11
2.2.1 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL.....	12
2.2.2 VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL.....	12
2.2.3 VULNERABILIDAD FUNCIONAL.....	12
2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISTRITO DE SAN JOSE.....	13
2.3.1 UBICACIÓN.....	13
2.3.2 CREACIÓN.....	14
2.3.3 SUPERFICIE.....	14
2.3.4 RELIEVE Y MORFOLOGÍA.....	14
2.3.5 GEOLOGÍA.....	15
2.3.6 CLIMA.....	15
2.3.7 RECURSOS NATURALES.....	15
2.3.8 POBLACIÓN.....	16
2.4 FUNDAMENTOS DE SISMOLOGÍA.....	16
2.4.1 ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA.....	17
2.4.2 ONDAS SÍSMICAS.....	18
2.4.3 SISMOS.....	19

2.4.4	PLACAS TECTÓNICAS.....	23
2.4.5	CINTURÓN DE FUEGO DEL PACIFICO.	25
2.5	DISTRIBUCIÓN DE LOS SISMOS SOBRE LA TIERRA.....	26
2.6	SISMICIDAD EN EL PERÚ.....	26
2.7	SISMICIDAD REGIONAL.....	27
2.8	COMPORTAMIENTO SISMICO DE EDIFICACIONES.....	29
2.8.1	EDIFICACIONES DE ADOBE.....	29
2.8.2	EDIFICACIONES CON MUROS DE ALBAÑILERÍA Y TECHOS RÍGIDOS 31	
2.8.3	EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO.....	35
2.8.4	DEFECTOS QUE INCIDEN EN EL COMPORTAMIENTO INADECUADO DE LAS CONSTRUCCIONES	36
3.	METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.	40
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	40
3.2.	ASPECTOS QUE AFECTAN LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	40
3.2.1.	ASPECTOS GEOMÉTRICOS.....	40
3.2.2.	ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.....	40
3.2.3.	ASPECTOS ESTRUCTURALES.	41
3.2.4.	SUELOS.....	41
3.2.5.	ENTORNO.....	42
3.3.	METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.	42
3.3.1.	MÉTODOS ANALÍTICOS.....	42
3.3.2.	MÉTODOS SUBJETIVOS.....	43
3.4.	VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS MÉTODOS ANALIZADOS.....	44
3.4.1.	MÉTODO ATC-14.....	44
3.4.2.	MÉTODO NAVFAC.....	45
3.4.3.	MÉTODO JAPONÉS.....	46
3.4.4.	MÉTODO VENEZOLANO.....	46
3.4.5.	MÉTODO FEMA – 178 = FEMA -310.....	47
3.4.6.	MÉTODO DEL I.S.T.C.....	47
3.4.7.	METODOLOGÍA PROPUESTA POR HURTADO Y CARDONA.....	48
3.4.8.	MÉTODO DE AIS.....	48
3.4.9.	MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	49
3.5.	METODOLOGÍA ESCOGIDA PARA EL ESTUDIO DE TESIS REALIZADO ...	50
3.5.1.	INFORMACIÓN NECESARIA.....	50
3.5.2.	FACILIDAD PARA SER APLICADA EN EL DISTRITO DE SAN JOSÉ	51

3.5.3.	CREDIBILIDAD DE LA METODOLOGÍA	51
3.6.	METODOLOGÍA DESARROLLADA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE SAN JOSÉ.	51
3.6.1.	MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (BENEDETTI – PETRINI).	51
3.6.2.	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA	52
3.6.3.	FUNCIONES DE VULNERABILIDAD PARA ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA	55
3.6.4.	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO	57
3.7.	ADAPTACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.	60
3.7.1.	PARÁMETROS PLANTEADOS PARA UTILIZAR EL MÉTODO.	61
3.8.	DESCRIPCIÓN Y CLASES DE LOS PARÁMETROS DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.	61
3.8.1.	PARÁMETRO 1: TIPO Y ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE.	62
3.8.2.	PARÁMETRO 2: CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE.	63
3.8.3.	PARÁMETRO 3 : RESISTENCIA CONVENCIONAL	64
3.8.4.	PARÁMETRO 4: POSICIÓN DEL EDIFICIO Y CIMENTACIÓN.	70
3.8.5.	PARÁMETRO 5: DIAFRAGMAS HORIZONTALES.	71
3.8.6.	PARÁMETRO 6: DIAFRAGMAS HORIZONTALES.	72
3.8.7.	PARÁMETRO 7: CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN	74
3.8.8.	PARÁMETRO 8: DISTANCIA MÁXIMA ENTRE MUROS O	75
3.8.9.	PARÁMETRO 9: TIPO DE CUBIERTA.	76
3.8.10.	PARÁMETRO 10: ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	77
3.8.11.	PARÁMETRO 11: ESTADO DE CONSERVACIÓN.	78
4.	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).	81
4.1	INTRODUCCIÓN.	81
4.2	DEFINICION DE SIG.	81
4.4	IMPORTANCIA DEL SIG.	82
4.5	COMPONETES DE SIG.	83
4.6	COMO TRABAJA UN SIG.	86
4.7	CONCEPTOS GENERALES DE LOS DATOS GEOGRAFICOS.	86
4.7.1	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	86
4.7.2	COORDENADAS UTM.	87
4.7.3	PROYECCIÓN DE MAPAS	88

4.8	APLICACIONES EN EL ANALISIS DE VULNERABILIDA.	88
4.9	ORGANIZACIÓN DE LA INF-ORMACIÓN EN UN SIG	89
4.10	FORMAS DE ALMACENAMIENTO.	90
4.11	ELEMENTOS GEOMETRICOS.	91
4.12	ARC GIS.	92
5.	EVALUACIÓN DE ESCENARIO DE DAÑOS EN LA CIUDAD DE SAN JOSÉ.	96
5.1	INTRODUCCIÓN	96
5.2	CALCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	96
5.2.1	TIPOS DE CONSTRUCCIONES:	96
5.3	RESULTADOS DE LOS 11 PARAMETROS POR CLASE Y TIPOLOGIA ESTRUCTURAL	101
5.4	RESULTADOS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD	127
5.5	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	130
5.6	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	131
6.	LINEAS VÍTALES	135
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	160
7.1.	CONCLUSIONES REFERENTES A LOS RESULTADOS OBTENIDOS.	160
7.2.	RECOMENDACIONES.	161
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	164
	ANEXOS	166

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a quienes son los cimientos de mi formación y desarrollo, todos y cada uno de ustedes: mi familia. Por haberme moldeado como la persona que soy en la actualidad y por su apoyo incondicional. Todos mis logros, incluido éste, se los debo a ustedes.

Le dedico también esta tesis, a Dios; ya que Él es quien permite que sucedan mis triunfos y pueda lograr mis metas, en mi vida personal y profesional.

JOSÉ ALEXIS CRIOLLO PAUCAR

A Dios por sus inmensas bendiciones enviadas. Asimismo dedicado especialmente a mi familia: mis padres: Mariano y Blanca por sus enseñanzas en cada etapa de mi vida y brindarme la oportunidad de ir logrando mis metas profesionales, mis hermanos: Mariano, Percy; Arturo y Junior por su apoyo incondicional y sus consejos invaluable,

ALEX GUILLERMO SANTISTEBAN JACINTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco mi familia por su apoyo económico y moral. A mis amigos, que nos apoyaron con el desarrollo de la tesis, a docentes que nos brindaron información y participaron en ensayos, a nuestro asesor de tesis. Y a las personas que nos brindaron su ayuda ya sea con algún formato, documento o asesoría para lograr esta meta.

JOSÉ ALEXIS CRIOLLO PAUCAR

Agradezco a nuestro asesor por guiarnos en llevar a cabo el procedimiento correcto para el desarrollo de este trabajo de investigación, a mi familia por su apoyo incondicional y a nuestros amigos que fueron personas importantes en todo el desarrollo de la formación profesional de la carrera. Asimismo un agradecimiento especial a los ingenieros encargados del área de catastro de la municipalidad distrital de San José por sus facilidades de brindarnos información necesaria para la elaboración de esta tesis.

ALEX GUILLERMO SANTISTEBAN JACINTO

RESUMEN

El siguiente proyecto de investigación trata los aspectos fundamentales de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones, con la aplicación del Método de Índices de Vulnerabilidad (Benedetti y Petrini), que permite evaluar la calidad estructural de los edificios mediante la calificación de 11 parámetros.

El área en estudio se encuentra comprendida entre La Calle Los Cipreces-Calle Brisas del Maro-Calle Cesar Vallejo Y Calle Ribera del Mar en la ciudad de San José, distrito San José, provincia Lambayeque, departamento Lambayeque comprendiendo así un total de 1,982 viviendas estudiadas y analizadas, de las cuales les presentamos los resultados obtenidos.

Evaluadas todas las viviendas, hemos obtenido los resultados de vulnerabilidad, los cuales están en tres niveles, vulnerabilidad baja, media y alta.

Así mismo hemos extendido este proyecto hasta la evaluación de escenarios de daño, para dar una idea sobre las consecuencias que le traerían tres sismos de distintas intensidades, tomados como patrón y el análisis de líneas vitales de la ciudad de San José.

ABSTRACT

The following research project deals with the fundamental aspects of seismic vulnerability in buildings, with the application of the Vulnerability Index Method (Benedetti and Petrini), which allows to evaluate the structural quality of buildings through the qualification of 11 parameters.

The study area is comprised between La Calle Los Cipreces-Calle Brisas del Maro-Calle Cesar Vallejo and Calle Ribera del Mar in the city of San José, San José district, Lambayeque province, Lambayeque department comprising a total of 1,982 homes studied and analyzed, of which we present the results obtained.

After evaluating all the houses, we have obtained the results of vulnerability, which are in three levels, low, medium and high vulnerability.

We have also extended this project to the assessment of damage scenarios, to give an idea about the consequences that would bring three earthquakes of different intensities, taken as a pattern and analysis of vital lines of the city of San José.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1 CAPITULO I: INTRODUCCION.

1.1 INTRODUCCIÓN.

La ocurrencia de un sismo es impredecible e inevitable, nos demuestra que nuestro planeta continuamente está cambiando y que ocurren muchos fenómenos en su interior. Y nuestro país no es ajeno a movimientos sísmicos que expresan la energía liberada desde el interior del planeta.

El Perú es considerado uno de los países más sísmicos del mundo, en uno de esos procesos de subducción de placas se dio origen a la famosa cordillera de los Andes que atraviesa nuestro país.

La causa primordial de pérdidas humanas debido al colapso de la estructura de las edificaciones se debe a un inadecuado comportamiento del sistema resistente de las viviendas.

La vulnerabilidad, es la susceptibilidad que presentan las edificaciones ante la presencia de un sismo. Depende de muchos parámetros como su diseño, la calidad de los materiales, la técnica de construcción, entre otros.

La finalidad de determinar el índice de vulnerabilidad sísmica es poder identificar riesgos y tomar las medidas necesarias para estar preparados ante un sismo.

La organización, las acciones y el comportamiento de las personas, tienen que ser oportunamente preparados y comprobados a través de experiencias de desastres o de simulacros, donde se pretende reproducir un siniestro en sus condiciones más realistas posibles

El Sistema de Información Geográfica es la herramienta que nos va a permitir plasmar los resultados de vulnerabilidad y riesgo en forma gráfica, mostrando los datos procesados en planos que detallan diferentes zonas.

1.2 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

El Perú está considerado como uno de los países con mayor actividad sísmica en el mundo debido a su ubicación en el “Cinturón de fuego”. Situado en las costas del Océano Pacífico, este anillo de fuego es famoso por concentrar el 75 por ciento de volcanes activos e inactivos del mundo y porque han tenido lugar ahí el 80 por ciento de los terremotos más poderosos de la historia.

Además, todos los valles de los ríos costeros del Perú, contienen las zonas de mayor peligro sísmico. Las intensidades sísmicas relacionadas con los sedimentos aluviales tienden a ser más altas que la intensidad media observada en otros suelos de la costa peruana. El distrito de San José está ubicado dentro de una zona de sismicidad intermedia a alta, pues nuestra región se vio afectada por numerosos efectos sísmicos durante su historia.

Entre el registro de los sismos más destructivos que de alguna manera tienen influencia en nuestra zona de estudio cabe mencionar a los ocurridos en los años 1606, 1614, 1725, 1759, 1857, 1902, 1906, 1907, 1917, 1928, 1937, 1951, 1955, 1959, 1969, 1970.

Ante esta realidad sísmica se puede afirmar que la ciudad de San José está expuesta a sismos y a la posible ocurrencia de un sismo de considerable magnitud en cualquier momento. Es por eso, que es necesario realizar un análisis para determinar la vulnerabilidad sísmica de la zona, y que posteriormente se pueda realizar la gestión necesaria que ayude a tomar decisiones, antes, durante y después de producirse un sismo.

1.3 HIPÓTESIS.

Se espera que el nivel de Vulnerabilidad Sísmica de las viviendas ubicadas en la ciudad de San José, distrito de San José, provincia Lambayeque, departamento Lambayeque se encuentre entre “MEDIO” y “ALTO”.

1.4 OBJETIVO.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

Determinar las zonas de ALTA, MEDIA Y BAJA vulnerabilidad sísmica aplicando índices de vulnerabilidad (Benedetti Petrini) en la ciudad de San José, distrito de San José, provincia Lambayeque, departamento Lambayeque

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar y dar a conocer los efectos que un sismo puede ocasionar en el departamento de Lambayeque, tomando como muestra el distrito de San José.
- Difundir el marco teórico concerniente al Sistema de Información Geográfica en el campo de escenarios de vulnerabilidad sísmica.

- Establecer la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de San José, según las condiciones en las que se encuentran sus edificaciones, de acuerdo a su tipo estructural, estado de conservación, materiales de construcción y número de pisos, para poder ubicar en un mapa las zonas más vulnerables ante un sismo.

1.5 ÁREA DE ESTUDIO.

Esta área se encuentra en la ciudad de San José, Distrito de San José, Provincia de Chiclayo y Departamento de Lambayeque, delimitada como se muestra a continuación:

De Norte a Sur: Desde la calle Brisas del Mar a la calle Los Cipres.

De Oeste a Este: Desde la calle Ribera del Mar a la calle Cesar Vallejo.

1.6 MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Debido al gran aumento de la población de San José, en corto tiempo, surgió la necesidad de construir viviendas y edificaciones urbanas con mayor concentración, generando un desarrollo de esta ciudad.

Por ello ante la presencia de un sismo de magnitud considerable, representaría daños sociales y económicos, es así que ejecutamos este proyecto de Tesis, para mostrar las zonas de baja, media y alta vulnerabilidad sísmica en esta ciudad.

1.7 CONTENIDO DEL PROYECTO.

Este proyecto comprende la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones por el Método de Benedetti Petrini de la Ciudad de San José, basándose en índices de vulnerabilidad en función a las principales características estructurales de las edificaciones de mampostería y de concreto armado, seguidamente se relacionan con un índice de daño, dependiendo este de la acción del movimiento sísmico.

Para obtener una zonificación con distintos grados de vulnerabilidad sísmica en la ciudad de San José., la cual se ha dividido en seis capítulos de trabajo que se describen a continuación:

- 1.7.1 En el Capítulo I.-** Se mencionan algunas generalidades, además de plantear los objetivos, especificar la motivación de la investigación y resumir el contenido mismo del proyecto.
- 1.7.2 En el Capítulo II.-** Se exponen los aspectos generales de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, en atención a las faltas más comunes en las edificaciones.

- 1.7.3 En el Capítulo III.-** Se explica la metodología adoptada para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.
- 1.7.4 En el Capítulo IV.-** Se hace una revisión del Sistema de Información Geográfica (SIG), mostrando las herramientas que servirán para implementar la metodología del Índice de Vulnerabilidad Sísmica.
- 1.7.5 En el Capítulo V.-** Se muestra el cálculo de los índices de vulnerabilidad (Iv), y luego, de manera referencial, la evaluación de escenarios de daño, aplicando funciones de vulnerabilidad empleadas en una investigación anterior.
- 1.7.6 En el Capítulo VI.-** Se presentan las conclusiones, recomendaciones y líneas futuras de investigación para complementar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.

Finalmente se presentan las referencias que se han tomado en cuenta en la elaboración del presente proyecto de tesis y se detallan los anexos.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA VULNERABILIDAD

SÍSMICA

2. ASPECTOS GENERALES DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.

2.1 INTRODUCCIÓN.

La evolución del proceso de construcción, ha hecho comprender que los edificios construidos con materiales de concreto y acero son mucho más eficientes frente a los construidos con mampostería (albañilería y adobe), considerando además que estos últimos fueron construidos sin una norma sismo-resistente. Sin embargo, hoy en día es grande la cantidad de edificaciones de adobe, por lo que el análisis de esas estructuras es indispensable para asegurar un comportamiento controlado ante un evento sísmico en un sector en específico.

Uno de los comportamientos esenciales en la evaluación del riesgo sísmico es la vulnerabilidad de las edificaciones construidas por el hombre, es por esto que los materiales y el método de construcción son, entre otras, características determinantes de la misma. Una de las enseñanzas que nos han dejado los terremotos pasados, ha sido que existen estructuras de una misma tipología que pueden sufrir un mayor grado de daño, debido a un terremoto a pesar de localizarse en el mismo lugar.

Esto hace relevancia a lo mencionado anteriormente, es decir, que existen edificios con mejor calidad estructural que otros. Por ende, se puede llegar a definir la vulnerabilidad sísmica, como la capacidad que tienen los elementos estructurales de una edificación para resistir un terremoto.

También es parte de la vulnerabilidad de las edificaciones, la vulnerabilidad que presentan los elementos no estructurales, el término no estructural se refiere a aquellos elementos de una edificación que están unidos a los elementos de una edificación que están unidos a los elementos estructurales, que no cumplen funciones esenciales en el edificio; y tienen en común que ninguno de estos forma parte del sistema resistente de la edificación, pero que ante un evento sísmico pueden convertirse en potenciales peligros.

2.2 CLASES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.

2.2.1 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL.

Según (Campos, 2017) se refiere a que tan susceptibles a ser afectados o dañados son los elementos estructurales de una edificación o estructura frente a las fuerzas sísmicas inducidas en ella y actuando en conjunto con las demás cargas habidas en dicha estructura.

Los elementos estructurales son aquellas partes que sostienen la estructura de una edificación, encargados de resistir y transmitir a la cimentación y luego al suelo; las fuerzas causadas por el peso del edificio y su contenido, así como las cargas provocadas por los sismos. Entre estos elementos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, muros de albañilería de corte, etc. Debido a ello como se dirá que un buen diseño estructural es la clave para que la integridad del edificio sobreviva aún ante desastres naturales severos como lo son los terremotos.

Figura (2.1). El colegio Ángela Barrios fue el más afectado en la ciudad de Moquegua, daño por columna corta tras sismo de Arequipa del 2001.

Fuente: Ing. Muñoz P. – PUCP.

2.2.2 VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL.

Según (Campos, 2017) un estudio de vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que estos elementos puedan presentar. Sabemos que al ocurrir un sismo la estructura puede quedar inhabilitada debido a daños no estructurales, sean por colapso de equipos, elementos arquitectónicos, etc., mientras que la estructura permanece en pie. Esto generalmente se aplica a centros educativos y centros de salud donde entre el 80% y 90% del valor de la instalación no está en las columnas, vigas, losas, etc.; sino en el mobiliario y en el diseño arquitectónico. Dentro de los elementos arquitectónicos tenemos las fachadas, vidrios, tabiques, mamparas, puertas, ventanas, escaleras, etc.

Figura (2.2). Daños no estructurales; sismo en Japón el 11 de marzo del 2011. (Kuroiwa 2011).

2.2.3 VULNERABILIDAD FUNCIONAL.

Según (CALDERÓN PÁLIZ & VELÁSQUEZ FLORES, 2015), un estudio de la vulnerabilidad funcional busca determinar la susceptibilidad de una edificación a sufrir un “colapso funcional” como consecuencia de un sismo. Esto es sólo visible en el momento en que ocurre una emergencia. A fin de determinar en esta tercera etapa la vulnerabilidad funcional, se evalúa lo referente a la infraestructura. En primer lugar, el sistema de suministro de agua y de energía eléctrica, que son las partes más vulnerables. También son afectadas por los sismos las tuberías de alcantarillado, gas y combustibles, para lo cual se realizan investigaciones sobre su resistencia y flexibilidad.

2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISTRITO DE SAN JOSE.

2.3.1 UBICACIÓN.

El distrito de San José se encuentra ubicado en la costa norte del Perú Geográficamente está localizado en las coordenadas:

-Latitud sur: 6°45'55”

- Longitud oeste: 79°58'41”

El Distrito de San José es uno de los doce distritos de la Provincia de Lambayeque, ubicada en el Departamento de Lambayeque, bajo la administración del Gobierno regional de Lambayeque, en el Perú.

EL DISTRITO DE SAN JOSÉ, PRESENTA LOS SIGUIENTES LÍMITES:

- a. **Por el norte** : con el distrito de Lambayeque.
- b. **Por el Sur** : con los distritos de Lambayeque y Chiclayo.
- c. **Por el Este** : con el distrito de Pimentel.
- d. **Por el Oeste** : con el mar peruano.

Figura (2.3). Ubicación Geográfica del Distrito de San José

2.3.2 CREACIÓN.

El distrito fue creado mediante Ley del 17 de noviembre de 1894, en el gobierno del Presidente Andrés Avelino Cáceres.

2.3.3 SUPERFICIE.

La superficie del Distrito de San José es en su totalidad de 43.73km², de los cuales el área a analizar es aproximadamente 15km².

2.3.4 RELIEVE Y MORFOLOGÍA.

Al Norte del río Reque la línea de costa no presenta barrancos, las pampas de esta área no presentan mayor variación topográfica, son playas anchas y abiertas. El límite entre playa y pampa, está representando por bancos de grava, depositada cerca al límite del alcance de las olas.

2.3.4.1 DUNAS DE ARENA.

El movimiento eólico de material clásico es uno de los aspectos característicos de las planicies costaneras del Perú. Se han identificado dos grupos de depósitos eólicos de edades diferentes: las Dunas Modernas que representan actividad y las Dunas Antiguas que están siendo erosionadas.

Las Dunas Antiguas y acumuladas irregulares antiguas de arena, se encuentran principalmente en el cuadrángulo de Chiclayo, que ya están estabilizadas y aisladas de sus fuentes de abastecimiento.

Las Dunas Modernas están ampliamente distribuidas sobre las planicies Costaneras en los cuadrángulos de Chiclayo, Chepén y Chongoyape.

2.3.5 GEOLOGÍA

Todo el Valle Chancay Lambayeque se encuentra emplazado sobre depósitos del cuaternario reciente tienen origen eólico y aluvial, y conforman extensas pampas interrumpidas por algunas cadenas de cerros.

2.3.5.1 Zona de terrazas marinas

Se encuentran ubicadas en los extremos Occidental y Sur Occidental de la región. Forman parte de una antigua plataforma, formada por depósitos marinos, al producirse la emersión de esta extensa faja costera, las corrientes fluviales han erosionado esta antigua plataforma en la actualidad, dejando remanentes de ella y depositando sedimentos aluviales en las partes bajas.

2.3.5.2 Zona de depósitos aluviales.

Esta zona está conformada por los depósitos dejados, por los ríos Chancay-Lambayeque y por el río Reque. Estos materiales están constituidos por cantos rodados, arenas, limos y arcillas, entremezclados en diferentes proporciones, debido a que han sido depositados bajo condiciones muy variables en cuanto a volumen y velocidad de flujo.

2.3.6 CLIMA.

La ciudad de Chiclayo posee un clima árido y semicálido, su temperatura media anual máxima es de 26,2°C (79,2°F) y la mínima es de 17,3°C (63,1°F). Cuando se presenta el Fenómeno de El Niño, el clima varía, aumenta el nivel de precipitaciones y la temperatura puede aumentar.

2.3.7 RECURSOS NATURALES.

La diversidad de climas y ecosistemas en la Provincia favorecen la existencia de una variedad de recursos naturales que deben ser explotados racionalmente para sustentar un desarrollo sostenible.

2.3.7.1 Recursos Marinos:

Presenta una flora marina diversa, compuesta por 153 especies entre las que se encuentran la merluza, anchoveta, caballa, pez espada, langostas, guitarra, coco,

etc. La pesca que se realiza a través de los puertos Pimentel, Santa Rosa y San José; resulta poco significativa en relación con la producción nacional y está orientada básicamente al consumo local. Sin embargo, es necesario precisar que dicha actividad; requiere de infraestructura y tecnologías mejoradas para el procesamiento hidrobiológico.

2.3.7.2 Recursos Hídricos:

En la región son limitados para el uso agrícola y urbano. Parte del potencial acuífero de la región es utilizado para riego a través del Sistema Tinajones. Sin embargo, el régimen irregular de descarga de los ríos en la región no asegura un volumen suficiente de agua. Después de períodos de sequía, los ríos y los reservorios de Tinajones y Gallito Ciego, disminuyen enormemente su caudal, causando problemas en el agro y en el abastecimiento de agua para el área urbana.

2.3.8 POBLACIÓN.

Teniendo como fuente de información el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en base a la información estadística generada a partir de los resultados de los Censos Nacionales. Siendo el último Censo de Población y Vivienda el del año 2007 “XI de Población y VI de Vivienda”, el INEI proporciona proyecciones y estimaciones anuales de población para los 24 departamentos, 195 provincias y 1838 distritos de nuestro país.

Siendo la proyección de la población para el Distrito de San Jose el de 16 172 habitantes para el año 2015.

Tabla (2.1). Últimas proyecciones y estimaciones anuales de población de la ciudad de San José – Distrito de San José.

DISTRITO DE SAN JOSE	POBLACION
2006	12 248
2007	12 648
2008	13 057
2009	13 475
2010	13 902
2011	14 338
2012	14 783
2013	15 237
2014	15 700
2015	16 172

Fuente: Instituto nacional de estadística e informática (INEI).

2.4 FUNDAMENTOS DE SISMOLOGÍA.

2.4.1 ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA.

Según (Muñoz, 2010), para poder comprender cómo funciona la Tierra, es necesario saber cómo es por dentro, en cuanto a composición y en cuanto a estructura. El estudio del interior de la Tierra sugiere una estructura composicional en capas (geósferas) a las que se superpone una estructura dinámica, es decir referida al comportamiento de los materiales internos.

2.4.1.1 ESTRUCTURA QUÍMICA

Ante la imposibilidad de acceder directamente al interior de la Tierra, el estudio de su interior se hace por métodos indirectos, que consisten básicamente en medidas de características físicas de la Tierra en su conjunto. Este tipo de estudios conforman una ciencia, denominada geofísica.

Las capas terrestres son, de afuera a adentro:

- A. Corteza.** - Es la capa más fina e irregular. Sólida. Su espesor varía desde 5 km bajo los fondos oceánicos hasta más de 70 km en algunos puntos de los continentes. Es la menos densa, formada por elementos químicos ligeros, como el oxígeno, carbono, silicio, etc. Su límite con la siguiente capa forma la discontinuidad de Mohorovicic.
- B. Manto.**- Más uniforme que la corteza y mucho más grueso. Su límite se sitúa a 2900 km contado desde la superficie media (superficie del geoide). Se encuentra en estado sólido aunque tiene cierta plasticidad. Está compuesto por elementos más densos, como son el hierro y el magnesio, aunque también posee importantes cantidades de silicio, formando una roca característica denominada peridotita. Su límite con el Núcleo forma la discontinuidad de Gutenberg. Posee dos partes diferenciadas y separadas por la discontinuidad de Repetti a 670 km de profundidad:
- C. Núcleo.**- Es muy denso. Compuesto básicamente por hierro, níquel y azufre, similar a un tipo de material (roca) denominado troilita, encontrado en algunos meteoritos que han caído a la Tierra (siderolitos) y cuyas propiedades físicas coinciden con las medidas para esta capa terrestre. El Núcleo externo se encuentra en estado líquido, lo que sabemos porque las "ondas s" desaparecen en él. Su límite, situado a 5100 km, se denomina discontinuidad de Wiechert o Lehman. A partir de esta discontinuidad aparece el Núcleo interno, sólido, de mayor densidad y menos azufre. Forma la parte central del planeta.

Figura (2.4). Capas de la tierra de acuerdo a su composición Química.

2.4.1.2 ESTRUCTURA DINÁMICA.

Es una división del interior de la tierra en capas no diferenciada por su composición sino por su dinámica manifestada por el comportamiento térmico.

La diferencia se con respecto el modelo geoquímico se refiere fundamentalmente a sus capas más externas.

- A. Litosfera.-** Es la capa más superficial, correspondiendo a la totalidad de la Corteza y la parte más superficial del manto que se desplaza solidariamente ella. Su profundidad es variable (mayor bajo las cordilleras que bajo los océanos), pudiendo alcanzar unos 200 km de profundidad. Es rígida y en ella el calor interno se propaga por conducción. Forma parte activa en la convección del Manto.

- B. Manto Sublitosférico.-** Formado por el resto del Manto que se encuentra bajo la Litosfera. Se encuentra en convección. Sus corrientes ascendentes coinciden con las zonas de dorsal, y sus corrientes descendentes con las zonas de subducción. En el contacto con el Núcleo presenta un nivel de transición denominado D" al que se incorporan los restos de la Litosfera.

- C. Núcleo (o Endosfera).-** Es la fuente del calor interno. Su parte más externa se encuentra fundida y en convección mientras que su parte interna es sólida y transmite el calor por conducción. El núcleo es el responsable de la generación del campo magnético terrestre.

Figura (2.5). Capas de la tierra de acuerdo a su estructura dinámica.

2.4.2 ONDAS SÍSMICAS.

Las **Ondas Sísmicas** Son las vibraciones (ondas sonoras) emitidas tras un movimiento sísmico (terremoto). Se transmiten por todo el interior de la Tierra. La energía de un terremoto, explosión u otra fuente sísmica se mueve a través de la tierra como un frente de onda que se extiende en todas direcciones.

El movimiento se origina en cuatro tipos de ondas claramente definidas, creados por la ruptura de una falla, Los dos tipos principales son las **ondas internas** y las **ondas superficiales**.

Figura (2.6). Recorrido de las ondas de cuerpo y superficiales.

Fuente: Facultad de Ingeniería. Universidad de Costa Rica.

2.4.2.1 ONDAS INTERNAS.

- A. Las ondas P.-** Según (CARMONA PEREZ, RICSE FERNANDEZ, & ORDOÑEZ PALOMINO, 2014) (ondas primarias o compresionales) son las ondas sísmicas que más rápidamente se mueven y se desplazan a 8km/s ó 28,800 km/h, y es la que arriba primero a una estación de registro.

Las ondas P pueden moverse a través de sólidos, líquidos o gases. Son muy similares a las ondas sonoras, empujan y jalan la roca casi como las ondas sonoras empujan y jalan el aire.

- B. Las ondas S.-** (ondas secundarias, de cizalla, laterales o transversales) viajan mucho más lentamente que las ondas P. No se expanden a través de líquidos. Las ondas S hacen que las partículas se muevan de un lado a otro. Su movimiento es perpendicular a la dirección en la que viaja la onda.

*Figura (2.7). Deformaciones producidas por las Ondas internas.
Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica (Argentina).*

2.4.2.2 ONDAS SUPERFICIALES.

- A. Las ondas de Love.-** Llevan el nombre de A.E. H. Love, un matemático británico que calculó el modelo matemático para este tipo de ondas en 1911. Las ondas de Love se mueven como una serpiente, sacudiendo el terreno de un lado a otro.

- B. Las ondas de Rayleigh.-** Se llaman así en honor a Lord Rayleigh (John William Strutt), quien predijo matemáticamente la existencia de este tipo de ondas en 1885. Una onda de Rayleigh se mueve a lo largo del terreno como una ola viaja a través de un lago u océano.

2.4.3 SISMOS.

Uno de los fenómenos más importantes que resultan del proceso de evolución de la tierra son los sismos y estos pueden ser definidos como una vibración sísmica instantánea causada por el rompimiento o deslizamiento de rocas en algún lugar del interior de la tierra (prager, 2000). Un sismo ocurre cuando repentinamente las rocas en la zona de la falla se deslizan una contra otra, descargando la presión que ellas han acumulado en el tiempo; la energía que se libera rompe el aparente equilibrio estático del interior de la tierra y produce en el medio una vibración con movimientos ondulatorios de la tierra. Ida del planeta llamada Corteza Terrestre.

2.4.3.1 TIPOS DE SISMOS.

Los sismos se pueden caracterizar como un proceso de ruptura y deformación elástica del material de la litósfera, y bajo esas condiciones todos los sismos son iguales, sin embargo, se ha visto que, dependiendo del tipo de falla o mecanismos causal, así como del medio de propagación, los sismos pueden tener consecuencias diferentes en la superficie.

Según la profundidad donde se origina el movimiento sísmico:

- A) Sismos de subducción someros o superficiales.** - Aquellos que se generan en las fronteras de ese tipo y que ocurren a profundidades que no exceden los 60km.

- B) Sismos de subducción intermedios.** - Aquellos que ocurren debido a la interacción de subducción y en la zona de fricción (interplaca), pero a profundidades mayores a los 60 km hasta las 300 km..
- C) Sismos de subducción profundos.** - Aquellos que ocurren debido a la interacción de subducción y en la zona de fricción (interplaca), pero a profundidades mayores a los 300 km..
- D) Sismos interplaca.** - Es el que se genera en los bordes ó límites entre las placas. Ejemplo de este tipo de sismo son todos aquellos que ocurren en la costa del Perú.
- E) Sismo intraplaca.** - Es el que se genera en las zonas interiores de las placas. Ejemplos de estos sismos son los generados por las fallas de Moyobamba (San Martín), y Huaynatapallana (Junín), entre otros.

2.4.3.2 MEDICIÓN DE LOS SISMOS.

Según (INPRES, 2008) existen dos medidas principales para determinar el “tamaño” de un sismo: la “*intensidad*” y la “*magnitud*”, ambas expresadas en grados. Aunque a menudo son confundidas, expresan propiedades muy diferentes.

- A) INTENSIDAD.** - Está relacionada a los efectos que provoca un terremoto. Depende de las condiciones del terreno, la vulnerabilidad de las construcciones y la distancia epicentral. Tiene en cuenta los daños causados en las edificaciones, los efectos en el terreno, en los objetos y en las personas.
- Una escala más refinada, con 12 valores, fue construida en 1902 por el sismólogo y vulcanólogo italiano Mercalli, llamada escala de intensidad Mercalli modificada abreviada.

ESCALA MODIFICADA MERCALLI DE INTENSIDADES DE SISMOS.

- I** : No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.
- II** : Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente las ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
- III** : Se percibe en los interiores de los edificios y casas. Sin embargo, muchas personas no distinguen claramente que la naturaleza del fenómeno es sísmica, por su semejanza con la vibración producida por el paso de un vehículo liviano.

- IV** : Los objetos colgantes oscilan visiblemente. Muchas personas lo notan en el interior de los edificios aún durante el día. En el exterior, la percepción no es tan general.
- V** : La mayoría de las personas lo percibe aún en el exterior. En los interiores, durante la noche, muchas despiertan. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y aún pueden derramarse.
- VI** : Lo perciben todas las personas. Se atemorizan y huyen hacia el exterior. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los juguetes, libros y otros objetos caen de los armarios. Los cuadros suspendidos de las murallas caen. Los muebles se desplazan o se vuelcan.
- VII** : Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. El fenómeno es percibido por los conductores de automóviles en marcha. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Sufren daños menores (grietas) las estructuras corrientes de albañilería bien construidas.
- VIII** : Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aún el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. En estructuras de albañilería bien proyectadas y construidas sólo se producen daños leves. Caen murallas de albañilería.
- IX** : Se produce pánico general. Las estructuras de albañilería mal proyectadas o mal construidas se destruyen. Las estructuras de albañilería bien construidas se dañan y a veces se derrumban totalmente. Las estructuras de albañilería bien proyectadas y bien construidas se dañan seriamente.
- X** : Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. Se destruyen los cimientos de las estructuras de madera. Algunas estructuras de madera bien construidas, incluso puentes, se destruyen. Se producen daños en represas, diques y malecones.
- XI** : Muy pocas estructuras de albañilerías quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las tuberías (cañerías subterráneas) quedan totalmente fuera de servicio.
- XII** : El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados.

B) MAGNITUD.- Es una medida instrumental relacionada con la energía elástica liberada por el sismo, y propagada como ondas sísmicas en el interior y en la superficie de la tierra. Es independiente de la distancia entre el hipocentro y el sitio de observación, y resulta en un valor único, que se obtiene matemáticamente del análisis de los sismogramas. Ésta es una escala

abierta, por lo cual no tiene límite superior ni inferior; es una escala logarítmica y sus valores se expresan con números decimales.

La magnitud Richter se calcula mediante una expresión matemática, cuyos datos se obtienen del análisis de los registros instrumentales.

Debido a su carácter logarítmico, cuando la amplitud del movimiento o energía liberada por el sismo varía por un factor de 10, la magnitud cambia en una unidad. Así, un sismo de magnitud 7 será diez veces más fuerte que un evento de magnitud 6, y cien veces más fuerte que uno de magnitud 5.

La ecuación del cálculo de la magnitud sísmica viene representado:

....Ec. 2.1.

Existen diferentes tipos de magnitud, destacando las siguientes:

1. **Magnitud de Ondas de Cuerpo (Mb).**- Medida de magnitud basada en la amplitud máxima de las ondas de cuerpo con periodos cercanos a 1,0 segundo.
2. **Magnitud de Ondas de Superficie (MS).**- Medida de magnitud basada en la amplitud máxima de las ondas de superficie con períodos de aproximadamente 20 segundos.
3. **Magnitud Momento (Mw).**- Medida de magnitud basada en el momento sísmico M_0 de la fuente generadora del sismo; es una escala de magnitud establecida por H. Kanamori.

Tabla (2.2). Comparaciones entre la Intensidad de Mercalli y la Escala de Richter

ESCALA DE MERCALLI	ESCALA DE RICHTER
I. Casi nadie lo ha sentido.	Magnitud 2.5. En general no sentido, pero registrado en los sismógrafos.
II. Muy pocas personas lo han sentido.	
III. Temblor notado por mucha gente que, sin embargo, no suele darse cuenta de que es un terremoto.	Magnitud 3.5 Sentido por mucha gente.
IV. Se ha sentido en el interior de los edificios por mucha gente; parece un camión que ha golpeado el edificio.	
V. Sentido por casi todos, mucha gente se despierta; pueden verse árboles y postes oscilando.	
VI. Todo el mundo corre fuera de los edificios; las estructuras mal construidas quedan muy dañadas, pequeños daños en el resto.	Magnitud 4.5 pueden producirse daños locales pequeños.
VII. Todo el mundo corre fuera de los edificios, las estructuras mal construidas	

quedan muy dañadas; pequeños daños en el resto.	
VIII. Las construcciones especialmente diseñadas, dañadas ligeramente, las otras se derrumban.	
IX. Todos los edificios muy dañados, desplazamientos de muchos cimientos, grietas apreciables en el suelo.	Magnitud 6.0 Terremoto destructivo.
X. Muchas construcciones destruidas, suelo muy agrietado.	Magnitud 7.0 Terremoto importante.
XI. Derrumbe de casi todas las construcciones, puentes destruidos, grietas muy amplias en el suelo.	
XII. Destrucción total, se ven ondulaciones sobre la superficie del suelo, los objetos se mueven y voltean.	Magnitud 7.0 Grandes terremotos.

2.4.4 PLACAS TECTÓNICAS.

La teoría de tectónica de placas o nueva tectónica global, ampliamente aceptada en la actualidad, considera que la litosfera está dividida como gran mosaico de placas principales y secundarias que se desplazan lateralmente una con relación a las otras impulsadas por las corrientes de convección del manto terrestre. Por lo tanto, el término “tectónica” se refiere al estudio a gran escala de la estructura y características de deformación de la tierra, sus orígenes, relaciones y movimientos.

Las placas tectónicas se desplazan unas respecto a otras con velocidades de 2,5 cm/año lo que es, aproximadamente, la velocidad con que crecen las uñas de las manos. Dado que se desplazan sobre la superficie finita de la Tierra, las placas interactúan unas con otras a lo largo de sus fronteras o límites provocando intensas deformaciones en la corteza y litosfera de la Tierra, lo que ha dado lugar a la formación de grandes cadenas montañosas (por ejemplo las cordilleras de Himalaya, Alpes, Pirineos, Atlas, Urales, Apeninos, Apalaches, Andes, entre muchos otros) y grandes sistemas de fallas asociadas con éstas (por ejemplo, el sistema de fallas de San Andrés). El contacto por fricción entre los bordes de las placas es responsable de la mayor parte de los **terremotos**.

Las 15 placas mayores son las siguientes.

1. Placa Africana
2. Placa Antártica
3. Placa Arábica
4. Placa Australiana

5. Placa del Caribe
6. Placa de Cocos
7. Placa Euroasiática
8. Placa Filipina
9. Placa India
10. Placa Juan de Fuca
11. Placa de Nazca
12. Placa Norteamericana
13. Placa del Pacífico
14. Placa de Scotia
15. Placa Sudamericana

Figura (2.8). Continente y placas litosféricas en los que se divide la corteza terrestre según la tectónica de placas

Fuente: Instituto Geofísico del Perú-Centro Nacional de Datos Geofísicos Sismología.

2.4.4.1 TIPOS DE PLACAS.

Las placas litosféricas son esencialmente de dos tipos, según la clase de corteza que forma la superficie. Hay dos clases de corteza: la oceánica y la continental.

A. PLACAS OCEÁNICAS.

Según (Quizlet, 2018) están cubiertas íntegramente por corteza oceánica, delgada, de composición básica: hierro y magnesio dominantes. Aparecen sumergidas en toda su extensión, salvo por existencia de edificios volcánicos intraplaca, de los cuales los destacados por altos aparecen emergidos, o por arcos insulares (de islas) en alguno de sus bordes. Los ejemplos más notables se ubican en el Pacífico: la del Pacífico, la placa de Nazca, la placa de Cocos y la placa Filipina.

B. PLACAS MIXTAS.

Son placas parcialmente cubiertas por corteza continental y así mismo en parte por corteza oceánica. La mayoría de las placas es de estas características. Para que una placa sea íntegramente continental tendría que carecer de bordes de tipo divergente (dorsales) en su contorno. Así pueden interpretarse algunas subplacas que constituyen los continentes. Valen como ejemplos de placas mixtas la placa Sudamericana y la placa Euroasiática.

2.4.4.2 LÍMITES DE PLACAS TECTÓNICAS.

El movimiento de las placas crea tres tipos de límites tectónicos: límites convergentes, donde las placas se acercan unas a otras, límites divergentes, donde se separan, y límites transformantes, donde las placas se mueven de lado en relación unas con otras.

A. LÍMITES DIVERGENTES.

En los límites divergentes de los océanos el magma surge en la superficie desde las profundidades del manto de la Tierra, separando dos o más placas y renovando el fondo oceánico. Así, montañas y volcanes se elevan por esta grieta. Una única dorsal oceánica (elevación submarina) conecta los océanos, convirtiéndola en el sistema montañoso más largo del mundo.

B. LÍMITES CONVERGENTES.

Cuando las placas **colisionan**, la corteza se «comba» formando las cordilleras. India y Asia impactaron hace 55 millones de años, provocando la lenta formación del Himalaya, el sistema montañoso más alto del planeta. Mientras el choque continúa, las montañas se elevan cada vez más.

Estos límites convergentes también tienen lugar cuando una placa oceánica se hunde bajo la placa continental en un proceso llamado **subducción**. Cuando la placa superior se eleva, también se forman sistemas montañosos.

C. LÍMITES TRANSFORMANTES.

La Falla de San Andrés es un ejemplo de límite transformante, en el que dos placas friccionan la una con la otra a lo largo de fallas de desgarre. Estos límites no crean espectaculares fenómenos como montañas u océanos, sin embargo, pueden provocar terremotos como el de 1906 que asoló la ciudad de San Francisco.

*Figura (2.9). Diferentes placas tectónicas y los tres tipos de límites existentes.
Fuente: USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos).*

2.4.5 CINTURÓN DE FUEGO DEL PACÍFICO.

Es la franja de sismicidad más importante debido a que la mayor parte de la energía sísmica es liberada en esta zona; El Cinturón de Fuego del Pacífico (o Anillo de Fuego del Pacífico), también conocido como Cinturón Circumpacífico, está situado en las costas del océano Pacífico y se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que **ocasiona una intensa actividad sísmica** y volcánica en las zonas que abarca.

Incluye a Chile, Argentina, Bolivia, **Perú**, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala, México, Estados Unidos, Canadá, luego dobla a la altura de las islas Aleutianas y baja por las costas e islas de Rusia, Japón, Taiwán, Filipinas, Indonesia, Papúa Nueva Guinea y Nueva Zelanda.

El lecho del océano Pacífico reposa sobre varias placas tectónicas, las cuales están en permanente fricción y por ende, acumulan tensión. Cuando esa tensión se libera, **origina terremotos** en los países del cinturón. Además, la zona concentra actividad volcánica constante. En esta zona las placas de la corteza terrestre se hunden a gran velocidad (varios centímetros por año) y a la vez acumulan enormes tensiones que deben liberarse en forma de sismos.

Figura (2.10). Cinturón o Anillo de Fuego del Pacífico.

Fuente: USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos).

2.5 DISTRIBUCIÓN DE LOS SISMOS SOBRE LA TIERRA.

Los sismos se agrupan en largas y no muy anchas franjas (en términos relativos a su longitud), a lo largo de las fosas o zonas de subducción, muy especialmente a lo largo del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, que se inicia al sur de Sur América, se prolonga hasta la Alaska en Norte América y pasa hasta Japón para continuar hasta bien al sur de Nueva Zelanda.

2.6 SISMICIDAD EN EL PERÚ.

Según (Ambiente, 2017) el borde occidental de América del Sur se caracteriza por ser una de las regiones sísmicamente más activas en el mundo. 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.

El 10% restante de la actividad sísmica en el Perú, está producida por fallas geológicas activas, distribuidas en la cordillera de los Andes con terremotos menos frecuentes y de menor magnitud, los cuales son conocidos como terremotos interplaca (la falla se produce en el interior de la placa continental). Tavera (1993), refiere que las principales fallas activas del Perú son: Tambomachay (Cuzco), Cordillera Blanca (Ancash), Huaytapallana (Junín), Quinches (Ancash), Rioja – Moyobamba (San Martín).

Figura (2.11). Subducción de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana.

La figura 2.13. Muestra el mapa sísmico del Perú publicado por el Instituto Geofísico del Perú para el periodo 1960 al 2011 (Hernando Tavera). En este mapa, los sismos con foco Superficial, representados con círculos rojos, tienen sus epicentros en la zona oceánica y se distribuyen, de norte a sur, en dirección paralela a la línea de costa. En esta zona la ocurrencia de sismos es continua y con relativa frecuencia se producen sismos de magnitud elevada como los ocurridos en los años de 1940 (8.0Ms, I_{max} = VIII (MM)), 1966 (7.7Ms, I_{max} = VII (MM)) y 1974 (7.5Ms, I_{max} =VII (MM)) que afectaron con intensidades del orden de VII (MM) a la ciudad y departamento de Lima. Además, se debe considerar a los sismos de 1970 y 2007 que produjeron daños parciales en Lima en donde fueron percibidos con intensidades del orden de V (MM). En general, estos sismos produjeron daños importantes en todas las localidades que se encuentran frente a la línea de costa de la región central del Perú.

*Figura (2.12). Mapa Sísmico del Perú (periodo 1960-20011).
Fuente: Instituto Geofísico del Perú.*

2.7 SISMICIDAD REGIONAL.

Los sismos locales y regionales tienen su origen en la existencia de fallas geológicas locales. Estos movimientos telúricos son de menor magnitud, pero al producirse muy cerca de la superficie, han tienen un gran poder destructor; Todos los valles de los ríos costeros del Perú, contienen las zonas de mayor peligro sísmico.

De acuerdo al Mapa de Zonificación para el territorio peruano, el departamento de Lambayeque está ubicada dentro de una zona sísmica intermedia a alta, pues se vio afectada por numerosos efectos sísmicos durante su historia, encontrándose dentro de la Zona III, cuyas características son:

- a. Sismos de Magnitud 7 en la escala de Richter.
- b. Hipocentros de profundidad intermedia y de intensidad de VIII y IX.

Según el Mapa de Intensidades Sísmicas para el peruano, elaborado con información obtenida del Centro Regional de Intensidades Sísmicas para América Latina (CERESIS), y tomando en consideración la escala Modificada de Mercalli, el área de estudio se encuentra afectada por sismos de grado VIII, cuyas características son:

- a. Daño leve en estructuras especiales diseñadas.
- b. Daños considerables en edificios corrientes y sólidos con colapso parcial.
- c. Daños grandes en estructuras de construcción pobre.
- d. Paredes separadas de su estructura.
- e. Caída de columnas, monumentos y paredes, etc.
- f. Muebles pesados volcados.
- g. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades.
- h. Cambios de nivel en pozos de agua.

**Se observa a los sismos más importantes ocurridos en la región norte del Perú.
(Fuente INDECI).**

2.7.1 SISMO DEL 20 DE AGOSTO DE 1857.

Hora: 07:00 horas

Fuerte sismo en Piura, de 45 segundos de duración que destruyó muchos edificios. Se abrió la tierra, de la cual emanaron aguas negras. Daños menores en el puerto de Paita y parte norte de Cajamarca.

2.7.2 SISMO DEL 28 DE SEPTIEMBRE DE 1906.

Hora: 12:25 horas Magnitud: 7.0

Intensidad: estimado entre VI y VII en Lambayeque, con epicentro entre Trujillo y Cajamarca.

Fue percibido en Chachapoyas, Huancabamba, Ayabaca, Sullana, Piura, Morropón, Tumbes y Santa. Tuvo un radio de percepción de 600 Km. Causó mucha destrucción en muchas ciudades.

2.7.3 SISMO DEL 21 DE JUNIO DE 1937.

Hora: 10:45 horas Magnitud: 6.75

Epicentro: 8.5° S-80°W. Profundidad Focal: 60 Km.

Intensidad: Estimado en VII en Chiclayo, VII-VIII en el epicentro.

Se sintió en Lambayeque, Puerto Salaverry, Chimbote, Casma, Cajamarca, Cutervo, Jaén, Callejón de Huaylas, etc. Su radio de percepción se estima en 600 Km. en el diámetro de la elipse paralela a la costa y de 180 Km. en el semi-diámetro perpendicular.

2.7.4 SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970.

Hora: 15:23:27.3 horas Magnitud: 6.0

Epicentro: 10.21° S-78.5°W. Profundidad Focal: 54 Km.

Intensidad: Estimado en VIII en la zona del epicentro y con VI en Chiclayo.

Un domingo por la tarde ocurrió uno de los más catastróficos terremotos en la historia del Perú y posiblemente del hemisferio occidental. Murieron ese día 50,000 personas, desaparecieron 20,000 y quedaron heridos 150,000, según el informe de la Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona Afectada (CRYRZA). La mayor mortalidad debió a la gran avalancha que siguió al terremoto y que sepultó al pueblo de Yungay.

2.7.5 SISMO DEL 06 DE ABRIL DEL 2016.

Hora: 09:33 horas **Magnitud:** 4.5

Fecha: 06 de abril del 2013 - 9:33 AM

Un sismo de 4.5 grados en la escala de Richter se sintió en la provincia de Jaén, región Cajamarca. Según el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el epicentro se ubicó a 48 kilómetros al suroeste de Jaén, tuvo una profundidad de 31 kilómetros.

2.7.6 SISMO DEL 09 DE AGOSTO DEL 2016.

Hora: 5:45 horas **Magnitud:** 4.6

Fecha: 09 de agosto del 2016 – 5:45 AM

Un sismo de 4.6 grados se registró esta madrugada en la región Cajamarca, informó el Instituto Geofísico del Perú (IGP) a través de sus redes sociales.

Ubicación. El epicentro del movimiento telúrico, sentido a las 5:45 a.m., estuvo localizado a 23 kilómetros al sur de Jaén, a una profundidad de 40 kilómetros.

Según la **Figura 2.14.**, se puede apreciar que la región Lambayeque que presenta intensidades sísmicas de V y VI en la escala de Mercalli, esto concuerda con la información histórica encontrada, y se puede aceptar como la intensidad máxima más probable a presentarse durante un movimiento sísmico.

Figura (2.13). Mapa de la Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas.
Fuente: Centro Peruano japonés de investigaciones Sísmicas y mitigación de desastres – CISMID.

2.8 COMPORTAMIENTO SISMICO DE EDIFICACIONES.

El diseño sísmo resistente exige del ingeniero estructural, una comprensión del comportamiento de los edificios, sometidos a acciones sísmicas. La buena concepción de las obras debe existir antes de cualquier análisis estructural, puesto que los sistemas resistentes inadecuados, no logran superar los problemas inherentes a su estructuración, aun después de un análisis dinámico complejo.

La resistencia sísmica de un edificio está ligada a su configuración, entendiéndose por configuración el tamaño y la forma de la estructura, así como la localización, el tamaño y la naturaleza de los elementos que la componen.

En general, las estructuras más simples tienen mejores oportunidades de sobrevivir. En primer lugar, porque se puede predecir mejor su comportamiento sísmico total y en segundo lugar, porque los detalles estructurales simples son más fáciles de comprender y de llevar a la práctica.

2.8.1 EDIFICACIONES DE ADOBE.

Según (Ministerio de Vivienda, 2010) la construcción con adobe en nuestro país se remonta a la época prehispánica. Muchas de esas edificaciones han perdurado en el tiempo, como en el caso de la Ciudadela de Chan Chan, considerada “la ciudad de barro más grande de América”, la Ciudad Sagrada de Caral, “la más antigua de América”, la Fortaleza de Paramonga o el Complejo de Pachacamac.

El uso de ese material se prolongó a lo largo de nuestra historia fundamentalmente por ser de fácil acceso, y porque permitió crear ambientes con propiedades ambientales favorables, como la mitigación del ruido y la intensa temperatura externa.

Sin embargo, actualmente en muchos casos no se respeta un adecuado proceso constructivo, o se ha prescindido de la asistencia técnica calificada, generando riesgos y accidentes en la seguridad y salud de las personas.

El adobe es un material de construcción de bajo costo y de fácil accesibilidad que es elaborado por comunidades locales. Las estructuras de adobe son generalmente autoconstruidas, porque la técnica constructiva tradicional es simple y no requiere consumo adicional de energía. Profesionales calificados (ingenieros y arquitectos) generalmente no están involucrados con este tipo de construcción y de allí la designación de “construcción no ingenieril”.

Los modos típicos de falla durante terremotos son severo agrietamiento y desintegración de muros, separación de muros en las esquinas y separación de los techos de los muros, lo que, en la mayoría de casos, lleva al colapso.

2.8.1.1 COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE.

En la actualidad la mayoría de viviendas elaboradas de adobe se pueden apreciar en las ciudades costeras, especialmente en los departamentos de Lima, La Libertad, Lambayeque y Piura. La antigüedad de estas construcciones puede ser en algunos casos mayor a 100 años.

Existen diversos factores que influyen en el análisis de muros de adobe, como la condición de la base del muro, la longitud libre del muro, la calidad de mano de obra, la calidad del mortero, el estado de conservación del muro y las condiciones de la cimentación.

La esbeltez es un parámetro de análisis sísmico. La figura muestra las dimensiones de un muro típico: la altura del entrepiso h , el espesor t y la longitud L .

Figura (2.14). Dimensiones de un Muro de Adobe.

La esbeltez de un muro (λ) es la relación entre su altura (h) y su espesor (t). Los muros se clasifican en gruesos ($\lambda < 6$), intermedios ($6 < \lambda < 8$) y delgados ($\lambda > 8$) de acuerdo con su esbeltez. Las paredes delgadas de adobe pueden resultar inestables tan pronto como se formen fisuras a través de ellas, producidas por esfuerzos internos debidos a sismos. Una pared gruesa de adobe está lejos de perder estabilidad después que la primera fisura se desarrolla. Se puede entonces concluir que los muros gruesos tienen mayor posibilidad de supervivencia frente a los sismos que los muros delgados (Torrealva 2003).

El análisis sísmico se realiza para los efectos de flexión, volteo y corte. Se verifican los esfuerzos actuantes que se dan en cada muro (Meli et al. 1978 y Vargas et al. 1978).

A. ANÁLISIS POR FLEXIÓN:

Los momentos flectores internos en los muros pueden describirse por sus componentes vertical y horizontal. Fallas registradas en sismos anteriores indican que las grietas en las esquinas de los muros son las primeras en originarse al alcanzarse la resistencia de tracción en el adobe. (Meli et al. 1978).

Este tipo de falla se presenta ya que el adobe tiene poca resistencia a la tracción.

Figura (2.15). Falla en tracción por Flexión en las esquinas.

Estudios realizados en modelos a escala sometidos a ensayos dinámicos, demuestran que los muros que no son portantes son más vulnerables a fallar por

flexión que los muros sobre los cuales se apoyan las vigas del techo. Estas vigas sirven de arriostre lateral a los muros mientras no se exceda la fuerza de fricción (Torrealva 2003).

Si la luz del muro es corta éste se comportará como un elemento empotrado a los muros transversales. Si la luz es muy grande, la parte central se apoyará directamente en el suelo, mientras que la parte restante actuará como un voladizo empotrado al muro transversal respectivo (Meli 1978).

B. ANÁLISIS POR VOLTEO

Los muros longitudinales, sometidos a cargas sísmicas distribuidas, se agrietan desde las esquinas superiores al alcanzarse la resistencia a tracción del adobe y se separan de los muros transversales. Al producirse esta separación, los muros longitudinales pierden los arriostres en sus extremos y se comportan como elementos en voladizo independientes, sometidos a fuerzas sísmicas que generan flexión y producen, en la mayoría de casos, el volteo de los muros.

La **Figura 2.18** muestra el diagrama de cuerpo libre de un muro sometido a la acción de fuerzas de volteo. Cada muro es un sólido rígido que gira en torno a un punto (O). Los momentos actuantes son contrarrestados por el momento resistente generado por el peso de los muros. Si se logra vencer al momento resistente del sólido entonces se concluye que el muro volcará o colapsará (Vargas et al. 1978). El muro se desploma, provocando el colapso del techo, causa principal de pérdidas humanas y materiales.

Figura (2.16). Muro sometido a la acción de fuerzas de Volteo.

C. ANÁLISIS POR CORTE

Las grietas que se originan por fuerzas cortantes en el plano del muro, generalmente presentan una orientación diagonal siguiendo las juntas verticales y horizontales de los adobes (falla escalonada). Esta falla está directamente relacionada con la resistencia de la mampostería a la fuerza cortante. La falla se da en las juntas ya que, el mortero posee poca resistencia a esfuerzos de corte

Figura (2.17). Esquema con Falla ocasionada por esfuerzos de corte.

2.8.2 EDIFICACIONES CON MUROS DE ALBAÑILERÍA Y TECHOS RÍGIDOS

Según (Medina Cruz & Blanco Blasco, 2010) en este tipo de construcción se utilizan ladrillos de arcilla cocida, columnas de amarre, vigas soleras, etc.

En este tipo de viviendas primero se construye el muro de ladrillo, luego se procede a vaciar el concreto de las columnas de amarre y, finalmente, se construye el techo en conjunto con las vigas

En estos edificios antiguos, los muros portantes tienen 0.25m de ancho independientemente del número de pisos. Los muros no portantes interiores usualmente tienen 0.25 o 0.15m de ancho y se denominaban muros de amarre.

Figura (2.18). Edificio de albañilería confinada con vigas y columnas.

Aproximadamente desde 1940 se introdujo las columnas de concreto como elementos de confinamiento en muros portantes, los que además funcionaban como arriostres para carga perpendicular a su plano. Este tipo de refuerzo en la albañilería en el Perú aún carecía de estudios experimentales y de ingeniería. Luego, la necesidad de mayores espacios en construcciones urbanas llevó al uso de muros más delgados, de 0.15m o menos, reduciendo la densidad de muros (área de muros respecto al área en planta).

El terremoto de 1970 produjo algunos colapsos de edificios de 2 pisos en Chimbote, los que eran de albañilería simple (sin columnas). Este terremoto mostró claramente la necesidad de incorporar refuerzos a estas edificaciones. La albañilería confinada se volvió el sistema constructivo más popular para edificaciones de baja y mediana altura en las ciudades.

En una estructura de albañilería confinada, los muros proveen la resistencia y rigidez lateral, mientras que los confinamientos proporcionan la ductilidad. Para el adecuado comportamiento de una edificación de albañilería se debe tener en cuenta lo siguiente:

2.8.2.1 INTEGRACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Este tipo de edificación se caracteriza por construirse primero el muro de albañilería, en segundo lugar se vacía el concreto de los elementos verticales de confinamiento (columnas); y finalmente, se vacía el concreto del techo en conjunto con el de las vigas. Esta secuencia constructiva produce una adecuada adherencia entre los materiales involucrados y un comportamiento integral de la estructura.

Figura (2.19). Secuencia en la construcción de la Albañilería Confinada.

2.8.2.2 USO DE LADRILLOS SÓLIDOS

Puede emplearse ladrillos sólidos de arcilla, sílico-calcareos o de concreto, que presenten hasta un 30% de perforaciones en su cara de asentado; de otro modo, la unidad calificaría como hueca y terminaría triturándose ante los sismos severos, lo que resulta peligroso. Las unidades huecas, a diferencia de las sólidas, se trituran por las continuas aberturas y cerramientos de las grietas diagonales, perdiéndose parte del área del muro y la resistencia en la etapa inelástica, según se ha observado en diversos experimentos. Cabe indicar que

podría emplearse unidades huecas, sólo si se llegase a demostrar que los muros se comportarán elásticamente (sin grietas diagonales) ante los sismos severos.

Figura (2.20). Diferencia entre uso de unidades huecas y unidades sólidas.

2.8.2.3 USO DE DIAFRAGMAS RÍGIDOS

Las losas aligeradas o macizas se comportan como laminas axialmente rígidas para cargas contenidas en su plano, por lo que al estar integradas a los muros, uniformizan sus desplazamientos laterales ante los sismos, además de proveerles arriostamiento en sus bordes horizontales. Sólo en el último techo podría emplearse diafragmas flexibles, con la condición de que existan vigas soleras de concreto armado que arriostren horizontalmente a los muros.

Figura (2.21). Diafragmas Flexibles en el último nivel: (izq.) Con viga solera, (der.) sin viga solera.

2.8.2.4 ADECUADO PROCESO CONSTRUCTIVO

Experimentalmente se ha observado que defectos importantes en la construcción reducen sustancialmente la resistencia de los muros, tanto a carga vertical como a carga sísmica, por lo que esos errores deben evitarse. Entre estos errores se tiene: grosores de juntas de mortero mayores que 15mm, cangrejas en las columnas, secuencia constructiva inadecuada, etc.

2.8.2.5 COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN LAS CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA.

A. FALLA POR CORTE:

En edificios bajos, de 1 a 3 pisos, la deformación por corte es predominante y se manifiesta por grietas diagonales en el paño del muro. Si las grietas atraviesan unidades y juntas de mortero en forma pareja, esto indica que la adherencia es adecuada entre las unidades, lo cual es ideal puesto que así se logra una mayor capacidad resistente del muro. Si en cambio las grietas son escalonadas, pasando básicamente por las juntas dejando las unidades enteras, la adherencia es baja, y la resistencia del muro es baja. Los ensayos en muretes pequeños ayudan a observar esta propiedad.

Figura (2.22). Falla por corte, ocurrido en el sismo de PISCO 2007.

B. VOLCAMIENTO

Se han reportado fallas de la albañilería en los últimos pisos por cargas sísmicas perpendiculares al plano del muro. Esto se debe a errores cometidos en el proceso constructivo, donde primero se construyeron las columnas para luego levantar la albañilería, perdiéndose la acción de arriostramiento vertical que deberían proporcionar las columnas. Esta secuencia constructiva no integra a la albañilería con las columnas.

Figura (2.23). Falla por volcamiento, ocurrido en el sismo de PISCO 2007

C. FALLA POR CIZALLE

Este tipo de falla se ha detectado en las juntas de construcción columna-solera y columna-cimentación. Los estribos en las columnas no controlan este tipo de falla horizontal, que debe ser evitada mediante refuerzo vertical y área de concreto.

D. EFECTOS DE ALFÉIZAR

El alféizar de ventanas reduce la altura efectiva del muro rigidizándolo; lo cual hace que el muro absorba fuerza cortante en exceso, por lo que es conveniente

aislarlo del alféizar. También se recomienda este aislamiento porque el muro principal es portante de carga vertical, mientras que en el alféizar la carga vertical es nula; esa diferencia de cargas causa desplazamientos relativos que muchas veces producen la fisuración de la albañilería en la zona de encuentro, formándose una junta vertical que da lugar a que el alféizar quede sin arriostre en ese borde ante cargas sísmicas perpendiculares a su plano.

Figura (2.24). Efectos de alfeizar (izq.) - Aislamiento de alfeizar (der.)

2.8.3 EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO

La obtención de la respuesta dinámica de una estructura requiere previamente la definición del movimiento del terreno (en caso sísmico) tanto como de las características estructurales del mismo y de la estructura propiamente dicha. El análisis es practicado, no a la propia estructura sino a un modelo mecánico de la misma. La definición del modelo depende del tipo de estructura analizado y pretende brindar una serie de relaciones entre acciones y respuesta que describan un modelo matemático del problema.

2.8.3.1 CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO

Siendo el sismo un fenómeno dinámico, las características de los edificios expuestos a dichos movimientos tienen que ser definidas en los términos.

A. MODELO DE UN EDIFICIO 3 PISOS

Asumamos que el edificio de un piso de la figura 2.27, puede ser representado por una masa concentrada “ m ” una columna de rigidez “ k ”; se convierte entonces en un modelo de un grado de libertad, es decir que es necesario un solo parámetro, en este caso “ x ”, para fijar la posición de la masa “ m ” en cualquier instante “ t ”.

Figura (2.25). Idealización de un edificio de un piso en un modelo de 1 grado de libertad.

El periodo “ T ”, se define por:

$$\dots\dots\dots Ec. (2.1).$$

Note en la fórmula que T crece cuando lo hace m y se reduce cuando k aumenta, es decir, el periodo de vibración crece cuando mayor es la masa y se reduce cuando la estructura es más rígida

B. MODELO DE UN EDIFICIO 3 PISOS.

En la figura 2.28(a) y 2.28 (b).se muestra esquemáticamente en planta y elevación, un edificio de 3 pisos constituido por 4 pórticos paralelos idénticos al mostrado, cuyos pesos se concentran a nivel de cada losa de techo. Si cada peso se divide entre g se tiene $m_1=p_1/g$, $m_2=p_2/g$, $m_3=p_3/g$. En la figura el edificio idealizado es un modelo de 3 grados de libertad cuyo sistema de ecuaciones es:

+.....Ec. (2.2).

Figura (2.26). Idealización de un edificio de 3 pisos en un modelo de 3 grado de libertad.

Se tienen 3 ecuaciones con 3 incógnitas, por lo general el sistema tiene soluciones definidas, constituidas por 3 raíces W_1, W_2, W_3 que son las frecuencias en radianes por segundo y 3 vectores que son los modos de vibración representados esquemáticamente en la fig2.33

Figura (2.27). Formas de modo y periodos de vibración de un edificio de 3 pisos.

En edificios bajos como el ejemplo de 3 pisos, el primer modo aporta casi la totalidad de la cortante de entrepiso. Como puede observar, todas las masas están al mismo lado y las fuerzas de inercia resultante tienen el mismo sentido que gráficamente podría representarse como en la Fig.2.30

El diagrama de corte de cada uno de los entrepisos Se obtiene sumando de arriba hacia abajo cada una de dichas fuerzas, es decir $H=F_1+F_2+F_3$.

Figura (2.28). Formas de modo y periodos de vibración de un edificio de 3 pisos.

En un edificio de n pisos en el último modo n , las masas se ubican a cada lado por lo tanto tiene signos contrarios y tienden a cancelarse mutuamente; en la base H la cortante es casi nula.

En la Fig 2.30, note que el corte se incrementa conforme se baja de nivel. La máxima acumulación se produce en el primer piso y se le denomina corte basal H , que es igual a la suma de todas las fuerzas concentradas.

2.8.4 DEFECTOS QUE INCIDEN EN EL COMPORTAMIENTO INADECUADO DE LAS CONSTRUCCIONES

2.8.4.1 PISO BLANDO

Según (Aguilar Falconi , 2008) el daño que sufren las estructuras por piso blando puede concluir en el colapso total de la misma, ya que el daño se produce en la parte baja de la estructura lo cual la inutilizada parcial o totalmente a tal punto de no tener reparación.

El Piso Blando se presenta cuando un nivel tiene una rigidez mucho menor que el resto, y es más crítico cuando este se encuentra en el primer nivel.

Figura (2.29). Fallas por piso blando. Foto izquierda sismo pisco, Perú 2007 y foto derecha sismo kobe, Japón 1995.

2.8.4.2 COLUMNA CORTA

Se tiene columna corta cuando se presenta una disminución de la altura efectiva (luz libre) de una columna debido a un elemento que se restringe su desplazamiento en sentido lateral.

Durante un sismo, una columna normal y una columna corta, de igual sección transversal, experimentan el mismo desplazamiento horizontal pero como la columna corta es más rígida que la normal, atrae una fuerza sísmica mayor a la de diseño, por este presenta daños significativos.

Figura (2.30). Fallas por columna corta. Foto izquierda sismo Arequipa, Perú 2001 y Foto derecha sismo Pisco, Perú 2007.

2.8.4.3 IRREGULARIDAD EN PLANTA

Es preferible que la estructura en planta tenga la forma de un cuadrado, si esto no es factible que sea rectangular con una relación de lado mayor a lado menor, que sea menor o igual a 2. Ahora bien si tiene salientes como en el caso de la fotografía es irregular en planta y se deben tomar las precauciones del caso para que esta no sufra daño.

Figura (2.31). Fallas irregularidad en planta sismo Maule, Chile 2012.

2.8.4.4 IRREGULARIDAD EN ELEVACIÓN

Se aprecia que en el cuarto piso el área de construcción es menor a la de los pisos inferiores y la fig 2.38 habla por sí sola. Este edificio también tuvo problemas de torsión en planta ya que era de forma de "L". Lo mejores que los edificios en elevación sean rectos, sin entrantes y pero salientes.

Figura (2.32). Fallas irregularidad en elevación sismo ocurrido en Ecuador, 1998.

2.8.4.5 JUNTAS DE SEPARACIÓN SÍSMICAS

Los daños más graves por choque entre edificios adyacentes, ocurren cuando los pisos de estos edificios no coinciden a la misma altura. En este caso, la losa del último piso del edificio más bajo puede golpear a media altura las columnas o muros del otro.

Es por ello que se debe considerar juntas de separación sísmica entre edificios adyacentes. El objetivo es evitar choques entre ellos, que pueden producir daños muy fuertes en ambos.

Figura (2.33). Fallas por falta de juntas de separaciones sísmicas, México 1985.

2.8.4.6 FALLA LLAMADA EDIFICIO ABIERTO

Esta se da en edificios esquineros cuyas paredes laterales se encuentran adosadas a las construcciones medianeras, creándose pórticos muy fuertes en los extremos por la presencia de la mampostería y pórticos muy débiles en las fachadas ya que normalmente tienen solo ventanas. El daño se produce en los pórticos débiles por torsión en planta.

Figura (2.34). Fallas: Edificio Abierto sismo pisco, Perú 2007.

CAPÍTULO III

**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN
DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.**

3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.

3.1. INTRODUCCIÓN.

Cuando se habla de la vulnerabilidad sísmica de una edificación, se refiere a la susceptibilidad que la estructura presenta frente a posibles daños en su sistema resistente como, por ejemplo: columnas, muros, vigas y diafragmas.

La metodología que se utiliza en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios debe ser simplificada, para que se pueda aplicar a grandes áreas o a un gran conjunto de estructuras.

La aplicación de los estudios de vulnerabilidad en centros urbanos debe considerar los aspectos estructurales, los funcionales, operativos y urbanos; para que puedan proporcionar información útil para la prevención de desastres, la planificación y el ordenamiento territorial.

El primer paso en la evaluación de la vulnerabilidad consiste en definir su naturaleza y alcance, una vez definidos estos factores, es posible evaluar la vulnerabilidad mediante una definición adecuada de la acción sísmica y la capacidad sísmica de la estructura.

3.2. ASPECTOS QUE AFECTAN LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.

La vulnerabilidad sísmica es la susceptibilidad de la vivienda a sufrir daños estructurales en caso de un evento sísmico determinado. Esta vulnerabilidad depende de factores como la geometría de la edificación, factores constructivos y factores estructurales.

3.2.1. ASPECTOS GEOMÉTRICOS.

A. Irregularidad en planta de la edificación.

Figura (3.1). Irregularidad en planta.

B. Cantidad de muros en las dos direcciones principales de la edificación (que en este caso se definen como direcciones “X” y “Y”).

Figura (3.2). Cantidad de muros en dos direcciones principales.

C. Irregularidad en altura en las edificaciones.

Figura (3.3). Irregularidad en Altura.

3.2.2. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.

A. Calidad de las juntas de mezcla entre tabiques.

Figura (3.4). Calidad de las juntas entre tabiques.

B. Tipo y disposición de los ladrillos o tabiques.

Figura (3.5). Disposición de ladrillos.

C. Calidad de los materiales.

Figura (3.6). Calidad de los materiales.

3.2.3. ASPECTOS ESTRUCTURALES.

A. Muros confinados o reforzados.

Figura (3.7). Muros confinados y reforzados.

B. Detalles de columnas y vigas de confinamiento.

Figura (3.8). Columnas y vigas de confinamiento.

C. Vigas de Amarre.

Figura (3.9). Vigas de amarre.

D. Características de las aberturas o vanos en los muros.

-
Figura (3.10). Características de la abertura o vanos en los muros.

E. Tipo y disposición de pisos.

Figura (3.11). Tipo y disposición de pisos

.
F. Amarre o fijación de la cubierta

Figura (3.12). Amarre o fijación de cubiertas.

G. Detalle y características de cimentación.

Figura (3.13). Detalle de cimentación.

3.2.4. SUELOS.

Los suelos tendran influencia en el comportamiento sismico de las edificaicones de acuerdo al tipo de suelo en el que se encuentren construidas dichas edificación.

3.2.5. ENTORNO.

La topografia tendra influencia en el comportamiento sismico de las edificaicones , de acuerdo en donde se encuentren construidas dichas edificación.

3.3. METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.

Existen muchas metodologías que han sido propuestas por diferentes autores para evaluar de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones. Elegir una metodología depende de algunos factores, por ejemplo: objetivo del estudio, información disponible, tiempo de ejecución, características del edificio que se estudiará, entre otras.

Estos métodos se pueden clasificar en dos grupos: métodos analíticos y los métodos cualitativos.

- A. Objetivo del estudio.
- B. Información Disponible.
- C. Características del elemento que se pretende estudiar.
- D. Tiempo de ejecución.

En general estos métodos se clasifican en:

3.3.1. Métodos Analíticos.

3.3.2. Métodos Cualitativos.

3.3.1. MÉTODOS ANALÍTICOS.

Los métodos cuantitativos o también llamados analíticos se basan típicamente en procedimientos de análisis y diseño antisísmico, recomendados por las normas modernas; estos diferencian el material constituyente de la estructura, ya que su objetivo principal es predecir su posible comportamiento, es así como se diferencian métodos de evaluación de estructuras de concreto reforzado, mampostería, mampostería confinada etc. Son métodos que en base a evaluaciones aproximadas estiman esfuerzos y deformaciones.

Generalmente los métodos analíticos, se realizan mediante modelaciones matemáticas de la estructura, en las cuales se deben considerar aspectos tales como: interacción de la estructura con los elementos no estructurales, cargas reales a las que está sometida la estructura, análisis para los diferentes sismos que se pueden presentar, etc.

Entre estos métodos se encuentran:

- A. Método Japonés de la norma sísmica.
- B. El método del Dr. Hirosawa, M. "Evaluation of Seismic Safety and Guidelines on Seismic Retrofitting Desing of Existing Reinforced Concrete Buildings" (VI

Seminario para Ingenieros Estructurales sobre Sismología e Ingeniería para Terremotos, Tokyo 1976).

- C. Métodos de evaluación de la Energía.
- D. Método del Dr. Akiyama para edificios de acero, H., Earthquake – Resistant Limit – State Design for Building. Tokyo. 1985

3.3.1.1. PROBLEMAS ASOCIADOS CON LOS MÉTODOS ANALÍTICOS.

Los problemas asociados con los métodos analíticos, básicamente provienen de las dificultades intrínsecas de la modelización matemática de las estructuras reales. Uno de los inconvenientes de la utilización de los métodos analíticos se presenta a la hora de calibrar el indicador de daño calculado con el daño real observado en las edificaciones después de un sismo.

Las múltiples incertidumbres para evaluación del daño sísmico de una estructura, surgen desde el planteamiento de las hipótesis del modelo para el análisis estructural

En conclusión, debido al impreciso e incompleto entendimiento del comportamiento estructural de los edificios de hormigón armado no es posible, hasta el momento predecir analíticamente con suficiente confiabilidad la vulnerabilidad sísmica de dichas estructuras. La evaluación de estructuras por los métodos analíticos puede llegar a ser una labor muy difícil de ejecutar a gran escala.

3.3.2. MÉTODOS SUBJETIVOS.

Los métodos subjetivos llamados también cualitativos utilizan características generales de la estructura para calificarla. Generalmente están asociados a índices globales que han sido calibrados con la experiencia de estructuras existentes, que permiten identificar el riesgo en términos generales y en algunos casos el nivel de daño. Este tipo de métodos se caracterizan por ser:

- A. Métodos de evaluación rápida.
- B. Sirven para edificaciones diversas.
- C. Seleccionan algunas edificaciones que necesitan un análisis más detallado.
- D. Se usan para una evaluación masiva de edificios con fines de cuantificación de riesgo sísmico.
- E. A algunos de estos métodos se los deben considerar como un primer nivel de evaluación y base para una evaluación analítica.
- F. Entre estos métodos se encuentran:

F.1. El método del Ministerio de Construcción del Japón.

F.2. El método Mexicano de evaluación diseñado por J. Iglesias "Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la ciudad de México" por la Secretaria de Obras.

F.3. El método ATC-21 cuya referencia es: Applied Technology Council" Radio Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook (Report ATC-21) Redwood City, California, 1988 (FEMA Report 154, July 1988).

En estos métodos, la edificación recibe calificaciones o puntajes de acuerdo a sus características particulares, tales como: estado de conservación, irregularidad en planta, irregularidad vertical, etc.; estas calificaciones, están asociados a índices globales que han sido calibrados con la experiencia adquirida por los efectos provocados por sismos pasados en las edificaciones, que permiten identificar la vulnerabilidad en términos generales y en algunos casos el nivel de daño.

3.3.2.1. PROBLEMAS ASOCIADOS CON LOS MÉTODOS SUBJETIVOS.

La opinión subjetiva del experto, en la mayoría de los casos, resulta ser una base de conocimiento difícil de transmitir y de "calibrar", por lo que los métodos que se basan en este tipo de información deben utilizar conceptos simples, generales y fácilmente comprensibles por el usuario. Lo anterior resulta, generalmente, en metodologías adaptadas a las tipologías y a las prácticas de construcción características de cada país e inclusive de cada región, lo que dificulta su aplicación en otros lugares.

3.4. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS MÉTODOS ANALIZADOS.

Para la elección de una metodología adecuada de estudio de vulnerabilidad sísmica que pudiera ser aplicada en la realización de estudio, se analizaron las ventajas y desventajas de cada una de las metodologías subjetivas investigadas.

Para la elección de la metodología se tomaron en consideración los siguientes parámetros:

- A. Tipo de información necesaria.
- B. Disponibilidad para desarrollarla.
- C. Facilidad para ser aplicada en el distrito de San José, en donde las tipologías estructurales son variadas.

A continuación, se analizan cada una de las metodologías subjetivas o cualitativas:

3.4.1. MÉTODO ATC-14.

Este método fue desarrollado por Applied Technology Council "Evaluating the Seismic Resistance of Existing Building", en 1987 y hace énfasis en la determinación de los "puntos débiles del edificio" con base en la observación de daños en edificios similares ocurridos en eventos sísmicos previos.

Inicialmente se identifican aquellos edificios que significan un riesgo para la vida humana. Como edificios riesgosos se denominan aquellos que pueden presentar alguna de las siguientes características durante un sismo determinado:

- A. Posibilidad que el edificio entero colapse.
- B. Posibilidad que porciones del edificio colapsen.
- C. Si componentes del edificio pueden fallar o caerse.
- D. Factibilidad de bloqueo de las salidas, impidiendo la evacuación o el rescate.

Evalúa los esfuerzos cortantes actuantes, los desplazamientos relativos en el entrepiso y ciertas características especiales del edificio.

3.4.1.1. LIMITACIONES.

- A. Se necesitan de herramientas básicas de ingeniería para la adquisición y correcta interpretación de los datos, limitando la recolección a personas especializadas.
- B. No es un método para estimar la vulnerabilidad a gran escala, VSG, en una zona o región, ya que primero se hace una clasificación de las estructuras que van a ser parte de la evaluación, para luego así entrar al análisis respectivo.
- C. Este método no tiene en cuenta el daño producido por uno o más sismos, por lo que no predice que afectada se podrá ver en el momento en que un determinado movimiento la afecte.

3.4.2. MÉTODO NAVFAC.

Propuesto en 1988 por G. Matzamura, J. Nicoletti y S. Freeman con el nombre "Seismic Design Guidelines for Up-Grading Existing Buildings". Este método determina el índice de daños que un determinado sismo puede causar a una estructura.

3.4.2.1. VENTAJAS.

- A. Es aplicable a cualquier tipo de estructura.
- B. Realiza una estimación de un posible daño, al comparar la capacidad de la estructura que se determina por medio del coeficiente de corte basal resistente, el desplazamiento al tope de la estructura y el periodo fundamental, con la demanda del sitio.

3.4.2.2. LIMITACIONES.

- A. No toman en cuenta la falla prematura de los elementos más débiles.

- B. Involucra cálculos matemático y conceptos ingenieriles que no cualquier persona posee, por lo se necesita, en el momento de la correlación, mano de obra calificada.
- C. El análisis de vulnerabilidad para cada estructura conlleva un tiempo considerable, a causa de los cálculos indirectos que se deben realizar.

3.4.3. MÉTODO JAPONÉS.

El método propuesto por Hirosawa es utilizado oficialmente en el Ministerio de Construcción del Japón en la evaluación de la seguridad sísmica de edificios de concreto armado. El método recomienda tres niveles de evaluación, que van de lo simple a lo detallado, y se basa en el análisis del comportamiento sísmico de cada piso del edificio en las direcciones principales de la planta

3.4.3.1. VENTAJAS.

- A. Evalúa la estructura, la forma del edificio y la peligrosidad de los elementos no estructurales. Este último aspecto es importante puesto que la mayoría de métodos solo tienen en cuenta los elementos que hacen parte del sistema sismo-resistente, olvidando la importancia que tienen los elementos no estructurales como muros, instalaciones eléctricas, sanitarias, etc. Su importancia radica en que una de las mayores causas de muerte durante un evento sísmico es por el desprendimiento de estos elementos, muchas veces y aunque suene contradictorio, sin el daño de elementos estructurales considerables.

3.4.3.2. LIMITACIONES.

- A. Solo es aplicable a edificaciones de concreto reforzado de mediana y baja altura construidas mediante métodos convencionales.
- B. Requiere criterio especializado para el dictamen de ciertos parámetros con los que deben cumplir la estructura para poder evaluar.

3.4.4. MÉTODO VENEZOLANO.

El Método Venezolano desarrollado por I. Rivera de U, D. Grisolia de C. y R. Sarmiento de la Universidad de los Andes de Mérida, Venezuela, este es aplicable a edificios de hormigón armado o Mampostería.

3.4.4.1. LIMITACIONES.

- A. Aplicable en edificios bajos de concreto reforzado o de mampostería.
- B. En el caso que no existan planos se hace un levantamiento de las dimensiones generales del edificio y de la estructura, con todas las especificaciones de los elementos resistentes a fuerzas laterales.

- C. Inspección detallada del edificio examinado cuidadosamente su sistema estructural, las posibles deflexiones de losas y vigas, agrietamientos, deterioro de los materiales constituyentes de la estructura, conexiones y apoyos entre los elementos etc.
- D. Alto grado de detalle en cuanto a la obtención y la manipulación de la información.
- E. No es muy práctico para un estudio de vulnerabilidad de edificaciones en gran volumen.

3.4.5. MÉTODO FEMA – 178 = FEMA -310.

FEMA-178, es un procedimiento preparado por el Building Seismic Safety Council de EE.UU. Este documento presenta una guía para determinar qué tan vulnerable y peligrosa (en cuanto a pérdidas de vida) es una estructura existente. Se incluye una guía en forma de lista para determinar algunas zonas o puntos débiles dentro de la estructura que podría precipitar el colapso local o total de la estructura.

3.4.5.1. VENTAJAS.

- A. Puede ser utilizado para llevar a cabo la evaluación y diagnóstico sísmico de cualquier edificación existente.

3.4.5.2. LIMITACIONES.

- A. La evaluación por este método busca encontrar las deficiencias estructurales que determinan los puntos o zonas débiles y vulnerables de la estructura, para poder hacer recomendaciones de reforzamiento, implicando un minucioso conocimiento de la cantidad de refuerzo, tanto a flexión como a cortante, y su distribución, utilizando para esto los planos. Lo que implica, que si no se tiene conocimiento de ellos, se deben emplear métodos costosos para averiguar cuanto refuerzo tiene un elemento determinando, elevando el precio del estudio.
- B. Carece de funciones de vulnerabilidad para relacionar de forma continua, el daño experimentado por la estructura cuando se somete a un movimiento sísmico.

3.4.6. MÉTODO DEL I.S.T.C.

Este método ha sido desarrollado por el Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni (I.S.T.C.) y la Università degli Studi di Padova, Consiste en el análisis de vulnerabilidad sísmica de grupos de edificios con estructura soportada por muros de mampostería de tipologías y características constructivas similares. Se considera su aplicación tanto a edificios aislados en mampostería no reforzada de regulares dimensiones (2 a 3 pisos), edificios contiguos o conjuntos de edificios.

3.4.6.1. VENTAJAS.

- A. Es un método que utiliza unas fichas de levantamiento de la información muy parecidas a las utilizadas por el método del Índice de Vulnerabilidad, teniendo en cuenta 7 ítems de vulnerabilidad que consideran las características geométricas y estructurales del edificio afectadas por sus respectivos pesos de acuerdo a su importancia. También utiliza funciones de vulnerabilidad, con la diferencia que estas funciones no sirven para estimar un daño en la estructura, sino que se limita a clasificar la estructura entre un rango de vulnerabilidad específico.
- B. El I.S.T.C. desarrolló un programa que a partir de la información recogida por las fichas de levantamiento calcula la clase de vulnerabilidad que corresponde a cada estructura y realiza un análisis estadístico para los grupos de edificios.

3.4.6.2. LIMITACIONES.

- A. Su uso se limita a estructuras soportadas por muros de mampostería, con tipologías constructivas parecidas, es decir, mampostería reforzada de 2 a 3 pisos de altura a lo sumo, edificios contiguos o conjuntos de edificios.

3.4.7. METODOLOGÍA PROPUESTA POR HURTADO Y CARDONA.

Esta metodología fue desarrollada por los ingenieros Omar Darío Cardona y Jorge Eduardo Hurtado en 1990 y es una propuesta para calcular la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de uno y dos pisos.

- A. Determinar la longitud de los muros.
- B. Determinar la resistencia a cortante menos favorable, considerando la menor longitud de muros en un plano en el primer piso de la edificación.

3.4.7.1. VENTAJAS

- A. A diferencia de los anteriores métodos que no estiman el daño, esta metodología lo clasifica de acuerdo a una escala que va desde el numeral uno, SIN DAÑO, hasta el numeral seis, EDIFICACION PARCIAL O TOTALMENTE COLAPSADA POR INESTABILIDAD.

3.4.7.2. LIMITACIONES.

- A. No tiene en cuenta los efectos de la irregularidad en planta y en altura, aunque se podrían adaptar según las consideraciones de la norma E-030 Diseño Sismoresistente con los coeficientes que alternan el valor R.

3.4.8. MÉTODO DE AIS.

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, ha publicado el documento “Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismorresistente de Viviendas de Mampostería”, donde en su capítulo II presenta un método de evaluación de grado de vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería.

3.4.8.1. VENTAJAS.

- A. Especifica claramente los aspectos de los cuales depende la vulnerabilidad en una edificación, es decir, la geometría de la estructura, aspectos constructivos y aspectos estructurales.
- B. El lenguaje es claro y no tiene palabras difusas ni muy técnicas, lo que lo hace muy eficaz para la autoconstrucción o para aquellas construcciones que no van a tener a un técnico de supervisor. La autoconstrucción es una práctica muy común en Perú, y así se ha construido la gran parte de este país, por lo que documentos como éste incentivan al mejoramiento de la calidad de la construcción y el comportamiento estructural sin elevar de una manera exagerada el costo de la vivienda.

3.4.8.2. LIMITACIONES

- A. Esta metodología no relaciona el daño sufrido por la estructura con la vulnerabilidad propiamente dicha. Sólo indica qué tan vulnerable es en una escala que va desde BAJA hasta ALTA.

3.4.9. MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

El análisis del comportamiento de edificios, durante terremotos ocurridos desde el año 1976 en diferentes regiones de Italia, ha permitido a los investigadores de este país identificar algunos de los parámetros más importantes que controlan el daño en los edificios.

El método del índice de vulnerabilidad ha sido ampliamente utilizado en Italia durante los últimos quince años y su gran aceptación en este país ha quedado demostrada por el GNDT (Grupo Nazionale per la Difesa dei Terremoti) que lo ha adoptado para los planes de mitigación de desastres a nivel gubernamental. Esto ha permitido la evolución del método, como resultado de la experimentación durante todos esos años, y según Aguiar *et*, la obtención de una extensa base de datos sobre daño y vulnerabilidad que, como ninguno de los otros métodos subjetivos que se presentaron anteriormente.

3.4.9.1. VENTAJAS.

- A. Es un método que permite calcular la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de mampostería de una forma rápida y sencilla. Esta metodología se ha venido utilizando desde el año 1982, tiempo en el cual ha tenido varias modificaciones para facilitar tanto la tarea de recolección, como la de incluir una mejor descripción de los daños a medida que ocurrían eventos sísmicos.
- B. Las instrucciones sobre cada uno de los parámetros y sus respectivas calificaciones están descritos de forma tal que una persona con los conocimientos básicos del tema pueda llenar los formularios de una manera objetiva.
- C. Utiliza funciones de vulnerabilidad que relaciona el daño esperado en la edificación con la vulnerabilidad sísmica propia, lo que es muy importante para una primera aproximación en la cuantificación de las pérdidas económicas directas. Un estudio de este tipo puede indicar antes de la ocurrencia de un terremoto, a cuánto pueden ascender las pérdidas económicas, sirviendo a los dirigentes de las ciudades para la toma de decisiones respectivas.

3.4.9.2. LIMITACIONES

- A. Como el método está propuesto básicamente para edificaciones europeas constituidas en algunos casos con muros de piedra, y además, teniendo en cuenta que el control de calidad en la construcción es mejor que la peruana, es necesario hacer ciertas modificaciones al método, sin incurrir claro está, en la esencia propia del mismo, manteniendo los mismos 11 parámetros, pero de acuerdo con la forma y los materiales constructivos locales, modificando sus respectivos pesos y adecuándolos a las exigencias de nuestra norma.

3.5. METODOLOGÍA ESCOGIDA PARA EL ESTUDIO DE TESIS REALIZADO

De los métodos presentados en este trabajo se escogió, para ser aplicado en el distrito

de San José, el Método del índice de vulnerabilidad.

A continuación, se detallan las características que se buscaba en la metodología final para este estudio.

3.5.1. INFORMACIÓN NECESARIA.

La información necesaria para completar los 11 parámetros que presentaba el método no se podían obtener directamente de la información que maneja la oficina de Catastro Municipal del distrito de San José para cada una de las viviendas del distrito. Sin embargo y tomando como base el conocimiento de los autores de esta tesis, se alcanzaba obtener información indirecta sobre estas viviendas a través de la información que se maneja en Catastro Municipal.

Como información directa que ayudaba a obtener información indirecta de las viviendas del distrito se pueden mencionar básicamente 4 datos: año de construcción de la edificación, ubicación de la misma, uso de suelo en la que se ubican y materiales que la componen.

3.5.2. FACILIDAD PARA SER APLICADA EN EL DISTRITO DE SAN JOSÉ

Facilidad del método consiste en que se puede aplicar en las edificaciones de una forma rápida y sencilla y a un gran número de edificaciones (a nivel urbano), además las instrucciones sobre cada uno de los parámetros y sus respectivas calificaciones están descritas de forma tal que una persona con los conocimientos básicos del tema pueda llenar los formularios de una manera objetiva.

3.5.3. CREDIBILIDAD DE LA METODOLOGÍA

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.

Se ha aplicado en España en los sismos de Almería en 1993 y 1994 (Yépez, 1994) y Murcia en 1999 (MENA, et al 1999), así también en diversos trabajos como los de Angeletti et al, 1988; Benedetti et al, 1988; Caicedo, 1993; Barbat et al, 1996; Grimaz, 1994; Yépez, 1996; MENA, 1997; el Proyecto Europeo SERGISAI, 1998; MENA et al, 1999, etc.

El proyecto europeo SERGISAI (Seismic risk evaluation through integrated use of Geographical Information Systems and Artificial Intelligence techniques) ha utilizado este método como modelo para calcular la vulnerabilidad de los edificios europeos. La ciudad de Barcelona, por ejemplo, ha sido estudiada a través de este método y en América Latina se cuenta con el caso de Cuenca, Ecuador, así como en la ciudad de Cali, Colombia y otros.

3.6.METODOLOGÍA DESARROLLADA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE SAN JOSÉ.

3.6.1. MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (BENEDETTI – PETRINI).

El método, consiste en hacer una calificación de los edificios mediante la observación de sus características físicas, apoyándose en cálculos simplificados, identificando los parámetros más relevantes que controlan el daño en los

edificios causados por un terremoto, realizando así una calificación de la calidad del diseño y la construcción sismorresistente de los edificios mediante un coeficiente denominado Índice de Vulnerabilidad, I_v

El método propuesto considera once parámetros para calificar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones. Estos son:

- 1) organización del sistema resistente.
- 2) calidad del sistema resistente.
- 3) resistencia convencional.
- 4) influencia de la cimentación.
- 5) elementos horizontales.
- 6) configuración en planta.
- 7) configuración en elevación.
- 8) separación máxima entre muros.
- 9) tipo de cubierta.
- 10) elementos no estructurales.
- 11) estado de conservación

Cada uno de estos parámetros tiene cuatro opciones de calificación (A, B, C, D) con un valor numérico de calificación dependiendo de cada ítem el cual es afectado por un coeficiente de peso que depende de la importancia del parámetro dentro de la vulnerabilidad sísmica de la edificación. A partir de los valores obtenidos, se cuantifica la vulnerabilidad global de la edificación mediante una suma ponderada, a este valor se le conoce como Índice de Vulnerabilidad (I_v),

3.6.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

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, se considera, juegan un papel importante en el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería. A cada parámetro se le atribuye, durante las visitas técnicas (inspecciones), una de las cuatro clases A, B, C y D. La calificación "A" es óptima con un valor numérico $K_i=0$, mientras que la "D" es la más desfavorable con un valor numérico $K_i=45$, tal y conforme se observa en la tabla 3.1. Así por ejemplo, si el parámetro número cuatro "posición del edificio y cimentación" corresponde a una configuración insegura desde el punto de vista sísmico, se le asigna la calificación "D" y el valor numérico $K_4 = 45$.

Tabla (3.1). Escala numérica del índice de vulnerabilidad para edificaciones de mampostería (Benedetti - Petrini).

Parámetros	Clase Ki				Peso
	A	B	C	D	Wi
1. Organización del sistema resistente.	0	5	20	45	1.00
2. Calidad del Sistema Resistente.	0	5	25	45	0.25
3. Resistencia Convencional.	0	5	25	45	1.50
4. Posición del edificio y cimentación.	0	5	25	45	0.75
5. Diafragmas horizontales.	0	5	15	45	1.00
6. Configuración en Planta.	0	5	25	45	0.50
7. Configuración en elevación.	0	5	25	45	1.00
8. Distancia máxima entre los muros.	0	5	25	45	0.25
9. Tipo de Cubierta.	0	15	25	45	1.00
10. Elementos no Estructurales.	0	0	25	45	0.25
11. Estado de Conservación.	0	5	25	45	1.00

Por otra parte, cada parámetro es afectado por un coeficiente de peso “Wi”, que varía entre 0,25 y 1,5. Este coeficiente trata de enfatizar su importancia relativa en el resultado final.

Finalmente el índice de Vulnerabilidad “Iv” de cada edificación se define por la siguiente expresión:

Donde:

: Índice de vulnerabilidad de Benedetti - Petrini

: Valor numérico del índice de vulnerabilidad de Benedetti - Petrini

: Coeficiente de Peso del índice de vulnerabilidad de Benedetti – Petrini

Al analizar la ecuación se puede deducir que el índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382,5 que es el máximo valor posible. Como puede verse los parámetros 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11 son de naturaleza descriptiva y quedan definidos completamente por los alcances que se presentan más adelante. Por el contrario, los parámetros 3, 6, 7 y 8 son de naturaleza cuantitativa y requieren de ciertas operaciones matemáticas (Chavarria, 2001).

De los valores obtenidos en los estudios post-terremoto en Italia, con respecto al índice de vulnerabilidad y daño en los edificios se obtuvieron correlaciones para diferentes intensidades, utilizando funciones de vulnerabilidad. Dichas funciones relacionan el índice de vulnerabilidad (I_v) con un índice de daño económico global (ID) para un intensidad dada. Un ejemplo de estas funciones se puede ver en la Ec. 3.2 (Angeletti *et al*, 1988), fruto de varios análisis de los levantamientos después de los terremotos en las localidades de Venzone y Barrea en Italia y expresadas matemáticamente de la siguiente manera:

En donde los coeficientes ρ , k y A dependen de la intensidad sísmica I como en la siguiente tabla. En esta tabla se muestra el valor de dichos coeficientes para diferentes grados de intensidad sísmica en la escala MCS, que según el manual práctico de observación sismológica de la WDC-A es equivalente a la escala MSK.

Figura (3.14). Funciones de índice de vulnerabilidad propuesta por angeletti et al, 1988.

Tabla (3.2). Coeficientes de regresión para las funciones de vulnerabilidad de Angeletti.

I	ρ	k	A
6	-0.8934	-0.00115	-325.75729

7	-0.03505	-2.07 E-5	-484.56637
8	-0.00861	4.643 E-4	-369.08006
9	0.05	0.00108	-259.31143
10	0.17	0.00239	-211.40255

El índice de vulnerabilidad se puede entender como un valor que ayuda a evaluar la falta de seguridad en los edificios ante cargas sísmicas, además forma parte de la definición de las funciones de vulnerabilidad, las cuales relacionan el índice de vulnerabilidad IV con el índice de daño global de las estructuras. El daño observado en los edificios después de un terremoto ó la simulación por ordenador del daño estructural utilizando modelos mecánicos ó matemáticos, permiten deducir por medio de métodos probabilistas las funciones de vulnerabilidad. El índice de daño global ID, caracterizado por el estado estructural de un edificio completo después de un sismo puede ser definido como la combinación ponderada de los valores describiendo el estado post-terremoto de los diferentes componentes estructurales tales como los elementos verticales y horizontales, los muros y los componentes no estructurales. El resultado final es el índice de daño en un rango de valores entre 0 y 100%.

3.6.3. FUNCIONES DE VULNERABILIDAD PARA ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Para obtener funciones de vulnerabilidad se necesita el levantamiento de daño de los edificios de mampostería no reforzada y de las estructuras de concreto afectados por los terremotos. Este estudio se realizó en España, después de la ocurrencia dos sismos en la región de Almería, al sudoeste de España el 23 de diciembre de 1993 y 4 de enero de 1994, cuya intensidad máxima estimada en el sitio fue de VII en la escala MSK, cuyo uso es muy extendido en España y los países europeos, obteniendo resultados que apreciaremos más adelante. El tipo y la extensión de daño se analizaron y clasificaron para cada parte estructural y no estructural de los edificios y se correlacionaron con el índice de daño definido por la metodología del índice de vulnerabilidad. La calidad estructural o vulnerabilidad sísmica de los edificios se evaluó siguiendo las recomendaciones de la misma metodología.

Una vez calculado el índice de vulnerabilidad y el índice de daño para cada edificio se realizó un análisis estadístico, con el cual se obtuvo una función de vulnerabilidad para los edificios de mampostería no reforzada correspondiente a una intensidad de VII en la escala MSK. En la siguiente figura se muestran los datos del levantamiento realizado, así como la función obtenida a partir de una regresión polinomial de grado tres, comparándola con las funciones propuestas por Angeletti et al, (1988) para las intensidades VI, VII y VIII de la escala MCS (Mercalli–Cancani–Sieberg) utilizada en

Italia. La comparación es posible debido a la similitud que existe entre los grados de intensidad definidos por las escalas MCS y MSK.

Los resultados permitieron obtener la primera función observada de un estudio post-terremoto en España y la primera obtenida fuera de Italia utilizando el método del índice de vulnerabilidad (Yépez, 1994).

Figura (3.15). Función de vulnerabilidad observada para edificios de mampostería no reforzada en España para un nivel de intensidad de VII en la escala MSK (Yepez, 1994). Las funciones propuestas por Angeletti et al, 1988 se representan por líneas discontinuas.

El levantamiento de las estructuras dañadas en la región de Almería permitió obtener sólo una función de vulnerabilidad, correspondiente a una intensidad VII en la escala MSK. Con el objeto de obtener funciones de vulnerabilidad para otros niveles de intensidad fue necesario recurrir a procesos de simulación por ordenador. El primer paso de este proceso fue simular la función de vulnerabilidad para una intensidad VII (MSK) y calibrarla con la función de vulnerabilidad observada del gráfico anterior. Se generó de una manera aleatoria información de 60 edificios hipotéticos, respondiendo a las características reales de edificios existentes en el área de estudio.

Se consideró una ley de distribución de probabilidad uniforme para los datos. Cada parámetro que requiere la metodología italiana se estimó en base a los datos generados y, de esta manera, se calculó el índice de vulnerabilidad IV. Con los datos de los edificios se realizaron análisis estructurales con el objeto de determinar el índice de daño global para cada intensidad macrosísmica ID.

La relación propuesta por Chung and Shinozuka (1988) se utilizó para determinar este índice de daño global mediante una suma ponderada del índice de daño de cada piso individual normalizándolo y expresándolo como porcentaje. Con los puntos obtenidos, se realizó un análisis regresional obteniendo la curva continua gruesa. Esta muestra además la función de vulnerabilidad observada.

La función ajustada a los puntos simulados en el gráfico, constituye una primera iteración de un proceso para calibrar los pesos correspondientes a los 11 parámetros que intervienen en el cálculo de la vulnerabilidad de los edificios de forma que la función simulada coincida con la observada en la campaña de Almería. Después de 2 iteraciones se consiguió que la forma de las funciones observada y simulada fuera muy similares alcanzando un coeficiente de correlación del 90%. Una vez que el proceso de simulación se realizó para una intensidad VII en la escala MSK, se efectuaron varias simulaciones para intensidades VI, VIII y IX de la misma escala, utilizando los pesos W_i obtenidos en el proceso anterior. El resultado final se muestra en un gráfico más adelante, en donde se muestran las cuatro curvas generadas para las intensidades consideradas anteriormente.

Figura (3.16). Función de vulnerabilidad simulada para intensidad VII MSK (curva gruesa) y función de vulnerabilidad observada (curva delgada). Cada punto corresponde a por lo menos un edificio generado.

Una vez que el proceso de simulación se realizó para una intensidad de VII en la escala MSK, varias simulaciones para las intensidades de VI, VIII y IX en la escala MSK se realizaron utilizando los pesos W_i calibrados obtenidos en el proceso anterior. El resultado de las funciones simuladas para las diferentes intensidades se muestra en la siguiente figura, en donde además se superponen con las funciones de vulnerabilidad propuestas por Angeletti et al, 1988, representadas por las líneas discontinuas para observar las diferencias entre ambas regiones.

Figura (3.17). Función de vulnerabilidad para los edificios de mampostería no reforzada para diferentes niveles de intensidad en la escala MSK (Yépez, 1996). Las líneas discontinuas delgadas representan las funciones italianas propuestas por Angeletti et al. (1988).

Las funciones de vulnerabilidad obtenidas se representan por regresiones polinómicas, cuyos coeficientes para las diferentes intensidades se muestran en la siguiente tabla.

En donde a_1 , a_2 y a_3 son los coeficientes obtenidos en el cálculo de la regresión.

Tabla (3.3). Valores de los coeficientes de las funciones de vulnerabilidad para los edificios de mampostería, obtenidos en el cálculo de las regresión polinómicas.

Intensidad	a_1	a_2	a_3	Correlación (%)
VI	0.0048	-0.0014	0.000086	80
VII	0.0170	-0.0025	0.000140	89
VIII	-0.0047	0.0012	0.000190	88
IX	-0.1500	0.0280	-0.000039	91

3.6.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras de concreto armado, se utiliza un procedimiento similar al explicado anteriormente. Primero, se elabora una tabla similar a la propuesta para los edificios de mampostería considerando las características más importantes que influyen en el comportamiento sísmico de las estructuras, sin embargo, en este caso se asignan solamente tres calificaciones a diferencia de las cuatro propuestas para los

edificios de mampostería. Una vez evaluado cada parámetro se realiza una suma ponderada utilizando los factores de peso, para obtener el índice de vulnerabilidad final mediante la siguiente expresión:

Donde:

: Índice de vulnerabilidad de Benedetti - Petrini

: Valor numérico del índice de vulnerabilidad de Benedetti - Petrini

: Coeficiente de Peso del índice de vulnerabilidad de Benedetti – Petrini

Las funciones de vulnerabilidad simuladas para los edificios de concreto armado se muestran en los siguientes gráficos. Estas funciones se generaron para dos tipos de estructuración:

- A. Para edificios de concreto armado con pórticos sismorresistentes.
- B. Para edificios de concreto armado con losas reticulares.

La diferencia más importante es que los edificios del primer tipo de estructuración se comportan mejor ante un sismo que los segundos por tener una mejor capacidad de deformación, lo que permite una mayor liberación de energía.

Tabla (3.4).Escala numérica del índice de vulnerabilidad IV para las estructuras de concreto armado (Benedetti y Petrini 1984).

Parámetros	Clase Ki			Peso Wi
	A	B	C	
1. Organización del sistema resistente.	0	1	2	4.0
2. Calidad del Sistema Resistente.	0	1	2	1.0
3. Resistencia Convencional.	-1	0	1	1.0
4. Posición del edificio y cimentación.	0	1	2	1.0
5. Diafragmas horizontales.	0	1	2	1.0
6. Configuración en planta.	0	1	2	1.0

7. Configuración en elevación.	0	1	3	2.0
8. Distancia máxima entre los muros.	0	1	2	1.0
9. Tipo de Cubierta.	0	1	2	1.0
10. Elementos no Estructurales.	0	1	2	1.0
11. Estado de Conservación.	0	1	2	1.0

La función de vulnerabilidad correspondiente a una intensidad de I en la escala MSK no se representa para los edificios aporticados con vigas y columnas, debido a que los índices de daño eran menores a un 5%, por lo que pueden considerarse despreciables. Para los edificios aporticados con losas y columnas los valores para una intensidad de IX no se incluyen ya que se ha calculado que en este caso la mayoría de los edificios colapsarían.

Figura (3.18). Función de vulnerabilidad para edificios de concreto armado con pórticos sismo resistentes para las intensidades VII, VIII y IX en la escala MSK (Yépez, 1996).

Figura (3.19). Función de vulnerabilidad para edificios de concreto armado de losas reticulares para las intensidades VI, VII y VIII en la escala MSK (Yépez, 1996).

Finalmente, las funciones de vulnerabilidad se obtuvieron utilizando un ajuste polinomial mediante técnicas de mínimos cuadrados, cuyo resultado tienen la siguiente forma:

En donde a, b, c y d corresponden a los coeficientes obtenidos en el cálculo de la regresión.

Tabla (3.5) Valores de los coeficientes de las funciones de vulnerabilidad para los edificios de concreto armado aporticados con vigas y columnas, obtenidos en el cálculo de las regresiones polinómicas

Intensidad	a	b	c	d	Correlación (%)
------------	---	---	---	---	-----------------

VII	3.6	0.00027	0.00087	0.00	68.1
VIII	-6.1	1.1	0.0115	0.00013	96.1
IX	-49.8	6.2	-0.14	0.00191	91.5

. Tabla (3.6) Valores de los coeficientes de las funciones de vulnerabilidad para los edificios de concreto armado aporticados con losas reticulares, obtenidos en el cálculo de las regresiones polinómicas.

Intensidad	a	b	c	d	Correlación (%)
VI	-2.9	0.31	0.0	0.0	84.1
VII	1.7	1.0	-0.11	0.00012	67.1
VII	10.3	1.5	-0.63	0.002	83.7

3.7. ADAPTACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.

El método del índice de vulnerabilidad plantea tal y conforme se detalla, once parámetros para evaluar la calidad estructural de las edificaciones del Distrito de san José

Con el objetivo de establecer si éstos 11 parámetros eran suficientes para realizar dicha evaluación en las edificaciones, se comparó con lo que propone el Reglamento Nacional de Edificaciones. Se pudo observar que casi en su totalidad, el método del Índice de Vulnerabilidad satisfacía las exigencias del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Tabla (3.7). Comparación entre el reglamento nacional de edificaciones y los parámetros propuestos por el índice de vulnerabilidad.

PARÁMETROS	COMPONENTE PROPUESTO POR EL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICAICONES
1. Organización del sistema resistente	Asesoría técnica y criterios estructuración en adobe y albañilería – norma del 97’.
2. Calidad del sistema resistente	Calidad del material y proceso constructivo, Norma E 060, E 070, E 080.
3. Resistencia convencional	Factores sismorresistentes (Z, U, C, S, R, Tp) Norma E 060, E 070, E 080 – Cortante Basal.
4. Posición del edificio y cimentación	Condiciones Geotécnicas: tipo de suelo muy rígido, intermedio y flexible – Norma E 030.
5. Diafragmas Horizontales	Consideraciones para diafragmas Norma E 030, E 060, E 070, E 080.
6. Configuración en planta	Configuración estructural. (Irregularidades estructurales en planta). Norma E 030 (Art 11)
7. Configuración en elevación	Configuración estructural. (Irregularidades

	estructurales en altura). Norma E 030 (Art 11)
8. Separación máxima entre muros	Densidad de muros en las edificaciones Norma E 070 y 080
9. Tipo de Cubierta	Calidad en la unión de la cobertura liviana con el sistema resistente
10. Elementos no estructurales	Conexión de los elementos no estructurales Norma E 070 (cap. 9, cap. 10)
11. Estado de conservación	Condición actual de la vivienda.

3.7.1. PARÁMETROS PLANTEADOS PARA UTILIZAR EL MÉTODO.

En este estudio no se adicionó ningún parámetro nuevo al método original del Índice de Vulnerabilidad. En la tabla 3.8, se presentan todos los parámetros que se tuvieron en cuenta para el presente estudio.

Tabla (3.8). Parámetros utilizados para evaluar la calidad estructural de las edificaciones de adobe, albañilería y concreto armado.

<u>PARAMETROS :</u>
1. Tipo y Organización del Sistema Resistente.
2. Calidad del Sistema Resistente.
3. Resistencia convencional.
4. Posición del edificio y de la Cimentación.
5. Diafragmas Horizontales.
6. Configuración en Planta.
7. Configuración en Elevación.
8. Distancia máxima entre muros /columnas
9. Tipo de Cubierta.
10. Elementos no Estructurales.
11. Estado de Conservación

3.8.DESCRIPCIÓN Y CLASES DE LOS PARÁMETROS DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.

Para asignar las clases A, B, C y D a cada parámetro de la metodología se tuvo en cuenta lo expuesto en la metodología original, las recomendaciones presentadas en el reglamento nacional de construcción, consultas a Ingenieros, revisión de estudios anteriores, la información de la oficina de Catastro Municipal y visitas de campo.

A continuación, se exponen las clases A, B, C y D modificadas, ampliadas u originales de cada uno de los once parámetros ya definidos en la metodología.

3.8.1. PARÁMETRO 1: TIPO Y ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE.

Con este parámetro se evalúa el grado de organización de los elementos verticales prescindiendo del tipo de material. Para las edificaciones de adobe y albañilería, 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.

Además se hace un especial énfasis en el uso de la norma de diseño sismorresistente para la construcción de la edificación, así como la intervención de un profesional con experiencia.

En los edificios de concreto armado ocurre lo mismo, es decir, la aplicación de la norma de diseño sismorresistente es muy importante, pues dicho parámetro analiza las características del sistema resistente. También se considera la participación de un profesional con experiencia.

Por lo tanto el parámetro 1, se asignara de acuerdo a los puntos descritos a continuación:

3.8.1.1. ADOBE.

- A : Edificaciones de adobe según norma E 080.
- B : Edificaciones de adobe con elementos de arriostre horizontales y verticales pero sin asesoramiento técnico.
- C : Edificaciones de adobe sin elementos de arriostre en sus cuatro lados, sin asesoría técnica, pero con adecuada distribución de muros y regularidad
- D : Edificaciones de adobe sin elementos de arriostre en sus cuatro lados, sin asesoría técnica y sin adecuada distribución de muros. Edificaciones de quincha y tapial.

3.8.1.2. ALBAÑILERÍA.

- A : Edificaciones de albañilería que cumplan la norma E 070.
- B : Edificaciones que no cumplen con al menos un requisito de la norma E 070.
- C : Edificaciones que presentan vigas y columnas que confinan solo parcialmente los muros portantes debido a deficiencias en el proceso constructivo
- D : Edificaciones sin vigas ni columnas de confinamiento o autoconstrucción sin ningún tipo de orientación técnica. Paredes ortogonales deficientemente conectadas.

3.8.1.3. CONCRETO ARMADO.

- A : Año de construcción mayor a 1997 y asesoría técnica.
- B : Año de construcción menor a 1997 y asesoría técnica.
- C : Sin asesoría técnica.

3.8.2. PARÁMETRO 2: CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE.

Para las edificaciones de adobe y albañilería 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 una edificación a una de las cuatro clases se efectúa en función de dos factores:

- A.** Primero, el tipo de material y la forma de los elementos que constituyen la mampostería.
- B.** Segundo, la homogeneidad del material y de las piezas (bloques, ladrillos de arcilla o mortero – cemento, ya sean pre fabricados, cocidos o con un leve refuerzo) por toda el área del muro.

En edificios de concreto armado se evalúa de una forma similar la calidad del sistema resistente, considerando además características como la mano de obra o la calidad de ejecución que estarán evaluados por la presencia de una asistencia técnica adecuada.

3.8.2.1. ADOBE.

A : El sistema resistente del edificio presenta las siguientes tres características:

- 1. Unidades de adobe de buena calidad y resistencia con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro.
- 2. Presencia de buen amarre entre unidades de adobe.
- 3. Mortero de barro de buena calidad con espesor de la mayoría de juntas continuas y homogéneas tal como mencionan las normas.

B : El sistema resistente del edificio no presenta una de las características de la clase A.

C : El sistema resistente del edificio no presenta dos de las características de la clase A.

D : El sistema resistente del edificio no presenta ninguna de las características de la clase A.

3.8.2.2. ALBAÑILERÍA

A : El sistema resistente del edificio presenta las siguientes tres características:

- 1. Ladrillo de buena calidad y resistencia con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro
- 2. Presencia de buen amarre entre unidades de albañilería.
- 3. Mortero de buena calidad con espesor de 10 - 15 mm.

B : El sistema resistente del edificio no presenta una de las características de la clase A.

C : El sistema resistente del edificio no presenta dos de las características de la clase A.

D : El sistema resistente del edificio no presenta ninguna de las características de la clase A.

3.8.2.3. CONCRETO ARMADO

A : Año de construcción mayor a 1997 y asesoría técnica.

B : Año de construcción menor a 1997 y asesoría técnica.

C : Sin asesoría técnica

3.8.3. PARÁMETRO 3 : RESISTENCIA CONVENCIONAL

Para las edificaciones de adobe y albañilería con este parámetro se evalúa la fiabilidad de la resistencia que puede presentar el edificio frente a cargas horizontales. Aquí se realizan unos cálculos sencillos, en la que se tienen en cuenta la resistencia de los muros en las direcciones principales.

Para este parámetro se decidió utilizar la metodología propuesta por Hurtado y Cardona, en donde se determinó escoger la clase, no por el factor a como acontece con el método del Índice de Vulnerabilidad, sino por la demanda de ductilidad DD , que es el inverso de a . Esta metodología fue desarrollada en 1990 y se desarrolla de la siguiente manera:

1. Determinar A_x y A_y que son las áreas totales resistentes de muros (m^2) en la dirección x y y respectivamente, cuyo valor para este trabajo se inferirá de los estudios realizados.

Cuando los paneles resistentes no siguen las direcciones ortogonales x o y , sino que forman un ángulo b diferente de cero con dichos ejes, los valores de A_x y de A_y se evalúan multiplicando dichas áreas por $(\cos b)^2$.

Las curvas mostradas tanto de adobe, albañilería y concreto armado se han comprobado para viviendas del Distrito de Ciudad Eten, con un índice de confiabilidad del 95 %.

2. Determinar la resistencia cortante menos favorable, considerando la menor área de muros en un plano en el primer piso de la edificación. La resistencia cortante se calcula como:

...Ec (3.6).

Donde v es el valor de la resistencia a cortante de los muros, cuyo valor se calcula en ensayos experimentales de muestras de los edificios de estudio. Cuando este valor no se obtiene experimentalmente, se pueden recurrir a los valores que se muestran en la siguiente tabla.3.9 y 3.10.

Tabla (3.9). Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para mampostería de edificios históricos. Fuente: Ingeniería Estructural de los edificios históricos, (Roberto Meli, México).

VALORES RECOMENDADOS DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO PARA MAMPOSTERÍA DE EDIFICIOS HISTÓRICOS.				
PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALGUNOS TIPOS DE MAMPOSTERÍA DE EDIFICIOS HISTÓRICOS.				
Material	Peso Volumétrico	Resistencia a Compresión	Resistencia a cortante kg/cm ²	Módulo de Elasticidad
Adobe	1.8	2 – 5	0.5	3000
Bloques de lepetate con mortero de lodo	1.8	5 – 10	0.5	5000

Ladrillo con mortero de lodo	1.6	5 – 10	1.0	5000
Ladrillo con mortero de cal	1.6	15 –20	2.0	10000
Mampostería de piedra irregular con mortero de cal	2.0	10 –15	0.5	5000
Mampostería de piedra de buena calidad	2.0	30	2.0	20000

Así como también se pueden utilizar datos del siguiente cuadro.

Tabla (3.10). Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para paneles de mampostería (Yépez, 1996).

VALORES RECOMENDADOS DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO PARA PANELES DE MAMPOSTERÍA (YÉPEZ, 1996)	
Tipo de material	Esfuerzo cortante (Tn/m ²)
Ladrillo macizo, calidad regular	6 – 12
Piedra mal tallada	2
Piedra bien tallada	7 – 9
Ladrillo macizo, buena calidad	18
Bloque macizo, mortero – Cemento	18
Mampostería nueva. Ladrillo macizo	20
Mampostería nueva. Bloque macizo	20
Mampostería nueva. Ladrillo/ Bloque Hueco	18

Para este trabajo se utilizó los siguientes valores promedio, $v = 15 \text{ tn/m}^2$ para mampostería confinada, $v = 7.5 \text{ tn/m}^2$ para mampostería no confinada y $v = 5 \text{ tn/m}^2$ para mampostería de adobe y piedra irregular.

3. Calcular el peso de la edificación que es resistido por la estructura (W), lo cual será la contribución tanto del peso de los muros, peso de los pisos y cubiertas.

$$W = N*(A_x + A_y)*h*P_m + M*P_s*A_t + A_c*P_c \dots E_c \text{ (3.7).}$$

En donde:

A_t : Área total construida en planta (m²).

A_x, A_y : Áreas totales resistentes de muros (m^2) en las direcciones X y Y respectivamente.

h : Altura Promedio de entrepiso (m).

N : Número de pisos de la edificación.

P_m : Peso específico de la mampostería (tn / m^3)

P_s : Peso por unidad de área del diafragma horizontal (tn / m^2).

M : Es el número de diafragmas horizontales.

A_c : Área total de cubierta (m^2).

P_c : Peso por unidad de cubierta (tn / m^2).

Valores para P_m :

A. Para mampostería de adobe se utilizará 1.6 tn/m^3

B. Para mampostería de ladrillo solido se utilizara 1.8 tn/m^3

C. Para otro tipo de material como mampostería de caliza, granito y otro se utilizó los valores según a los pesos unitarios que proporciona la norma u otra bibliografía.

Valores para P_s :

A. Para valores de aligerados se utilizará 0.3 tn/m^2

B. Para valores de diafragmas abovedados de un promedio de espeso de 0.40 m se utilizara 0.70 tn/m^2

Para otros valores de diafragmas horizontales se utilizara la siguiente tabla:

Tabla 3.11. Diafragmas tipo, utilizado para el cálculo de coeficiente.

Descripción del forjado	Peso (Kg/m^2)	
	Rango	Promedio
1. Viguetas de madera y entarimado.	40 – 70	55
2. Viguetas de madera y bovedillas de yeso	100 – 160	130
3. Viguetas de madera y tablero de ladrillo	60 – 140	100
4. Viguetas metálicas y bovedillas de ladrillo.	130 – 280	205
5. Viguetas metálicas y mortero ligero.	160 – 390	275
6. Viguetas de concreto y bovedillas de ladrillo	180 – 290	235
7. Viguetas de concreto y bloques huecos	100 – 180	440
8. Losa de concreto armado	190 – 480	335

9. Losa aligerada de concreto armado	200 – 320	260
10. Losa de cerámica armada.	150 – 240	195

Valores para P_c

- A. Para valores de coberturas de teja y barro se utilizará 0.16 tn/m^2 .
- B. Para valores de coberturas de zinc se utilizará 0.01 tn/m^2 .
- C. Para valores de coberturas de asbesto cemento se utilizará 0.05 tn/m^2 .

Para el valor del área de cubierta se considera un 20% más del área construida, debido a los aleros y pendientes que tienen las viviendas de la zona, este incremento solo será para construcciones que tienen pendientes.

4. Calcular el coeficiente sísmico resistente CSR, es decir, el porcentaje del peso de la edificación que es resistido por la estructura, como cortante horizontal en la dirección más desfavorable.

$$CSR = VR/W \dots \dots \dots E_c \text{ (3.8)}$$

5. Calcular el coeficiente sísmico exigido CSE el cual será el valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado, tal como menciona el reglamento sismorresistente.

Para mampostería de adobe (E – 080) :

$$CSE = SUC \dots \dots E_c \text{ (3.9)}$$

Para albañilería (E – 030) :

$$CSE = ZUSC/R \dots \dots E_c \text{ (3.10)}$$

6. Calcular la demanda de ductilidad DD como la relación:

$$DD = CSE W/VR \dots \dots E_c \text{ (3.11)}$$

7. Se podrá clasificar con la siguiente adaptación:

- A : $DD < 0.50$
- B : $0.50 \leq DD < 1.00$
- C : $1.00 \leq DD < 1.50$
- D : $1.50 \leq DD$

Para los edificios de concreto armado, requiere de cálculos estructurales simplificados, en base a una relación entre el cortante actuante en la base y el cortante resistente de la estructura.

El cortante actuante se define a partir de un espectro elástico de respuesta, mientras que el cortante resistente está basado en la capacidad a cortante del sistema estructural.

De esta forma, la fuerza sísmica de referencia F en el piso n puede calcularse mediante la expresión:

Donde W_i y h_i con el peso y la altura del piso i , respectivamente. Z , U , C , S son parámetros del reglamento sismorresistente.

La evaluación del parámetro requiere del cálculo de un coeficiente α_h , que representa la relación entre la fuerza resistente y la fuerza de diseño mediante las relaciones:

Donde

A_t : Área total en planta (m^2)

A_x, A_y : Áreas totales de las secciones resistentes (de concreto armado y de mampostería) en los sentidos X y Y respectivamente.

A_0 : Valor mínimo entre A_x y A_y partido por A_t .

h : Altura media de los pisos (m).

P_m : Peso específico de los elementos del sistema resistente (tn/m^3).

P_s : Peso por unidad de área del sistema resistente (tn/m^2)

τ : Resistencia de la cortante de los elementos del sistema resistente, obtenida como una ponderación entre los valores de resistencia cortante (τ_i) de cada uno de los materiales que constituyen el sistema resistente estructural (en este caso, hormigón). En la siguiente ecuación se puede apreciar que el factor de ponderación son los porcentajes relativos de las áreas contribuyentes de los elementos del sistema resistente.

Para calcular los coeficientes α_h se utiliza la altura máxima, área total construida, el material utilizado en el sistema resistente, los muros y el tipo de diafragma, así como el esfuerzo máximo a cortante, tipo de suelo

y área de muros en las direcciones X y Y. Por último, el cálculo del parámetro para concreto armado será de la siguiente manera:

- A : $\alpha_h \geq 1.20$
- B : $0.60 \leq \alpha_h < 1.20$
- C : $\alpha_h < 0.60$

3.8.4. PARÁMETRO 4: POSICIÓN DEL EDIFICIO Y 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:

- A. La consistencia y la pendiente del terreno.
- B. La eventual ubicación de la cimentación a diferente cota.
- C. La presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- D. Presencia de humedad, sales, etc.

La evaluación de este parámetro parece incompleta y difícil, ya que la observación de cotas de cimentación no siempre es posible a simple vista, requiriéndose examinar los planos estructurales de la cimentación (Yépez et al, 1995), pero esto es muchas veces complicado, debido a que la mayoría de las estructuras en estudio son antiguas y no presentan planos de este tipo, o están incompletos.

3.8.4.1. ADOBE.

- A : Edificaciones de adobe cimentada según la norma E – 080, sin presencia de humedad o sales.
- B : Edificaciones de adobe cimentada según la norma E – 080, con presencia de humedad o sales.
- C : Edificaciones de adobe cimentado sin proyecto aprobado ni asesoría técnica, además presencia de sales y humedad.
- D : Edificaciones de adobe cimentado sin proyecto aprobado ni asesoría técnica, además presencia de sales y humedad. Estado de conservación deteriorado.

3.8.4.2. ALBAÑILERÍA.

- A : Edificación cimentada sobre suelo rígido y según la norma E – 070, sin presencia de humedad ni sales.
- B : Edificación cimentada sobre suelo intermedio y flexible, según la norma E – 070, sin presencia de humedad ni sales.
- C : Edificación cimentada sobre suelo intermedio y flexible, según la norma E – 070, con presencia de humedad y sales.

D : Edificación cimentada sin proyecto aprobado ni asesoría técnica, con presencia de sales y humedad. Estado de conservación deteriorado.

3.8.4.3. CONCRETO ARMADO.

A : Edificación cimentada sobre suelo intermedio o flexible, según la norma de diseño sismorresistente E – 030.

B : Edificación cimentada sobre suelo intermedio o flexible, según la norma de diseño sismorresistente E – 030. Presencia de sales y humedad.

C : Edificación cimentada sin proyecto aprobado ni asesoría técnica, y presencia de sales y humedad.

3.8.5. PARÁMETRO 5: DIAFRAGMAS HORIZONTALES.

En ambas construcciones (mampostería y concreto armado), la calidad del sistema resistente del piso tiene una notable importancia al influir en el buen funcionamiento de los elementos resistentes verticales. A partir de las experiencias con terremotos pasados, se ha observado que es de singular importancia que el sistema de diafragmas horizontales se encuentre bien conectado al sistema resistente vertical, que pueda transmitir tanto las cargas verticales que soporta el edificio, como las horizontales debidas al sismo hacia los paneles y de allí a la cimentación. Cuando dichas conexiones no se encuentran en estado aceptable, la vibración lateral de los paneles resistentes tiende a separarlos de los diafragmas horizontales, provocando la caída de estos últimos y el desarrollo de un mecanismo de falla con características de reacción en cadena con el resto del sistema; dicha reacción se producirá como consecuencia de altas cargas de impacto.

Por otro lado, la deficiencia de estas conexiones genera inestabilidad en la estructura global, permitiendo los diafragmas horizontales su capacidad de arriostrar los muros, aumentando con ello drásticamente la longitud de pandeo de los paneles y llegándose así a un debilitamiento drástico de su capacidad de recibir cargas. En resumen, este efecto podría causar el colapso total y violento de todo edificio. Este parámetro, en ambas construcciones se calculará con la información del tipo de diafragmas horizontales y desniveles de estos, así como su tipo de conexiones.

3.8.5.1. ADOBE.

A : Edificación con diafragma compuesto de una losa aligerada, apoyada sobre vigas de concreto armado.

B : Edificación con techo compuesto de caña y vigas de madera en buen estado.

C : Edificación con techo compuesto de caña y vigas de madera en estado defletrado.

D : Edificación sin diafragma. Cubierta de eternit.

3.8.5.2. ALBAÑILERÍA.

A : Edificaciones con diafragma que satisfacen las siguientes condiciones.

1. Ausencia de planos a desnivel.
2. La deformabilidad del diafragma es despreciable (Ideal de concreto armado).
3. La conexión entre el diafragma y el muro es eficaz.

B : Edificación que no cumple con una de las condiciones de la clase A.

C : Edificación que no cumple con dos de las condiciones de la clase A.

D : Edificación que no cumple con ninguna de las condiciones de la clase A.

3.8.5.3. CONCRETO ARMADO.

A : Edificaciones con diafragmas que satisfacen las siguientes condiciones:

1. Ausencia de planos a desnivel.
2. La deformabilidad del diafragma es despreciable (Ideal de concreto armado).
3. La conexión entre el diafragma y el muro es eficaz.

B : Edificación que no cumple con una de las condiciones de la clase A.

C : Edificación que no cumple con dos de las condiciones de la clase A.

3.8.6. PARÁMETRO 6: DIAFRAGMAS HORIZONTALES.

El comportamiento sísmico de un edificio depende en parte de la forma en planta del mismo. La asignación de las edificaciones posibles se puede explicar definiendo los parámetros $b_1 = a/L$ y $b_2 = b/L$, donde:

a : Representa la dimensión menor del edificio.

L : Representa la dimensión mayor del edificio.

b : Representa la dimensión de los elementos que sobresalgan de las dimensiones principales a y L de la planta.

Figura (3.26). Formas originales en planta consideradas en la metodología del índice de vulnerabilidad.

El método evalúa la condición de simetría en planta de los edificios, proponiendo los valores más altos del parámetro cuando las dimensiones en planta se asemejan a secciones cuadradas, sin protuberancias adicionales y castigando las secciones excesivamente alargadas o con protuberancias demasiado grandes, las cuales pueden provocar problemas de torsión en planta y concentraciones de esfuerzos en las esquinas y en los elementos más alejados de los centros de gravedad y rigidez.

La implementación de este parámetro dentro del sistema de información geográfica, impide evaluar el parámetro como lo indica la metodología original, lo que obliga a desarrollar un método alternativo para evaluar dicha regularidad.

Debido a que este parámetro depende de la geometría de la planta del edificio, el método propuesto es el siguiente para ambos tipos de edificios.

Figura (3.27). Forma general de una planta considerada para el cálculo del parámetro δ (configuración en planta del edificio).

Figura (3.28). La ampliación de las zonas próximas al centroide permiten observar los valores considerados para el cálculo del parámetro. Las elipses indican la zona ampliada.

Sean $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$, los puntos de la forma geométrica anterior correspondientes a las coordenadas $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_i, Y_i), \dots, (X_n, Y_n)$, que definen la planta de cada edificio. El centroide o centro de gravedad (x_g, y_g) se obtiene de las siguientes ecuaciones:

En donde A_i , son las áreas parciales auxiliares de la figura que sirven para obtener el centro de gravedad y se obtienen multiplicar $x_i \cdot y_i$. Se calcula además, un valor medio de los puntos más alejados de la figura en donde cruza una línea imaginaria que pasa por el centro de gravedad, en donde, $x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}$ y y_{\max} , corresponden a los valores de los puntos $P_{x_{\min}}, P_{x_{\max}}, P_{y_{\min}}$ y $P_{y_{\max}}$, respectivamente.

Una vez calculados estos valores se sustituyen en las ecuaciones, con lo que se obtienen los valores de la regularidad en las direcciones x e y de la estructura. El valor máximo obtenido, permitirá obtener el parámetro 6.

3.8.6.1. ADOBE Y ALBAÑILERÍA.

- A : $IR \leq 0.10$
- B : $0.10 < IR \leq 0.50$
- C : $0.50 < IR \leq 1.00$
- D : $IR > 1.00$

3.8.6.2. CONCRETO ARMADO

- A : $IR \leq 0.25$
- B : $0.25 < IR \leq 0.75$
- C : $IR > 0.75$

3.8.7. PARÁMETRO 7: CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN

En el caso de edificaciones de adobe y albañilería, se reporta la variación de masa en porcentaje $\pm DA/A$ entre dos pisos sucesivos, siendo A el área del piso más bajo y utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de reducción de área hacia lo alto del edificio.

La irregularidad en elevación de edificios de concreto armado suele estar determinada por configuraciones como la presentada en la figura adjunta. Para evaluar dicho parámetro se consideran las dimensiones de H y T, cuya relación se utiliza para evaluar este parámetro. Se puede apreciar fácilmente, que el método califica favorablemente la existencia de variaciones excesivas en la masa de dos pisos consecutivos. Por lo tanto, la evaluación de este parámetro se realiza utilizando la variación de la altura en el edificio, es decir, los valores de la altura mínima (obtenido de H-T) y máxima del edificio (H). El valor del parámetro se obtiene calculando RL que es la relación entre las dos alturas o altura promedio del edificio.

Figura (3.29). Formas originales consideradas para la evaluación del parámetro 7.

3.8.7.1. ADOBE Y ALBAÑILERÍA.

- A : Edificio con: $\pm DA/A \leq 10\%$
- B : Edificio con: $10\% < \pm DA/A \leq 20\%$
- C : Edificio con: $20\% < \pm DA/A \leq 50\%$; Presenta discontinuidad en los sistemas resistentes
- D : Edificio con: $\pm DA/A \geq 50\%$; Presenta irregularidades de piso blando.

3.8.7.2. CONCRETO ARMADO.

- A : $RL > 0.66$
- B : $0.33 < RL \leq 0.66$
- C : $RL \leq 0.33$; Presenta irregularidades en el sistema resistente vertical.

3.8.8. PARÁMETRO 8: DISTANCIA MÁXIMA ENTRE MUROS O COLUMNAS

Para los edificios de mampostería, se tiene en cuenta el posible espaciamiento excesivo entre los muros ubicados transversalmente a los muros maestros. La clasificación se define en función del factor L/S , donde S es el espesor del muro maestro y L es el espaciamiento máximo entre los muros transversales. Este parámetro indica que al aumentar el espaciamiento máximo, producto de la eliminación de muros internos secundario, se altera la vulnerabilidad sísmica del edificio. Este es un típico efecto de las ampliaciones y remodelaciones arquitectónicas que se realizan en las construcciones existentes, generalmente como consecuencia del cambio de uso de ciertos pisos en las edificaciones. Por otra parte para el caso de los edificios de concreto armado, a diferencia de los edificios de mampostería, analiza el tipo de

conexión entre elementos críticos resaltando la importancia que tienen las uniones vigas-columnas o losa-columnas.

1. Para muros de mampostería de ladrillo de arcilla y concreto, para los cuales se tomó con un espesor promedio de 23 cm y 13 cm.
2. Para muros de mampostería de adobe, con espesores promedio de 40 cm.

Por otra parte para los edificios de concreto armado, como se comentó califica la conexión entre elementos críticos, es decir, evalúa el tipo de unión entre los elementos resistentes verticales y horizontales mediante tres factores, cuyos valores dependen de detalles constructivos entre ambos elementos. Como esta información no se encuentra en la base de datos y en general es difícil obtenerla se recurre al parámetro de asistencia técnica de un profesional a fin, asumiendo su buen comportamiento cuando existe la intervención de dicha persona; agregando a esta la utilización de la norma sismorresistente.

3.8.8.1. ADOBE.

- A : Edificio con $L/S < 4.7$.
- B : Edificio con $4.7 \leq L/S \leq 5.6$.
- C : Edificio con $5.6 \leq L/S \leq 7.8$.
- D : Edificio con $L/S \geq 7.8$.

3.8.8.2. ALBAÑILERÍA.

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

3.8.8.3. Concreto Armado.

- A : Año de construcción mayor 1997 y con asistencia técnica.
- B : Año de construcción menor 1997 y con asistencia técnica.
- C : Sin asistencia técnica.

3.8.9. PARÁMETRO 9: TIPO DE CUBIERTA.

En el caso de los edificios de mampostería y concreto armado la influencia del tipo de cubierta en el comportamiento sísmico de un edificio es muy importante, factores como su tipología y peso determinan dicho comportamiento.

Según las observaciones de campo se pudieron apreciar dos tipos de cubiertas: eternit y calamina; y combinaciones entre estas.

Las dos características de la clase A de este paramento están englobadas por la asistencia técnica, ya que una construcción con dicha asistencia tendrá buenas conexiones y comportamiento estructural eficiente. Por lo tanto para este parámetro sólo se utilizó los campos de asistencia técnica y tipo de material de cubierta.

3.8.9.1. ADOBE Y ALBAÑILERÍA.

- A : Cubierta estable debidamente amarrada a los muros con conexiones adecuadas y de material liviano. Edificación con cubierta plana.
- B : Cubierta inestable de material liviano y en buenas condiciones.
- C : Cubierta inestable de material liviano y en malas condiciones.
- D : Cubierta inestable en malas condiciones y con desnivel.

3.8.9.2. CONCRETO ARMADO

- A : Cubierta estable debidamente amarrada a las vigas con conexiones adecuadas y material liviano. Edificación con cubierta plana.
- B : Cubierta inestable de material liviano y en buenas condiciones.
- C : Cubierta inestable en malas condiciones y con desnivel.

3.8.10. PARÁMETRO 10: ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Se tiene en cuenta con este parámetro la presencia de balcones, cornisas, parapetos, tanques elevados o cualquier otro elemento no estructural que pueda causar daño. Se trata de un parámetro secundario para fines de evaluación de la vulnerabilidad, por lo cual no se hace ninguna distinción entre las dos primeras clases, tanto para adobe como albañilería.

3.8.10.1. ADOBE Y ALBAÑILERÍA.

- A : Edificación que no contenga elementos no estructurales mal conectados al sistema resistente.
- B : Edificación con balcones y parapetos bien conectados al sistema resistente.
- C : Edificación con balcones y parapetos mal conectadas al sistema resistente. Elementos deteriorados debido a su antigüedad.
- D : Edificación que presenta tanques de agua o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal conectado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal construido, que se pueden desplomar en caso de un evento sísmico. Edificios con balcones construidos posteriormente a la estructura principal y conectada a esta de modo deficiente y en mal estado.

3.8.10.2. CONCRETO ARMADO.

- A : Que cumplan con la clase A o B de mampostería.
- B : Edificio con parapetos mal conectados al sistema resistente.
- C : Edificio que presenta tanques de agua o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal conectado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal construido, que se pueden desplomar en caso de un evento sísmico. Edificios con balcones construidos posteriormente a la estructura principal y conectada a esta de modo deficiente

3.8.11. PARÁMETRO 11: ESTADO DE CONSERVACIÓN.

Por último, este parámetro, enteramente subjetivo califica de una manera visual la presencia de desperfectos internos la estructura, así como posibles irregularidades como productos de fallos en el proceso constructivo. Es obvio que la edad de la construcción en este caso juega un papel importante, debido que el estado de conservación dependerá de la antigüedad de los edificios, ya que el material de construcción se deteriora con los años lo que lleva a la pérdida de la capacidad de resistencia.

3.8.11.1. ADOBE.

- A : Edificación en buenas condiciones, sin fisura alguna.
- B : Edificación sin fisuras pero cuyos componentes están levemente deteriorados.
- C : Edificación con fisuras y además cuyos componentes estructurales estén deteriorados.
- D : Muros con fuerte deterioro en sus componentes, hay presencia de agrietamientos producto de fallas por flexión, por momento y corte.

3.8.11.2. ALBAÑILERÍA.

- A : Muros en buena condición, sin fisuras visibles.
- B : Muros en buena condición pero con pequeñas fisuras, menores a dos (02) milímetros
- C : Edificación que no presenta fisuras pero en mal estado de conservación; o muros con fisuras de tamaño medio de dos a tres milímetros.
- D : Muros con fuerte deterioro en sus componentes.

3.8.11.3. CONCRETO ARMADO.

- A : Buen estado
- B : Ligeramente dañado.
- C : Mal estado de conservación.

Las calificaciones de cada uno de los 11 parámetros de cada tipología estructural se sintetizan en fichas de evaluación para cada caso. Con estas fichas se procedió a realizar la visita técnica a las edificaciones ingresando a la mayoría de ellas, para de esta manera poder evaluar cada parámetro correspondiente y determinar el índice de vulnerabilidad (IV). Los resultados se muestran en los mapas de vulnerabilidad por tipología, que se presentan en el anexo de planos.

En las edificaciones en las cuales no se pudo ingresar, se trató de registrar la mayor cantidad de datos posibles como tipología estructural, configuraciones en planta y elevación, diafragmas horizontales, elementos estructurales, estado de conservación, etc., para luego, de acuerdo a la similitud con otras edificaciones, en las cuales se tiene la ficha de evaluación completa, evaluar el índice de vulnerabilidad.

CAPÍTULO IV

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

4. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).

4.1 INTRODUCCIÓN.

Para justificar la importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el papel que estos juegan hoy en día, es habitual citar el hecho de que aproximadamente un 70 % de la información que manejamos en cualquier tipo de disciplina esta georreferenciada. Es decir, que se trata de información a la cual puede asignarse una posición geográfica, y es por tanto información que viene acompañada de otra información adicional relativa a su localización. Si bien es probable que este porcentaje haya variado, la situación es en la actualidad más favorable que nunca para el desarrollo de herramientas que permitan la utilización de toda esa información al tiempo que se consideran los datos relativos a su posición en el espacio. Esto es así no solo porque trabajamos con gran cantidad de información referenciada geográficamente, sino porque somos cada día más conscientes de la importancia que esa componente geográfica tiene. La geografía ha pasado de ser un ámbito particular con cierta relación con otros campos a ser un elemento fundamental incorporado a la mayor parte de las disciplinas. Y no solo en el terreno científico, sino en el terreno mismo de la vida diaria, donde toda esta información juega un papel de gran importancia. La utilización de cartografía ha dado un vuelco radical en el plazo de unas décadas, permitiendo nuevas posibilidades y acercando la información cartográfica como herramienta de primer orden a un público amplio y diverso. La elaboración misma de cartografía ha pasado de ser terreno exclusivo de profesionales del sector a ser una labor abierta donde las nuevas tecnologías, especialmente las de corte colaborativo, han permitido que otro tipo de usuarios desarrollen y compartan información cartográfica. En este sentido, los SIG no son solo herramientas dentro de ese contexto de gran importancia de la información geográfica, sino en gran medida responsables de que esa situación sea tal, pues su contribución dentro del panorama relativo a la geografía ha sido vital para impulsar esta y hacerla llegar hasta su lugar actual. En una sociedad donde la información y la tecnología son dos de los pilares fundamentales, los SIG son, sin lugar a dudas, la tecnología estandarte para el manejo de información geográfica, y los elementos básicos que canalizan la gestión de todo aquello que, de un modo u otro, presente una componente geográfica susceptible de ser aprovechada. Así, un SIG es fundamentalmente una herramienta para trabajar con información georreferenciada, una definición en la que pueden entrar un gran número de tecnologías.

4.2 DEFINICION DE SIG.

Sistema de información Geográfico SIG es un sistema de información que es utilizado para ingresar, almacenar, recuperar, manipular, analizar y obtener datos geo-referenciados geográficamente o datos geoespaciales, a fin de brindar apoyo en la toma de decisiones sobre planificación y manejo del uso del suelo, recursos naturales, medio ambiente, transporte, instalaciones urbanas y otros registros administrativos.

Según (Pinto Rodríguez, 210) un SIG se define también como una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica., así mismo podemos definir como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada

En un sentido más genérico, el SIG son herramientas que permiten a los usuarios a crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

Los principales sistemas informáticos (softwares) para SIG utilizados en la actualidad son ArcGis, ArcInfo, Arcview, GRASS, MapInfo, IDRISI, GéoConcept entre otros.

4.3 OBJETIVOS DEL SIG.

4.3.1 OBJETIVOS GENERALES:

4.3.1.1.El objetivo principal del SIG es poder representar en un sistema de información los diferentes elementos geográficos para la descripción, análisis, planificación y modelamiento de los sistemas territoriales simples y complejos, así como también para integrar información socioeconómica y la correspondiente toma de decisiones

4.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 4.3.1.2. Almacenamiento, manejo y manipulación de grandes volúmenes de datos espacialmente referenciados.
- 4.3.1.3. Proveer los medios para llevar a cabo análisis que implican, de manera específica, el componente de posición geográfica.
- 4.3.1.4. Localizar espacialmente los elementos geográficos y sus procesos.
- 4.3.1.5. Normalizar y estandarizar la recolección de datos.
- 4.3.1.6. Vinculación de diversas bases de datos
- 4.3.1.7. Permite el desarrollo y ejecución de modelos simples y complejos para la toma de decisiones.
- 4.3.1.8. Facilitar la presentación grafica de los resultados en mapas y reportes automatizados.
- 4.3.1.9. Organización y administración de los datos, de tal forma que la información sea fácilmente accesible a los usuarios.

4.4 IMPORTANCIA DEL SIG.

El SIG funciona como una base de datos geográfica (datos alfanuméricos) asociada a los objetos existentes en un mapa digital y dan respuesta a las consultas

interactivas analizando y relacionando diferentes tipos de información con una sola localización geográfica. Esto es, conectando mapas con bases de datos. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos, e inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando la posibilidad de relacionar la información existente para la obtención de resultados.

Las soluciones para muchos problemas frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que solo pueden ser relacionados por geografía o distribución espacial. Solo la tecnología SIG permite almacenar y manipular la información usando geográfica y para analizar patrones, relacionados, y tendencias en la información, todo tendiente a contribuir a tomar mejores decisiones.

4.5 COMPONENTES DE SIG.

Un SIG está formado por cinco componentes o elementos y cada uno de esos componentes cumplen con una función para que existan entre ellos una interacción.

Si bien los componentes difieren en niveles de complejidad, costos y plazos de implementación, todos son igualmente importantes y necesarios, es decir un SIG no es simplemente “computadoras y programas”, sino un sistema de información especializado con necesidades especiales que requieren, además de seleccionar e instalar computadoras y aplicativos, identificar e implementar procesos, diseñar y elaborar el modelo del espacio geográfico e involucrar y capacitar a los recursos humanos de las áreas donde dicho sistema funcionará.

Además de los componentes principales existen otros elementos que también intervienen en un SIG y que no pueden ser desconsiderados. Uno de ellos es la institución donde se implementará el sistema lo que significa considerar los aspectos legales, económicos, políticos y culturales que influirán en el diseño, desarrollo y operación del sistema.

Estos principales componentes del SIG lo constituyen: El hardware, el software, la información, los recursos humanos y las metodologías para resolver los problemas.

Figura (4.1). Principales componentes de un sistema de información geográfica.

En conjunto los componentes, de un SIG permiten representar de manera digital los datos geográficos (adquisición, codificación y almacenamiento), manejar de manera eficiente la codificación para editar, actualizar, manejar y almacenar los datos, brindarlos eficientemente para consultas complejas y crear formas de salida compatibles para e diferentes usuarios como puede ser con tablas ,gráficos, etc.

4.5.1 HARDWARE.

Este componente representa el soporte físico del SIG. Está conformado por las computadoras donde se desarrollan las distintas tareas de administración y operación del sistema, por los servidores donde se almacenan los datos y se ejecutan ciertos procesos, por los periféricos de entrada (como mesas digitalizadoras, scanner, dispositivos de lectura de archivos, etc.), los periféricos de salida (como los monitores, impresoras, plotter, etc.) y todos los componentes de la red informática.

4.5.2 SOFTWARE.

Este componente representa el soporte lógico del sistema. Está conformado no sólo por el software y las aplicaciones SIG, sino también por los sistemas operativos, los sistemas de administración de bases de datos (RDBMS), los lenguajes de programación necesarios para el mantenimiento y desarrollo de las aplicaciones y otros programas especializados, como para el procesamiento de imágenes satelitales, de dibujo (CAD), paquetes estadísticos, etc.

A nivel de software SIG, actualmente pueden encontrarse una gran variedad de productos, con distintos fines, capacidades, tipos de datos que pueden trabajar, simplicidad de operación y aprendizaje, niveles de costos, etc. Según los distintos usuarios del sistema, deberán definirse y adquirirse los software SIG adecuados para cada puesto de trabajo.

4.5.3 INFORMACIÓN

Queda representado físicamente por una base de datos almacenada en un servidor, en el caso de sistemas corporativos o por un conjunto de archivos almacenados en el puesto de trabajo, en el caso de SIG pequeños u orientados a un proyecto específico.

La base de datos contiene el conjunto de datos que representan (a través de un modelo) el espacio geográfico sobre el cual la organización actúa y se dirigen sus políticas y decisiones.

La base de datos queda conformada por elementos gráficos, que definen la geometría de los elementos geográficos y atributos, que son las características de dichos elementos. Los elementos gráficos quedan definidos por coordenadas que, a la vez que definen la forma y dimensiones, permiten ubicar desde un punto de vista absoluto (coordenadas geográficas o proyectivas en un sistema real) los elementos e identificar sus relaciones respecto de los demás elementos (topología).

Desde el usuario, la base de datos es visualizada como capas de información de distintas temáticas (calles, manzanas, ríos, usos del suelo, etc.) del espacio bajo análisis.

4.5.4 PERSONAL

Los recursos humanos que administrarán y utilizarán el SIG son otro componente del sistema, tan importante cuanto los demás. Sin embargo, la preparación de este componente no resulta tan sencilla como los componentes técnicos. Trabajar con los recursos humanos, conformar los equipos, producir cambios en sus hábitos de trabajo, brindar capacitación y obtener resultados en los procesos de trabajo, son tareas difíciles de llevar adelante y la importancia y esfuerzos que se dediquen en este sentido no deben ser subestimados.

Al diseñar e implementar un SIG, deben identificarse claramente los distintos roles de los recursos humanos clave. Además de los usuarios finales, normalmente es imprescindible la conformación de áreas que sirvan de soporte especializado al sistema, donde pueden encontrarse programadores, analistas de sistemas, administradores de bases de datos, especialistas en cartografía, etc.

La capacitación es el medio para gestionar adecuadamente los recursos humanos y obtener los cambios necesarios para su adecuado funcionamiento, debe ser vista como un “proceso” en el que se adquieren “nuevos conocimientos, habilidades y actitudes” y no simplemente como “cursos de operación” de aplicativos.

4.5.5 METODOLOGÍAS.

Las metodologías definen qué tareas, utilizando los datos y recursos tecnológicos, serán realizadas por el sistema. Definen el Qué del Sistema.

Una definición clara de las metodologías a ejecutar resulta imprescindible para una correcta identificación de las necesidades de software, aplicaciones, conformación de la base de datos, hardware y capacitación.

Figura (4.2). Principales Esquemización de la aplicación de la Metodología.

4.6 COMO TRABAJA UN SIG.

Un SIG almacena información real en capas temáticas, que pueden ser vinculadas junto con la geografía.

A cada objeto contenido en una categoría se le asigna un número único de identificación. Cada objeto está caracterizado por una localización (atributos gráficos con relación a unas coordenadas geográficas), y por un conjunto de descripciones (atributos no gráficos), relacionados por un modelo de datos. El análisis espacial de datos se realiza mediante numerosas operaciones (lógicas y matemáticas) ejecutadas por la SIG y entre ellas los procesos más comunes son la superación y la reclasificación de mapas.

4.7 CONCEPTOS GENERALES DE LOS DATOS GEOGRAFICOS.

Todos los SIG permiten representar el “mundo real” por medio de elementos característicos transformados en formato digital. Estos elementos del “mundo real”, se consideran datos espaciales o geográficos y se obtienen a partir de los mapas de la Tierra en dos y tres dimensiones.

FIGURA 4.4. Ejemplos de mapas planos y tridimensionales utilizados para obtener los elementos que se utilizan en un proyecto SIG.

Las características del Globo Terrestre desde un punto de vista geográfico (se utilizará Globo para identificar a la Tierra en tres dimensiones y Mapa para identificarla en dos).

La información geográfica contiene una referencia explícita, tal como una coordenada geográfica (longitud y latitud) o coordenada UTM(x, y), y una referencia de implícita tal como una dirección, código postal o nombres de extensión de censo. Estas referencias geográficas permiten ubicar aspectos del mundo real, tales como un bosque, ríos, ciudades, etc., y sucesos o eventos naturales, tales como un sismo o huracanes.

4.7.1 COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Las coordenadas geográficas se componen principalmente de dos ejes: los paralelos y los meridianos. Mientras los paralelos son aquellos que miden la latitud norte o sur, es decir, que se proyectan de manera horizontal sobre el total de la superficie del globo

terráqueo, los meridianos son todos los que se establecen de forma vertical sobre esa misma superficie, midiendo así la longitud este u oeste. Al combinar ambos elementos, podemos fácilmente trazar una red de líneas que se cruzan y que poseen una numeración específica de modo de poder ubicar específicamente cada espacio de la Tierra. Para representar el número real se utiliza un sistema de coordenadas en el cual, la localización de un elemento está dado por los valores de latitud y longitud en unidades de grados, minutos y segundos.

La latitud: es la distancia que existe entre un punto cualquiera y el **Ecuador**. El Ecuador se toma como línea de base, y le corresponde la Latitud de 0° . Todos los puntos que estén ubicados en el mismo paralelo, les corresponden la misma latitud. Todos aquellos que se encuentren al Sur del Ecuador, reciben la denominación **Sur (S)**, con **signo negativo**; y aquellos que se encuentren al Norte del Ecuador, reciben la denominación **Norte (N)**, con **signo positivo**, latitud varía de 0 a 90 grados en el hemisferio norte y de 0 a 90 grados en el hemisferio sur. La Latitud es **siempre menor a 90°** .

Figura (4.5). División de la tierra en meridianos y paralelos

La Longitud: es la distancia que existe entre un punto cualquiera y el **Meridiano de Greenwich**. El Meridiano de Greenwich se toma como la línea de base, y le corresponde la Longitud de 0° . Todos los puntos ubicados sobre el mismo meridiano, tienen la misma longitud. Aquellos puntos que se encuentren al Oriente del Meridiano de Greenwich, reciben la denominación **Este (E)**; y todos los puntos ubicados al Occidente del Meridiano de Greenwich, reciben la denominación **Oeste (W)**. La Longitud se mide desde los 0° a los 180° , La longitud varía de 0 a 180 grados en el hemisferio este y de 0 a 180 grados en el hemisferio oeste, mientras que **los polos Norte y Sur no tienen Longitud**,

Figura (4.6). División de la tierra en meridianos

4.7.2 COORDENADAS UTM

El sistema de coordenadas UTM o Universal transversal de Mercator, es un sistema de coordenadas basado en la proyección geográfica transversal de mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en lugar de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano. A Diferencia el sistema de coordenadas tradicional, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros. El sistema de coordenadas UTM, la tierra se divide en este a oeste en 60 husos (separados 6° y numerados del 1 al 60) y de sur a norte en 20 bandas (designadas por letra de la C a W, separados 8° y la X por 12°).

En el sistema UTM se realizan proyecciones sobre un cilindro transversal hipotético que gira alrededor del eje Norte-Sur. Debido a que la deformación

crece a medida que nos separamos del ecuador, la proyección queda limitada entre los paralelos: 84° N y 80° S y se completa con una proyección polar estereográfica para las regiones septentrionales del planeta (UPS).

Figura (4.7). Proyección de la tierra en coordenadas Universal transversal de Mercator - UTM.

4.7.3 PROYECCIÓN DE MAPAS

La proyección cartográfica o proyección geográfica es un sistema de representación gráfico que establece una relación ordenada entre los puntos de la superficie curva de la Tierra y los de una superficie plana (mapa). Estos puntos se localizan auxiliándose en una red de meridianos y paralelos, en forma de malla. La única forma de evitar las distorsiones de esta proyección sería usando un mapa esférico.

En un sistema de coordenadas proyectadas, los puntos se identifican por las coordenadas cartesianas (x e y) en una malla cuyo origen depende de los casos. Este tipo de coordenadas se obtienen matemáticamente a partir de las coordenadas geográficas (longitud y latitud), que no son proyectadas.

Las representaciones planas de la esfera terrestre se llaman mapas, y los encargados de elaborarlos o especialistas en cartografía se denominan cartógrafos.

Figura (4.8). Proyecciones Cartográficas

4.8 APLICACIONES EN EL ANALISIS DE VULNERABILIDA.

Los sistemas de información geográfica SIG han demostrado ser una herramienta valiosa para la administración, consulta, visualización y análisis de datos, y por ende para su aplicación en temas relacionados con la ingeniería civil. En el presente proyecto se están utilizando para fines solicitados, finalmente, esto solo ha permitido vislumbrar el amplio rango de aplicaciones que tiene los SIG.

Dentro de las ventajas que se presenta el SIG en las aplicaciones esta la discretización de la información en sistemas de pequeñas unidades que pueden almacenarse en una base datos divididas en dos temas principales: por una parte la información referente a la ubicación o localización georreferenciada de los elementos de estudio, y por la otra, la información descriptiva de los mismos. Es decir, por una parte en forma geométrica se representan los elementos, que se pueden describir por medio de diferentes temas, por ejemplo un elemento geométrico georreferencial que representan una ciudad puede estar acompañado de información en forma tubular como el uso de suelo, tamaño de la población, geología, topografía, etc., relacionados por un indicador común.

La capacidad del SIG para obtener y representar los resultados de los análisis y mapas temáticos resulta fundamental en cualquier estudio geográfico, en especial en los

estudios de riesgo y vulnerabilidad sísmica. Estos mapas permiten mostrar los posibles escenarios de daños de la zona de estudio, con la cual se pueden estimar localizaciones y regiones con riesgo sísmico más alto, sitios con efectos locales de los suelos más marcados, estructuras más vulnerables, Estimaciones de pérdida más esperadas, dando una idea global del problema y sentando las bases para dar soluciones al mismo, mediante planes de mitigación de vulnerabilidad sísmica.

Por desarrollarse dentro de un marco multidisciplinario, **las aplicaciones de los SIG** son importantes para determinar con ventajas comparativas y competitivas los espacios geoeconómicos.

Al respecto los SIG sirven para realizar una serie de acciones en el campo profesional.

- a) Planificar y optimizar la gestión de una institución.
- b) Promover el desarrollo sostenible integral y/o sectorial de una región.
- c) Optimizar y modernizar el ordenamiento urbano de la localidad.
- d) Preservar el medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales.
- e) Obtener con precisión y calidad mapas relativos a las distintas áreas económicas y sociales.
- f) Realizar estudios y planeamientos para la reducción de desastres.

4.9 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN UN SIG

Los SIG tienen la mecánica de organizar los elementos geométricos en grupos de la misma clase, es decir aquello que estos elementos u objetos geométricos están representando, un polígono puede representarse un lote de terreno, y un conjunto de polígonos un grupo de lotes, por lo tanto es válido considerar que son de la clase "lotes de terrenos". Y podremos tener diferentes clases de elementos, como puntos que son "sitios de interés", líneas o cadenas de líneas que son "Arroyos", polígonos irregulares y complejos que son "Distritos" o "Reservas ecológicas", etc.

Tema.- se le denomina así a cada clase de los elementos geométricos que representan objetos afines geográficamente.

Rasgo:(Feature).- A cada uno de los objetos contenidos en un tema se le denomina Rasgos, Facción o "Feature", es decir un tema es un grupo de rasgos.

Atributos.- Son los diferentes parámetros asociados a los rasgos y que los describen de acuerdo a lo que persigue el tema, pueden ser nombre, cantidades, fechas, (SI/NO). La relación entre informaciones gráfica y tabular de la base de datos se logra mediante un atributo de unión al que se le asigna un objeto identificador al interior de una categoría o cobertura. Este identificador posee dos componentes, uno es gráfico y el otro no lo es. Al componente gráfico se le otorga un código y se da el mismo código al componente alfanumérico. Esta relación se efectúa en el software.

4.10 FORMAS DE ALMACENAMIENTO.

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial.

Los SIG que se centran en el manejo de datos en formato vectorial son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos; también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.)

4.10.1 MODELO RASTER:

Un tipo de datos raster es, en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Se trata de un modelo de datos muy adecuado para la representación de variables continuas en el espacio.

Cualquiera que esté familiarizado con la fotografía digital reconoce el píxel como la unidad menor de información de una imagen. Una combinación de estos píxeles creará una imagen, a distinción del uso común de gráficos vectoriales escalables que son la base del modelo vectorial. Si bien una imagen digital se refiere a la salida como una representación de la realidad, en una fotografía o el arte transferidos a la computadora, el tipo de datos raster reflejará una abstracción de la realidad. Las fotografías aéreas son una forma de datos raster utilizada comúnmente con un sólo propósito: mostrar una imagen detallada de un mapa base sobre la que se realizarán labores de digitalización. Otros conjuntos de datos raster podrán contener información referente a las elevaciones del terreno (un Modelo Digital del Terreno), o de la reflexión de la luz de una particular longitud de onda ,entre otros.

Los datos raster se compone de filas y columnas de celdas, cada celda almacena un valor único. Los datos raster pueden ser imágenes (imágenes raster), con un valor de color en cada celda (o píxel). Otros valores registrados para cada celda puede ser un valor discreto, como el uso del suelo, valores continuos, como temperaturas, o un valor nulosi no se dispone de datos. Si bien una trama de celdas almacena un valor único, estas pueden ampliarse mediante el uso de las bandas del raster para representar los colores RGB (rojo, verde, azul), o una tabla extendida de atributos con una fila para cada valor único de células. La resolución del conjunto de datos raster es el ancho de la celda en unidades sobre el terreno.

Los datos raster se almacenan en diferentes formatos, desde un archivo estándar basado en la estructura de TIFF, JPEG, etc. a grandes objetos binarios (BLOB), los datos almacenados directamente en Sistema de gestión de base de datos. El almacenamiento

en bases de datos, cuando se indexan, por lo general permiten una rápida recuperación de los datos raster, pero a costa de requerir el almacenamiento de millones de registros con un importante tamaño de memoria. En un modelo raster cuantos mayores sean las dimensiones de las celdas menores es la precisión o detalle (resolución) de la representación del espacio geográfico.

4.10.2 MODELO VECTORIAL:

En un SIG, las características geográficas se expresan con frecuencia como vectores, manteniendo las características geométricas de las figuras.

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de la localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Cada una de estas geometrías está vinculada a una fila en una base de datos que describe sus atributos. Por ejemplo, una base de datos que describe los lagos puede contener datos sobre la batimetría de estos, la calidad del agua o el nivel de contaminación. Esta información puede ser utilizada para crear un mapa que describa un atributo particular contenido en la base de datos. Los lagos pueden tener un rango de colores en función del nivel de contaminación. Además, las diferentes geometrías de los elementos también pueden ser comparadas. Así, por ejemplo, el SIG puede ser usado para identificar aquellos pozos (geometría de puntos) que están en torno a 2 kilómetros de un lago (geometría de polígonos) y que tienen un alto nivel de contaminación.

Los elementos vectoriales pueden crearse respetando una integridad territorial a través de la aplicación de unas normas topológicas tales como que "los polígonos no deben superponerse". Los datos vectoriales se pueden utilizar para representar variaciones continuas de fenómenos. Las líneas de contorno y las redes irregulares de triángulos (TIN) se utilizan para representar la altitud u otros valores en continua evolución. Los TIN son registros de valores en un punto localizado, que están conectados por líneas para formar una malla irregular de triángulos. La cara de los triángulos representa, por ejemplo, la superficie del terreno.

Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono.

Figura (4.11). Modelo Vectorial, representado puntos, líneas y polígonos

4.11 ELEMENTOS GEOMETRICOS.

Los datos geométricos o datos espaciales permiten modelar los elementos del mundo

Real cuya posición es única en un sistema de coordenadas específico.

Las formas más usadas para modelar los elementos del mundo real son **los puntos, líneas y polígonos** en su representación más básica (Figura 4.8), y superficies continuas, parrillas, etc., para modelos más complejos.

4.11.1 Puntos.- Los puntos se utilizan para las entidades geográficas que mejor pueden ser expresadas por un único punto de referencia. En otras palabras: la simple ubicación. Por ejemplo, las localizaciones de los pozos, picos de elevaciones o puntos de interés. Los puntos transmiten la menor cantidad de información de estos tipos de archivo y no son posibles las mediciones. También se pueden utilizar para representar zonas a una escala pequeña. Por ejemplo, las ciudades en un mapa del mundo estarán representadas por puntos en lugar de polígonos

4.11.2 Líneas o polilíneas.- Las líneas unidimensionales o polilíneas son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos, ferrocarriles, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel. De igual forma que en las entidades puntuales, en pequeñas escalas pueden ser utilizados para representar polígonos. En los elementos lineales puede medirse la distancia

4.11.3 Polígonos.- Los polígonos bidimensionales se utilizan para representar elementos geográficos que cubren un área particular de la superficie de la tierra. Estas entidades pueden representar lagos, límites de parques naturales, edificios, provincias, o los usos del suelo, por ejemplo. Los polígonos transmiten la mayor cantidad de información en archivos con datos vectoriales y en ellos se pueden medir el perímetro y el área.

4.12 ARC GIS.

ArcGIS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG, bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.

El programa ArcGIS es una herramienta de manejo sencillo con una interfaz gráfica de usuario que posibilita cargar con facilidad datos espaciales y tabulares para ser mostrados en forma de mapas, tablas y gráficos.

ArcGIS también provee las herramientas necesarias para consultar y analizar los datos y presentar los resultados como mapas con calidad de presentación. ArcGIS puede ser utilizado a través de tres productos: ArcView, ArcEDITOR y ArcINFO, sus funcionalidades se incrementan en ese mismo orden, además permite acceder a datos y recursos disponibles a través de servicios de ArcIMS en internet o almacenados en base de datos ArcSDE.

Sus partes claves del Arc Gis son los siguientes:

- a) El software ArcGis Desktop es un conjunto integrado de aplicaciones SIG avanzadas.

- b) El ArcDE Gateway es un interfaz para administrarlas geodatabase (forma corta para base de datos geográfica) en un sistema de administración de bases de datos (DBMS).
- c) El software ArcIMS es un SIG orientado al internet para distribuir datos y servicios.

4.12.1 ARCMAP.

ArcMap es la aplicación central de **ArcGIS Desktop**. Es la aplicación SIG usada para todas las actividades basadas en mapeo, incluyendo cartografía, análisis de mapas y edición. En esta aplicación usted trabaja con mapas. Los mapas tienen un diseño de página que contiene una ventana geográfica, o una vista con una serie de capas, leyendas barras de escalas, flechas indicando el norte y otros elementos.

Permite realizar mapas a partir de capas o datos espaciales, elegir colores y simbología interrogar a las bases de datos, analizar relaciones espaciales y diseñar mapas o salidas impresas.

Figura (4.12). El ArcMap se utiliza para todas las tareas de mapeo y edición así como para análisis basados en mapas.

4.12.2 ARC CATALOG:

La aplicación ArcCatalog le ayuda a organizar y administrar sus datos SIG. Incluye herramientas para explorar y encontrar información geográfica, para grabar y ver metadatos, para una rápida visión de cualquier conjunto de

datos y para definir la estructura del esquema de sus capas de datos geográficos.

Las operaciones básicas con el Arc Catalog son:

- a) Formatos de datos
- b) Formatos de datos para las capas
- c) Formatos de datos de imagen
- d) Formatos de datos tubulares.

4.12.3 ARC TOOLBOX

Arc toolbox es una aplicación sencilla que contiene muchas herramientas SIG usadas para el geoprocesamiento.

Permite convertir los datos espaciales de un formato a otro, así como introducir un sistema de referencia o cambiar proyecciones de los datos. La aplicación Arc Toolbox en ArcGIS, es una versión reducida.

En la versión ArcInfo están incluidas varias herramientas de análisis, así como de estructuración topológica y tratamiento de datos. En algunos casos dispone de un asistente que te ayuda a realizar una operación paso a paso.

FIGURA 4.13. ArcToolbox para ArcInfo viene con un completo conjunto de herramientas para el geoprocesamiento, la conversión de datos, la administración de hojas me mapa, el análisis de coberturas, la proyección de, mapas y oros.

4.12.4 TRABAJANDO CON LAS TRES PARTES:

ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox han sido diseñadas para trabajar juntas con el fin de desempeñar todas las actividades SIG. Por ejemplo, usted puede buscar y encontrar un documento mapa en ArcCatalog, luego abrirlo en Arc Map haciendo un doble clic en el catálogo. Usted puede luego editar y mejorar sus datos usando las herramientas disponibles en el ambiente de edición de ArcMap. Usted puede buscar datos de otro sitio a través de las conexiones de bases de ArcCatalog.

Una vez haya encontrado los datos en los que está interesado, puede arrastrarlos y dejarlos como una capa en ArcMap. También puede arrastrar y dejar datos de ArcCatalog sobre las herramientas en ArcToolbox; use las herramientas de ArToolbox para la conversión de datos, proyección y análisis.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DE ESCENARIO DE DAÑOS EN LA CIUDAD DE SAN JOSE.

5. EVALUACIÓN DE ESCENARIO DE DAÑOS EN LA CIUDAD DE SAN JOSÉ.

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrollará el estudio de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del distrito de Ciudad San José, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque. Se define los conceptos utilizados y se describe la metodología empleada, presentando por último los resultados obtenidos.

La metodología Aplicando Índices de Vulnerabilidad (Benedetti- Petrini) permite evaluar la calidad estructural de los edificios mediante la calificación de 11 parámetros. Sin embargo, al realizar un estudio a nivel urbano donde se consideran miles de edificaciones, la información requerida puede ser muy amplia, ocasionando inevitablemente que algún dato sea muy difícil de obtener, caso en el cual se puede deducir a partir de estudios estadísticos realizados en trabajos anteriores.

5.2 CALCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

Los índices de vulnerabilidad de las edificaciones del distrito de Ciudad San José se calcularon aplicando dos ecuaciones: una para las edificaciones de adobe y albañilería, y otra para los edificios de concreto armado.

A. ECUACIÓN UTILIZADA PARA EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA (ADOBE Y LADRILLO DE ARCILLA)

.....Ec. (5.1).

Donde:

I_v = Índice de vulnerabilidad.

W_i = Coeficiente de peso.

K_i = Valor numérico por clase.

B. ECUACIÓN UTILIZADA PARA EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO.

.....Ec. (5.2).

Donde:

I_v = Índice de vulnerabilidad.

W_i = Coeficiente de peso.

K_i = Valor numérico por clase+

5.2.1 TIPOS DE CONSTRUCCIONES:

Dentro del área de estudio hemos encontrados tres tipos de construcciones que son las siguientes:

5.2.1.1 CONSTRUCCIONES DE ADOBE

El Adobe es un material es un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos, es un material de construcción común en el Perú , la mayoría de las casas que usan este material no están preparadas para resistir terremotos.

El adobe es un material de construcción de bajo costo y de fácil accesibilidad que es elaborado por comunidades locales. Las estructuras de adobe son generalmente autoconstruídas, porque la técnica constructiva tradicional es simple y no requiere consumo adicional de energía. Profesionales calificados (ingenieros y arquitectos) generalmente no están involucrados con este tipo de construcción.

Las construcciones de adobe, además de su tecnología constructiva simple y de bajo costo, tienen otras ventajas, tales como sus propiedades térmicas y acústicas. Sin embargo, son vulnerables a los efectos de terremotos, lluvias e inundaciones. La construcción tradicional de adobe ofrece una respuesta deficiente ante los sismos, sufriendo daños estructurales severos, o llegando al colapso, según la intensidad del movimiento, ocasionando pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños materiales. El inadecuado comportamiento sísmico se debe al elevado peso del material, su baja resistencia, y su naturaleza frágil. Daño material e innumerables pérdidas humanas se han producido durante terremotos severos, en áreas donde se ha usado este material, debido a su gran peso, estas estructuras desarrollan niveles elevados de fuerza sísmica, que son incapaces de resistir y por ello fallan violentamente.

La mayoría de viviendas encontradas en el área de estudio, no cumplen con la norma E-080, por lo que tienen un comportamiento sísmico deficiente ante la eventualidad de un sismo, sufriendo daños estructurales severos, o llegando al colapso, según la intensidad del movimiento.

5.2.1.2 CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA

El sistema estructural que más se utiliza en el Perú y Sudamérica para la construcción de viviendas en zonas urbanas es la denominada albañilería de ladrillos de arcilla, y son aquellas estructuras que están constituidas predominantemente por muros portantes de albañilería, más del 43% de las viviendas son construidas con este sistema estructural, debido a los sismos muchas viviendas de albañilería sufrieron daño. La principal fuente de este daño es la no existencia de un control de calidad adecuado durante la etapa constructiva y una deficiente configuración estructural. El construir una vivienda sin seguir las normas de diseño sísmico y las normas de diseño de albañilería puede producir daño estructural

Son las de mayor número en el sector en estudio, y ante la eventualidad de un sismo puede fallar debido a que no se tiene un control en el proceso constructivo y no se sigue de acuerdo a la norma de diseño sísmico y de albañilería.

5.2.1.3 CONSTRUCCIONES DE CONCRETO ARMADO.

Estas edificaciones se identifican por las mayores dimensiones de vigas y columnas, en comparación a los elementos de confinamiento de las edificaciones de albañilería. También por la separación existente entre pórticos y tabiques, para lo cual se consideran juntas. Los pórticos están conformados por vigas y columnas, Son las edificaciones cuyo sistema resistente son vigas, columnas, muros de concreto armado. Son flexibles ante la acción de las fuerzas de inercia horizontales generadas por los movimientos sísmicos. Si son bien diseñados y bien construidos pueden alcanzar gran ductilidad. El concreto armado, es un material compuesto por concreto y barras de acero corrugado. Es muy utilizado en todo el mundo debido a las grandes ventajas que posee, entre ellas la disponibilidad de sus componentes (piedra, arena, agua, cemento y acero) y de la mano de obra. Las ventajas de este material en las estructuras sismo resistente son:

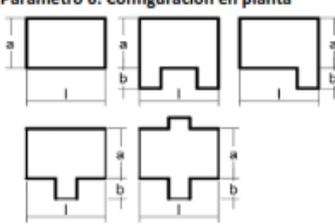
- a) Adaptabilidad para conseguir diversas formas arquitectónicas.
- b) Posibilidad de conseguir ductilidad, resistencia y rigidez.
- c) Factibilidad para lograr diafragmas rígidos horizontales.
- d) Capacidad resistente a los esfuerzos de compresión, flexión, corte y tracción.
- e) Durabilidad.
- f) Monolitismo entre losas, vigas y columnas.

Las desventajas de este material están asociadas al peso de los elementos que se requieren en las edificaciones por su gran altura. Asimismo, elementos arquitectónicos (no estructurales) como cornisas, tabiques, o muebles pueden ser cargas gravitatorias importantes y además, aumentan la fuerza sísmica por su gran masa. También, su adaptabilidad al logro de formas diversas ha traído como consecuencia, configuraciones arquitectónicas muy modernas e impactantes, pero con deficiente comportamiento sísmico. Los concretos pueden tener diferentes resistencias a la compresión. La resistencia mínima recomendable por la NTE- 060 para estructuras sismo resistente es de 210 kg/cm².

Son las de menor número en el sector en estudio.

5.3 RESULTADOS DE LOS 11 PARAMETROS POR CLASE Y TIPOLOGIA ESTRUCTURAL

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA
MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD
FICHA DE EVALUACIÓN PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

DATOS REFERENCIALES	PARÁMETRO	CLASE	ELEMENTO DE EVALUACIÓN
Fecha:..... Ubicación:..... Manzana:..... Lote:..... Uso actual:..... N° de pisos.....	1	TIPO Y ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE	Completar y marcar según lo observado Año de construcción: Asesoría técnica <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
	2	CALIDAD DEL S.R.	Marcar según lo observado Estado de materiales <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Malo Proceso Constructivo <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Deficiente
	3	RESISTENCIA CONVENCIONAL	Especificar según lo observado: N: Número de pisos:..... Ax: Área de muros en X (m ²)..... Ay: Área de muros en Y (m ²)..... h: Altura promedio de entrepiso (m)..... Ps: Peso del sistema resistente (ton/m ²)..... Ac: Área cubierta (m ²)..... Pc: Peso de cubierta (ton/m ²).....
Parámetro 6. Configuración en planta 	4	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACIÓN	Marcar según lo observado Presencia de sales <input type="checkbox"/> Presencia de filtraciones <input type="checkbox"/>
	5	DIAFRAGMAS HORIZONTALES	Marcar según lo observado Discontinuidades abruptas <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Buena conexión diafragma-elemento vertical <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Deflexión del diafragma <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
	6	CONFIGURACIÓN EN PLANTA	Especificar y marcar según lo observado: a:..... b:..... L:.....

Entonces al llenar los formatos mostrados según cada tipología, a continuación presentamos los resultados.

5.3.1 PARÁMETRO 01: TIPO Y ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

La evaluación de este parámetro ha sido en base al año de construcción de la edificación y visualización de elementos resistentes, así como su proceso constructivo. Además, se hace un especial énfasis en el uso de una norma sismorresistente para la construcción del edificio.

Tabla (5.4). Resultados del parámetro 1 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	3	1.71%	358	20.02%	13	81.25%
B	41	23.43%	916	51.23%	3	18.75%
C	39	22.29%	500	27.96%	0	0.00%
D	92	52.57%	14	0.78%	0	0.00%
TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total 92 (52.57%), se ha calificado con la letra D, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe son construidas sin asesoría técnica, no cuenta con confinamiento en las esquinas ni en la longitud de sus muros.

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de 916 (51.23%), se ha calificado con la letra B, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería presenta vigas y columnas que confinan solo parcialmente los muros portantes debido a deficiencias en el proceso constructivo.

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de 13 (81.25%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de concreto, se han construido en años mayores a 1997, con asesoría técnica.

Para llegar a estos resultados, veremos algunas fotos de viviendas, su descripción y su calificación dada.





5.3.2 PARÁMETRO 02: CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

La evaluación de este parámetro ha sido en función de dos factores: Primero, el tipo de material y la forma de los elementos que constituyen la mampostería. Segundo, la homogeneidad del material y de las piezas por toda el área del muro.

Tabla (5.5). Resultados del parámetro 2 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	6	3.43%	498	27.85%	12	75.00%
B	18	10.29%	842	47.09%	4	25.00%

C	97	55.43%	433	24.22%	0	0.00%
D	54	30.86%	15	0.84%	0	
TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de 97 (55.43 %), se ha calificado con la letra C, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe son construidas con adobe de mala calidad y resistencia, no tiene buen amarre entre las unidades de adobe.

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de 842 (47.09%), se ha Calificado con la letra B esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería presenta vigas y columnas que confinan solo parcialmente los muros portantes debido a deficiencias en el proceso constructivo.

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de 12 (75.00%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de concreto, se han construido en años mayores a 1997, con buenos materiales y buen proceso constructivo.

Para llegar a estos resultados, veremos algunas fotos de viviendas, su descripción y su calificación dada.





5.3.3 PARÁMETRO 03: RESISTENCIA CONVENCIONAL.

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

La asignación de las clases A, B, C, D en este parámetro estuvo en medida del nivel de resistencia de una edificación y la probable fuerza a la que está sometida la misma.

Tabla (5.6). Resultados del parámetro 3 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	0	0.00%	912	51.01%	6	37.50%
B	1	0.57%	773	43.23%	10	62.50%
C	6	3.43%	56	3.13%	0	0.00%
D	168	96.00%	47	2.63%	0	

TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%
--------------	------------	-------------	-------------	-------------	-----------	-------------

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de **168** (96.00%), se ha calificado con la letra D, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe al analizarlas obtuvieron un $DD \geq 1,5$.

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de **912** (51.01%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería al analizarlas obtuvieron un $DD \geq 0,5$.

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de **10** (62.50%), se ha calificado con la letra B, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de concreto, al analizarlas obtuvieron un ϕ entre 0,6 y 1,2.

A continuación, se muestran algunas de las viviendas estudiadas:





5.3.4 PARÁMETRO 04: POSICIÓN DEL EDIFICIO Y CIMENTACIÓN.

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

La asignación de las clases A, B, C, D en este parámetro ha sido en base a la visualización en campo de los elementos resistentes, a la aplicación de la norma de diseño sismorresistente vigente.

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, la presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén, presencia de humedad, sales, etc.

Tabla (5.7). Resultados del parámetro 4 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
B	51	29.14%	1031	57.66%	15	93.75%

C	80	45.71%	709	39.65%	1	6.25%
D	44	25.14%	48	2.68%	0	
TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de **80** (45.71%), se ha calificado con la letra C, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe, están cimentadas sin proyecto aprobado ni asesoría técnica, además tiene presencia de humedad por filtraciones de precipitaciones pluviales.

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de **1031** (57.66%), se ha calificado con la letra B, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería, están cimentadas sobre suelo intermedio y flexibles sin presencia de sales y humedad.

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de **15** (93.75%), se ha calificado con la letra B, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de concreto, están cimentadas sobre suelo intermedio y flexible, según la norma de diseño sismorresistente.

A continuación, se muestran algunas de las viviendas estudiadas:





5.3.5 PARÁMETRO 05: DIAFRAGMAS HORIZONTALES.

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

La calidad de los diafragmas tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. El que el diafragma funcione como tal, permitirá que la fuerza sísmica se distribuya en cada nivel proporcional a los elementos resistentes.

La ejecución de un proyecto sin planos aprobados hace que se observen deficiencias ocasionadas por la mala práctica constructiva.

Tabla (5.8). Resultados del parámetro 5 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	5	2.86%	922	51.57%	14	87.50%
B	7	4.00%	275	15.38%	2	12.50%

C	27	15.43%	26	1.45%	0	0.00%
D	136	77.71%	565	31.60%	0	
TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de **136** (77.71%), se ha calificado con la letra D, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe, no tienen diafragma y están cubierta con eternit.

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de **922** (51.57%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería, cumplen las siguientes condiciones: Ausencia de planos a desnivel, deformación del diafragma despreciable, la conexión entre el diafragma y el muro es eficaz.

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de **14** (88.89%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de concreto, satisfacen las condiciones: Ausencia de planos a desnivel, deformación del diafragma despreciable, la conexión entre el diafragma y el muro es eficaz.

A continuación, se muestran algunas de las viviendas estudiadas:





5.3.6 PARÁMETRO 06: CONFIGURACIÓN EN PLANTA.

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

El parámetro evalúa la condición de simetría en planta de los edificaciones, proponiendo los valores más altos del parámetro cuando las dimensiones en planta se asemejan a secciones cuadradas, sin protuberancias adicionales y castigando las secciones excesivamente alargadas o con protuberancias demasiado grandes, las cuales pueden provocar problemas de torsión en planta y concentraciones de esfuerzos en las esquinas y en los elementos más alejados de los centros de gravedad y de rigidez.

Tabla (5.9). Resultados del parámetro 6 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	164	93.71%	1702	95.19%	16	100.00%
B	6	3.43%	68	3.80%	0	0.00%
C	4	2.29%	12	0.67%	0	0.00%
D	1	0.57%	6	0.34%	0	

TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%
--------------	------------	-------------	-------------	-------------	-----------	-------------

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de **164** (93.71%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe, están en el rango $0.1 < IR \leq 0.5$.

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de **1702** (95.19%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería, están en el rango $0.1 < IR \leq 0.5$.

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de **16** (100%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de concreto, están en el rango de $0.25 < IR \leq 0.75$.

A continuación, se muestran algunas de las viviendas estudiadas:





5.3.7 PARÁMETRO 07: CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN.

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

La asignación de las clases A, B, C y D en este parámetro ha sido en base a la inadecuada configuración en elevación que conlleva a problemas como el piso blando, el cual se produce cuando hay un cambio brusco de rigidez entre pisos consecutivos. También se encuentra que elementos que conforman parte del sistema resistente no son continuos en toda la altura de la edificación.

Tabla (5.10). Resultados del parámetro 7 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	171	97.71%	1752	97.99%	15	93.75%
B	1	0.57%	23	1.29%	1	6.25%
C	2	1.14%	6	0.34%	0	0.00%

D	1	0.57%	7	0.39%		
TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de **171** (97.71%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe, no presenta irregularidad en elevación, con un $DA/A \leq 10\%$.

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de **1752** (97.99%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería, no presenta irregularidad en elevación, con un $DA/A \leq 10\%$.

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de **15** (93.75%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de concreto, no presenta irregularidad en elevación con un $RL > 0,66$.

Para llegar a estos resultados, veremos algunas fotos de viviendas, su descripción y su calificación dada.





5.3.8 PARÁMETRO 08: DISTANCIA MÁXIMA ENTRE ELEMENTOS RESISTENTES.

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

Se evaluó en base a la distancia máxima entre muros para edificaciones de adobe y albañilería. En el caso de concreto armado, en base a la distancia máxima entre columnas.

Tabla (5.11). Resultados del parámetro 8 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	0	0.00%	34	1.90%	13	81.25%
B	0	0.00%	51	2.85%	2	12.50%
C	31	17.71%	751	42.00%	1	6.25%
D	144	82.29%	952	53.24%	0	
TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de **144** (82.29%), se ha calificado con la letra D, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe, presentan una separación de muros inadecuada, donde L (separación entre muros), S (espesor de muro) y el valor $L/S \geq 7,8$

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de **952** (53.24%), se ha calificado con la letra D, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería, presentan una separación entre muros o columnas inadecuada, donde $18 \leq L/S < 25$

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de **13** (81.25%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de concreto, se han construido en años mayores a 1997, con buenos materiales y con asistencia técnica.

Para llegar a estos resultados, veremos algunas fotos de viviendas, su descripción y su calificación dada.





5.3.9 PARÁMETRO 09: TIPO DE CUBIERTA

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

En este parámetro se clasificaron los diferentes tipos de cubierta encontrados según la capacidad que tengan para resistir la fuerza sísmica. Cuando estas cubiertas no son lo suficientemente estables, fallaran, y los muros sobre los que se apoya actuaran en voladizo, siendo vulnerable ante acciones perpendiculares a su plano.

En el caso de los edificios de mampostería la influencia del tipo de cubierta en el comportamiento sísmico de un edificio es muy importante. Factores como su tipología y peso determinan dicho comportamiento. La evaluación de parámetro se realiza utilizando el campo correspondiente a la edad de los edificios y el material utilizado en la construcción de la cubierta.

Tabla (5.12). Resultados del parámetro 9 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE	ALBAÑILERÍA	CONC.ARMADO
-------	-------	-------------	-------------

	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	21	12.00%	995	55.65%	16	100.00%
B	91	52.00%	641	35.85%	0	0.00%
C	57	32.57%	81	4.53%	0	0.00%
D	6	3.43%	71	3.97%	0	
TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de **91** (52.00%), se ha calificado con la letra B, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe, tienen cubierta inestable en malas condiciones.

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de **995** (55.65%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería, tienen cubierta estable debidamente amarrada a los muros, de material liviano y plana.

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de **16** (100.00%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de concreto, tienen cubierta estable debidamente amarrada a las vigas, de material liviano y plana.

Para llegar a estos resultados, veremos algunas fotos de viviendas, su descripción y su calificación dada.





5.3.10 PARÁMETRO 10: ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

Este parámetro considera elementos que no tienen función estructural, pero cuyo desplome representa un peligro.

Se intenta tener en cuenta el efecto de los elementos que no forman parte del esquema estructural resistente, tales como cornisas, parapetos, balcones o cualquier elemento que sobresalga de la estructura y cuya caída pueda provocar víctimas.

Tabla (5.13). Resultados del parámetro 10 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	160	91.43%	913	51.06%	14	87.50%
B	5	2.86%	634	35.46%	2	12.50%
C	5	2.86%	231	12.92%	0	0.00%

D	5	2.86%	10	0.56%	0	
TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de **160** (91.43%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe, no contenga elementos no estructurales mal conectados al sistema resistente.

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de **913** (51.06%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería, no tienen elementos no estructurales mal conectados al sistema resistente, pero también debemos ver que en segundo lugar está la calificación B con una buena cantidad que nos dice que 634 viviendas tienen balcones y parapetos bien conectados al sistema resistente.

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de **14** (87.50%), se ha calificado con la letra A, no tienen elementos no estructurales mal conectados al sistema resistente.

Para llegar a estos resultados, veremos algunas fotos de viviendas, su descripción y su calificación dada.





5.3.11 PARÁMETRO 11: ESTADO DE CONSERVACIÓN

En la siguiente tabla se presentamos la cantidad y porcentaje de las viviendas en estudio según su tipología y calificación dada A, B, C, y D.

La antigüedad de las edificaciones produce el deterioro de las propiedades mecánicas de sus materiales, haciendo que en caso de un terremoto su capacidad de soportarlo sea mínima.

Tabla (5.14). Resultados del parámetro 11 para las edificaciones evaluadas de adobe, albañilería y concreto armado.

CLASE	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
A	18	10.29%	906	50.67%	13	81.25%
B	49	28.00%	657	36.74%	2	12.50%
C	83	47.43%	212	11.86%	1	6.25%
D	25	14.29%	13	0.73%	0	
TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%

De acuerdo a los resultados podemos observar:

Que la mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de **83** (47.43%), se ha calificado con la letra C, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de adobe, presentan muros con fuerte deterioro de sus componentes, y presencia de agrietamientos.

La mayor cantidad de viviendas de albañilería, con un total de **906** (50.67%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de albañilería, tienen muros en buena condición sin fisuras visibles.

La mayor cantidad de viviendas de concreto, con un total de **13** (81.253%), se ha calificado con la letra A, esto quiere decir que la mayoría de viviendas de concreto, están en buen estado.

Para llegar a estos resultados, se muestra una de las viviendas evaluadas.





5.4 RESULTADOS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD

Después de haber evaluado el índice de vulnerabilidad (IV) para cada edificación, el cual varía entre los valores de 0 a 382.5 para albañilería y de 0 a 94.12 para concreto armado según la metodología propuesta, se procede a normalizar el Índice de Vulnerabilidad (IVn), en un rango de 0 a 100, para ello utilizaremos las siguientes formulas:

Para el cálculo del índice de vulnerabilidad de las edificaciones de adobe y albañilería se utiliza la siguiente ecuación:

..... Ec. (5.7).

Donde:

Ivn = Índice de Vulnerabilidad Normalizado.

Iv= Índice de vulnerabilidad

Para el cálculo del índice de vulnerabilidad de las edificaciones de concreto armado se utiliza la siguiente ecuación:

..... Ec. (5.8).

Donde:

Ivn = Índice de Vulnerabilidad Normalizado.

Iv= Índice de vulnerabilidad

Luego de encontrar el índice de vulnerabilidad normalizado que está en un rango de 0 a 100, lo clasificamos en los siguientes rangos de vulnerabilidad

- A. Baja Vulnerabilidad $0 \leq IVn < 20$
- B. Media Vulnerabilidad $20 \leq IVn < 40$
- C. Alta Vulnerabilidad $40 \leq IVn \leq 100$

Los rangos de vulnerabilidad se tomaron como referencia de Quispe (2004). En este estudio se evaluaron 1979 edificaciones, de las cuales 175 son de adobe (8.84%), 1788 son de albañilería (90.35%), y 16 son de concreto armado (0.81%).

Los resultados en detalle de la vulnerabilidad de cada tipología se muestran en los siguientes cuadros.

5.4.1 RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD: EDIFICACIONES DE ADOBE.

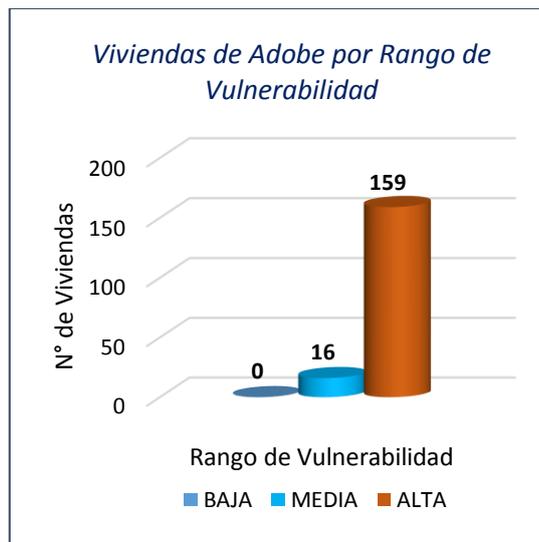


Gráfico (5.2). Se puede observar que casi la totalidad de edificaciones de adobe presentan una vulnerabilidad alta, una de sus características es que estas edificaciones se han construido sin asesoramiento técnico y sus componentes están deteriorados por el tiempo de construcción, se sabe que el adobe por su gran peso atrae considerable fuerza sísmica, la cual no puede resistir por ser un material que se comporta frágilmente ante movimientos horizontales.

5.4.2 RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD: ALBAÑILERÍA.

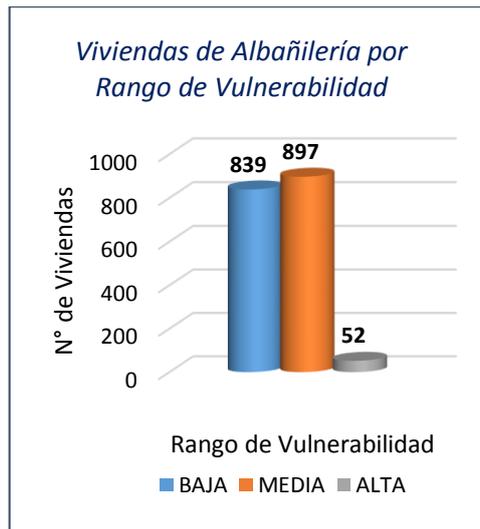


Gráfico (5.3). Se puede observar que casi la totalidad de edificaciones de albañilería presentan una vulnerabilidad baja, varios aspectos influyen en que un edificio de albañilería tenga vulnerabilidad de baja a media, la mayoría de los cuales son resultado de la construcción informal. Entre estos aspectos podemos resumir deficiente proceso constructivo, uso material de mala calidad, falta de densidad de muros, ampliaciones, muros no confinados etc.

5.4.3 RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD: CONCRETO ARMADO.

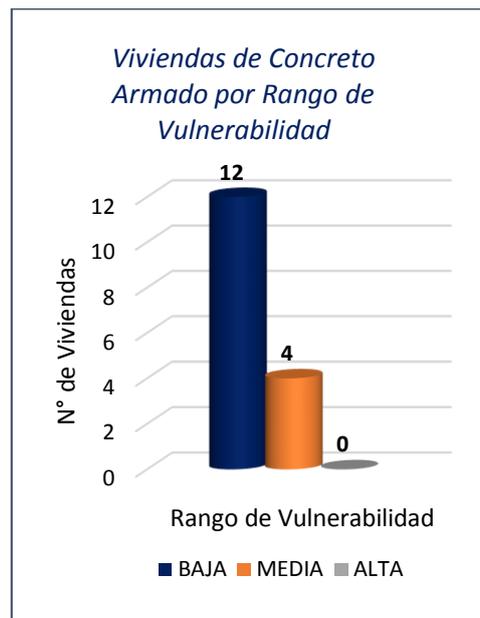


Gráfico (5.4). Se puede observar que casi la totalidad de edificaciones de Concreto Armado presentan una vulnerabilidad baja, ya que son edificaciones que se han construido recientemente siguiendo las normas actuales y al buen estado que se encuentran las edificaciones.

5.5 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

5.5.1 TIPOLOGÍA: ADOBE, ALBAÑILERÍA Y CONCRETO ARMADO

Tabla (5.15). Resultados de los rangos de vulnerabilidad para edificaciones de adobe, albañilería y concreto armado.

Rango de Vulnerabilidad	ADOBE		ALBAÑILERÍA		CONC.ARMADO	
	N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
BAJA	0	0.00%	839	46.92%	12	75.00%
MEDIA	16	9.14%	897	50.17%	4	25.00%
ALTA	159	90.86%	52	2.91%	0	0.00%
TOTAL	175	100%	1788	100%	16	100%

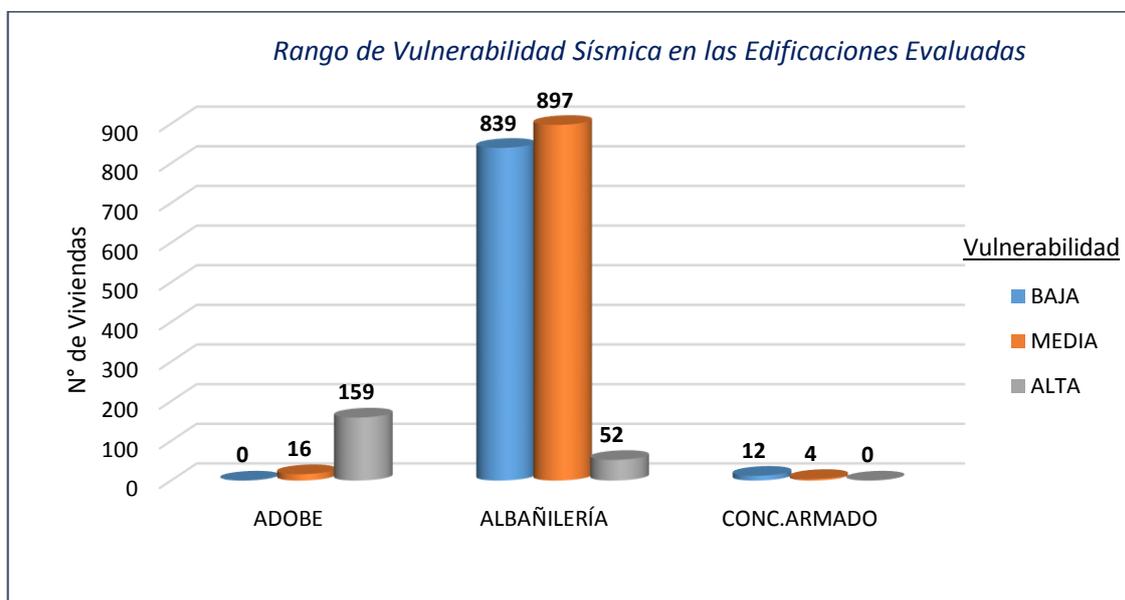


Gráfico (5.5). Se puede observar los resultados de los rangos de vulnerabilidad para las edificaciones de adobe, albañilería y concreto armado.

Tabla (5.16). Resultados de los rangos de vulnerabilidad para edificaciones de adobe, albañilería y concreto armado.

Rango de Vulnerabilidad	EDIFICACIONES EVALUADAS	
	N° Lotes	%
BAJA	851	43.00%
MEDIA	917	46.34%
ALTA	211	10.66%

TOTAL	1979	100%
--------------	-------------	-------------

En la **tabla 5.16** Se puede observar que la mayoría de los edificios se encuentran en el grupo de vulnerabilidad media, es decir, el 46.34% (917) de los edificios de adobe, albañilería y concreto armado tiene un índice de vulnerabilidad media, mientras que el 43.00% (851) presenta un índice de vulnerabilidad baja, y el 10.66% (211) presenta un índice de vulnerabilidad alta. Esto significa que existe un grado de vulnerabilidad media en el sector en estudio, como consecuencia entre otros motivos de la falta del uso de una normativa sismorresistente, al tipo de suelo en el que se encuentra edificados o a la antigüedad de los edificios.

5.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

Se han evaluado 1979 edificaciones, entre edificaciones de adobe, albañilería y concreto armado, se planteó como hipótesis que el nivel de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del sector Compreendido en la ciudad de San José, Distrito San José, provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque, se encuentren entre Media y Alta, y se verifica con los resultados obtenidos, tenemos que se encuentran en Vulnerabilidad Media, se debe tener en cuenta la cantidad y los porcentajes obtenidos que son las siguientes:

- a) Una cantidad de 851 edificaciones (43.00%), con Vulnerabilidad Baja.
- b) Una cantidad de 917 edificaciones (46.34%), con Vulnerabilidad Media.
- c) Una cantidad de 211 edificaciones (10.66%), con Vulnerabilidad Alta.

La mayor cantidad de edificaciones de adobe se encuentran en un nivel de vulnerabilidad Alta, con un total de 159 (90.86%), debido a que son construidas sin asesoría técnica, sin confinamiento en sus esquinas, están deterioradas por el tiempo, entre otras características.

La mayor cantidad de edificaciones de albañilería se encuentran en un nivel de vulnerabilidad media, con un total de 897 (50.17%).

Las construcciones de concreto armado presentan una vulnerabilidad Baja, uno de sus principales puntos para el análisis es el año de construcción, las edificaciones encontradas en nuestra área de estudio son recientes es por eso que su vulnerabilidad está en un nivel Baja.

Entre los principales problemas estructurales encontrados tenemos:

- A. En la mayoría de edificaciones se utilizaron ladrillos artesanales de arcilla, pandereta para la construcción de los muros portantes. De acuerdo a la Norma E.070, estas unidades de albañilería están prohibidas de emplear porque se trituren, perdiéndose drásticamente la resistencia rigidez de los muros.

- B. La técnica de construcción en varias viviendas analizadas se les puede denotar como híbrida entre la albañilería confinada y los sistemas aporticados con tabiques de relleno. En primer lugar se construyen las columnas, para después levantar la albañilería y finalmente vaciar la losa de techo en conjunto con las vigas, por lo cual, los muros son portantes de carga vertical, pero se encuentran desintegrados de las columnas (como si existiese una junta vertical lisa y a ras entre ambos materiales). Este tipo de construcción no es permitida por la Norma E.070, donde se especifica que para que un muro sea confinado, la albañilería debe construirse en primer lugar para después vaciar el concreto de las columnas, permitiéndose una conexión dentada o a ras, pero, agregando mechas de anclaje.

- C. La falta de densidad de muros también fue un problema en varias viviendas, que no cumplían con los requisitos mínimos de la norma y además que al cumplirlos, estos muros eran construidos con ladrillos de baja calidad.

Para ganar espacio en los pisos superiores, se recurre a voladizos en las fachadas de los edificios, cerrando el ambiente con tabiques de ladrillo pandereta sin un debido arriostramiento. La conexión dentada entre los tabiques transversales es insuficiente como para soportar las acciones sísmicas.

CAPÍTULO VI
LÍNEAS VITALES

6. LINEAS VITALES

6.1 Introducción

Son aquellas edificaciones vitales donde funcionan instalaciones necesarias en la recuperación posterior al sismo, que deben permanecer en condiciones de funcionamiento durante y después del mismo. En el presente proyecto se evalúa la institución educativa N° 10222, la posta médica y la municipalidad de la ciudad de San José.

Realizaremos el comparativo de las derivas estructurales existentes en cada estructura, con las permitidas según el RNE E-030, asimismo se realizará un análisis de las irregularidades.

Los resultados de este informe deben ser tomados como una información base, para que se lleve a cabo un estudio detallado.

6.2 Objetivo:

Determinar las derivas existentes con las irregularidades y compararlas con el límite del RNE, para poder definir su vulnerabilidad.

6.3 Análisis

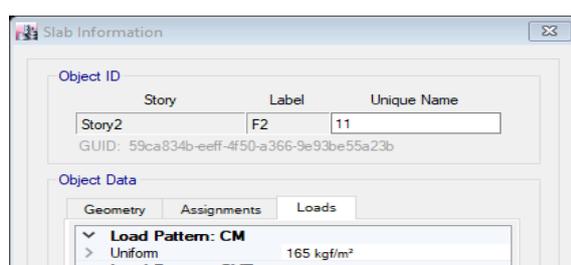
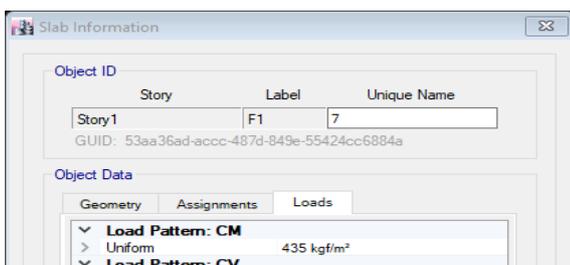
Procedemos a realizar el análisis respectivo utilizando el programa Etabs y utilizando las resistencias del concreto obtenidas con el ensayo de esclerometría, cuyo proceso se adjunta en los anexos.

6.3.1 INSTITUCIÓN EDUCATIVA N° 10222

Estructuras de dos niveles, con módulos similares, de las cuales se analizaron dos módulos representativos («B» y «D»)

6.3.1.1 Módulo D

Se utiliza lo siguiente:

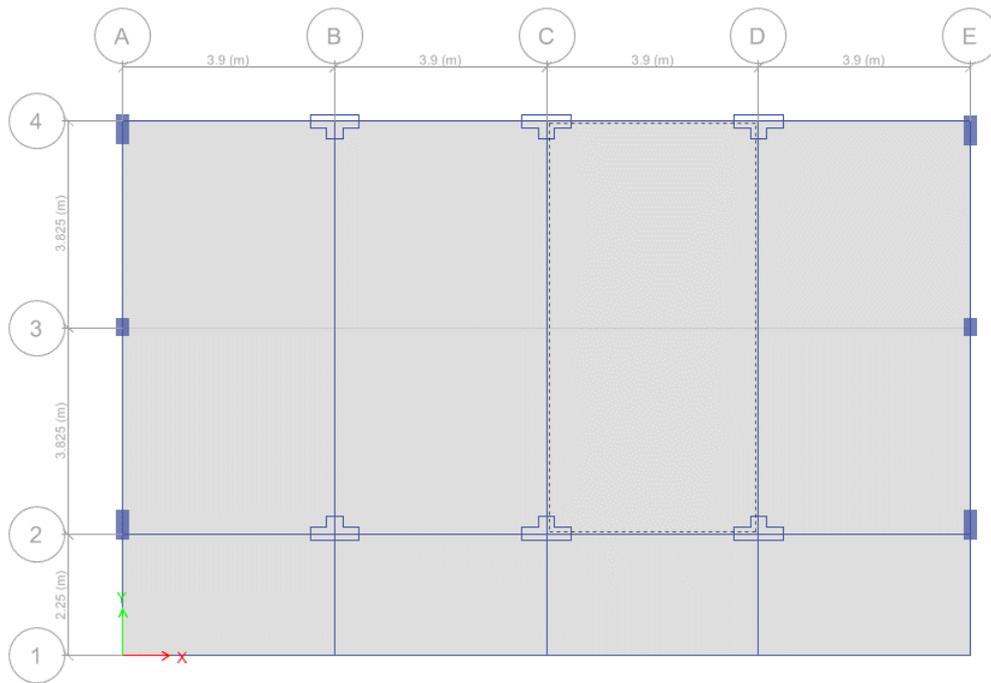


POSTA MÉDICA EN ETABS

Z=0.45, U=1.5, C=2.5, S=1.1, R=8

T	C	ZUCS/R
0	2.50000	0.23203125
0.2	2.50000	0.23203125
0.4	2.50000	0.23203125
0.6	2.50000	0.23203125
0.8	2.50000	0.23203125
1	2.50000	0.23203125
1.4	2.50000	0.23203125
1.8	2.22222	0.20625
2.2	1.81818	0.16875
2.6	1.53846	0.14278846
3	1.33333	0.12375
3.5	1.14286	0.10607143
4	1.00000	0.0928125
4.5	0.88889	0.0825
5	0.80000	0.07425
6	0.66667	0.061875
7	0.57143	0.05303571
8	0.50000	0.04640625
9	0.44444	0.04125
10	0.40000	0.037125

Se determinan las irregularidades en planta que están en función de solo la geometría de la estructura:



<p>Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.</p>	<p>0,90</p>
---	--------------------

No aplica

$l_p = 1$

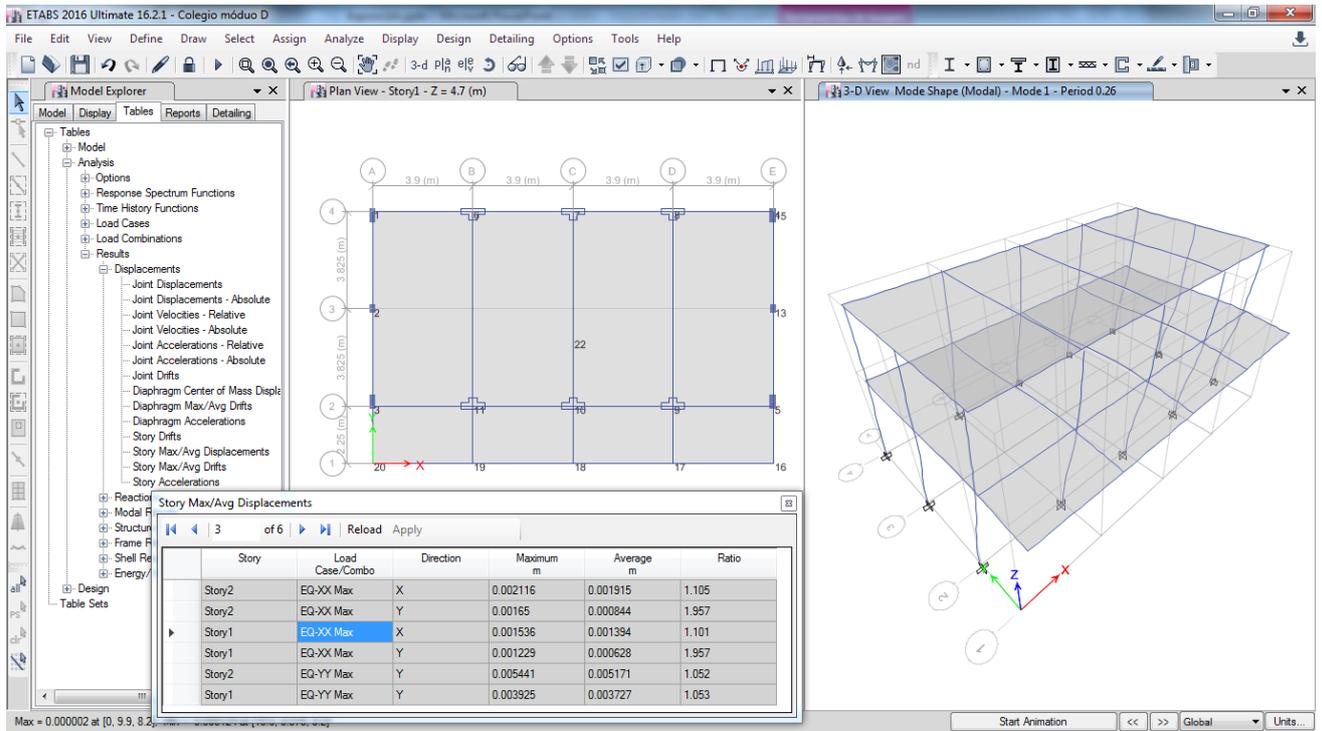
<p>Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.</p>	<p>0,85</p>
--	--------------------

No aplica

$l_p = 1$

Se tiene para esta primera verificación que no se tiene irregularidad

Se determinan las derivas :



Como es una edificación regular, el factor es

$$(0.75) * R = 6.00$$

Colegio - Módulo D									
Piso	Sismo	Altura m	Desplazamiento m	Derivas elásticas Δe m	Derivas inelásticas Δi m	Derivas Δ (%)	Deriva limit Δ (%)=	Resultado	
Piso 2	X	8	0.002186	0.000177	0.001061	0.11	0.70	Si cumple	
Piso 1	X	4.5	0.001567	0.000348	0.002089	0.21	0.70	Si cumple	
Piso 2	Y	8	0.005456	0.000435	0.002613	0.26	0.70	Si cumple	
Piso 1	Y	4.5	0.003932	0.000874	0.005243	0.52	0.70	Si cumple	

Se verifican que las derivas son menores al 0.007 estipulado por la norma E030.

Verificación de Irregularidad en Altura

De acuerdo a lo estipulado en la norma E030 se tiene:

<p>Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales pueden calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p> <p>Irregularidades de Resistencia – Piso Débil Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	0,75
---	------

Irregularidad de Rigidez – Piso Blando □

Colegio - Módulo D			
Piso	Sismo	Rigidez (t/m)	Si: $R_i < 70\% * R_{i+1}$
Piso 2	X	11,795.26	
Piso 1	X	15,973.64	135% Si cumple
Piso 2	Y	5,296.18	
Piso 1	Y	7,122.46	134% Si cumple
Ia=			1

Al cumplir, se mantiene el factor = 1

Irregularidades de Resistencia – Piso Débil □

Colegio - Módulo D			
Piso	Sismo	V (t)	Si: $V_i < 80\% * V_{i+1}$
Piso 2	X	6.10	
Piso 1	X	16.18	265% Si cumple
Piso 2	Y	6.76	
Piso 1	Y	18.64	276% Si cumple
Ia=			1

Tambien se mantiene el factor=1 ya que cumple la norma.

<p>Irregularidad Extrema de Rigidez (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad extrema de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 60% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 70% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales pueden calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p> <p>Irregularidad Extrema de Resistencia (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	<p>0,50</p>
--	--------------------

Si cumple lo anterior, este no aplica

<p>Irregularidad de Masa o Peso Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el numeral 4.3, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.</p>	<p>0,90</p>
<p>Irregularidad Geométrica Vertical La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.</p>	<p>0,90</p>
<p>Discontinuidad en los Sistemas Resistentes Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10 % de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25 % de la correspondiente dimensión del elemento.</p>	<p>0,80</p>

Irregularidad de Masa o Peso

Colegio - Módulo D			
Piso	Peso (t)	Si: $P_i > 1.5 * P_{i+1}$	
Piso 2	91.04		
Piso 1	178.53	1.96	Irregul. masa

$$I_a = 0.9$$

Debido a que hay irregularidad se le coloca el factor correspondiente el cual es 0.9.

Discontinuidad en los Sistemas Resistentes

No aplica porque es un solo sistema resistente

$$I_a = 1$$

Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes

Al no aplicar el anterior, este tampoco aplica

$$I_a = 1$$

Se verifica la irregularidad presente por masa o peso. Concluyendo la Irregularidad en altura (I_a) = 0.90

Verificación de Irregularidad en Planta

De acuerdo a lo estipulado en la norma E030 se tiene:

<p>Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (Δ_{max}), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0.75
<p>Irregularidad Torsional Extrema (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (Δ_{max}), es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0.60

Irregularidad Torsional

Colegio - Módulo D							
Piso	Sismo	Altura m	Centro de masa			Derivas máximas	Si: Max Desplaz > 1.2*Des C.M.
			Desplazamiento max	Derivas máximo	Derivas inelást Δ_i		
Piso 2	X	8.00	0.001775	0.000141	0.000849	0.001061	1.25 No cumple
Piso 1	X	4.50	0.00128	0.000284	0.001707	0.002089	1.22 No cumple

Debido a que hay irregularidad se le coloca el factor correspondiente el cual es 0.75.

Irregularidad Torsional Extrema

Colegio - Módulo D							
Piso	Sismo	Altura m	Centro de masa			Derivas máximas	Si: Max Desplaz > 1.5*Des C.M.
			Desplaza- miento max	Derivas máximo	Derivas inelást Δ i		
Piso 2	X	8.00	0.00178	0.000141	0.000849	0.001061	1.25 Si cumple
Piso 1	X	4.50	0.00128	0.000284	0.001707	0.002089	1.22 Si cumple
Piso 2	Y	8.00	0.00490	0.000392	0.002354	0.002613	1.11 Si cumple
Piso 1	Y	4.50	0.00353	0.000784	0.004705	0.005243	1.11 Si cumple

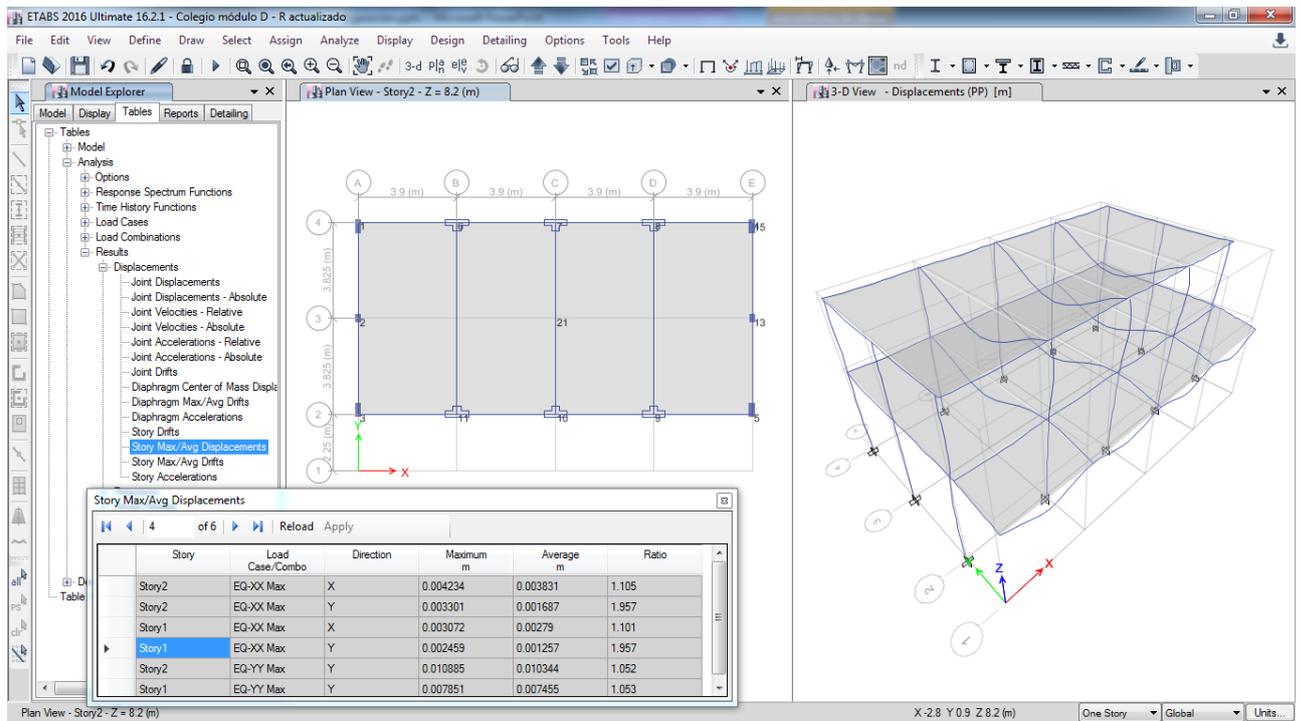
Ip= 1

Se verifica la irregularidad no existente en planta. Concluyendo Ip= 0.75

Con los nuevos resultados se actualizan y se analizan en etabs:

		<i>T</i>	<i>ZUCS/R</i>
Z=	0.45 (zona 4)		0.0 0.34375
U=	1.5 (categoría A2)		0.2 0.34375
S=	1.1 (suelo blando S3)		0.4 0.34375
Tp=	1 (suelo blando S3)		0.6 0.34375
Tl=	1.6 (suelo blando S3)		0.8 0.34375
C=	2.5		1.0 0.34375
R0=	8 (pórticos)		1.4 0.24554
Ia=	0.9		1.8 0.16975
Ip=	0.75		2.2 0.11364
R=	5.4		2.6 0.08136
Cb=	0.34375		3.0 0.06111
			3.5 0.04490
			4.0 0.03438
			4.5 0.02716
			5.0 0.02200
			6.0 0.01528
			7.0 0.01122
			8.0 0.00859
			9.0 0.00679
			10.0 0.00550

Con los cambios indicados se realiza el cálculo nuevamente de las derivas, resultados que se muestran en la siguiente imagen:



Como es una edificación irregular, el factor es $(0.85)*R= 4.59$

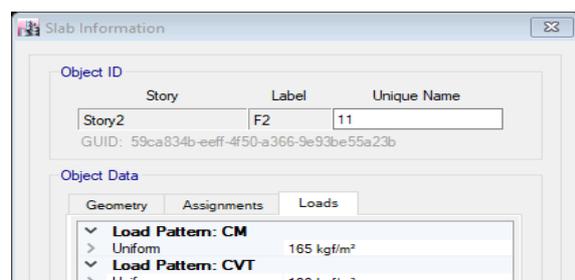
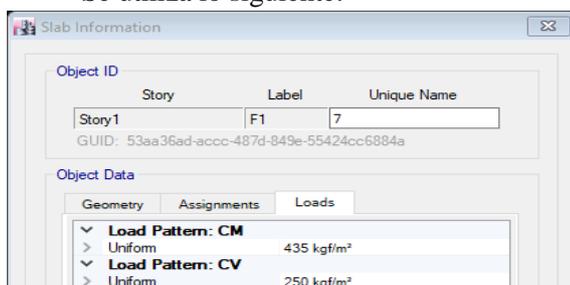
Piso	Sismo	Altura m	Desplazamiento m	Derivas elásticas Δe m	Derivas inelásticas Δi m	Derivas Δ (%)	Deriva limit Δ (%)=	Resultado
Piso 2	X	8.00	0.003239	0.000262	0.001203	0.120	0.7	Si cumple
Piso 1	X	4.50	0.002322	0.000516	0.002368	0.237	0.7	Si cumple
Piso 2	Y	8.00	0.008085	0.000645	0.002961	0.296	0.7	Si cumple
Piso 1	Y	4.50	0.005827	0.001295	0.005944	0.594	0.7	Si cumple

Se verifican que las derivas siguen cumpliendo lo estipulado por la norma E030, en cuanto al sistema resistente utilizado según la categoría y zona sísmica, no cumplen con esta norma.

Se procede a verificar con los mismos pasos las demás edificaciones:

6.3.1.2 Módulo B

Se utiliza lo siguiente:

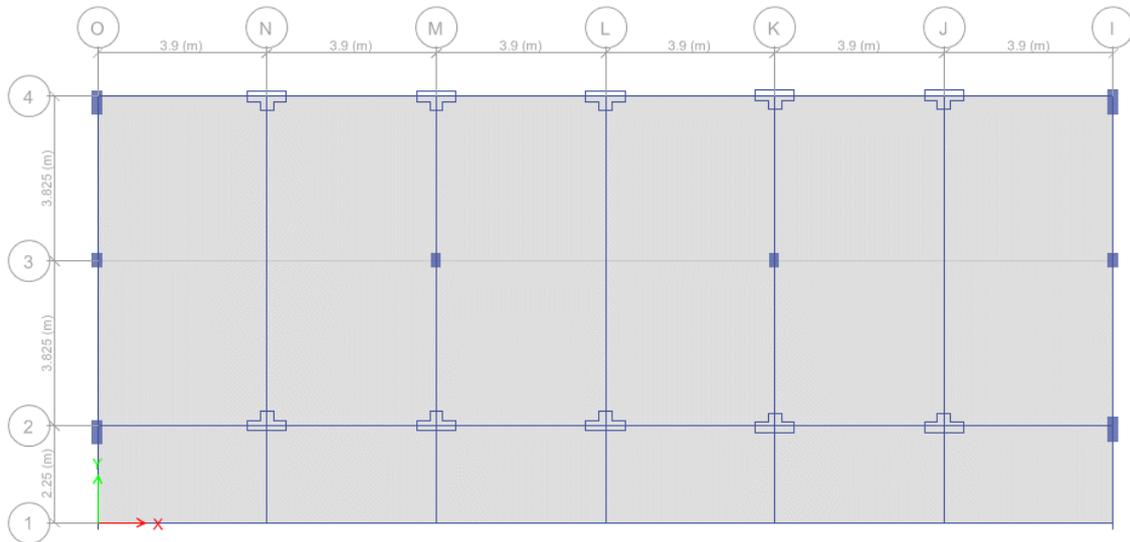


POSTA MÉDICA EN ETABS

Z=0.45, U=1.5, C=2.5, S=1.1, R=8

T	C	ZUCS/R
0	2.50000	0.23203125
0.2	2.50000	0.23203125
0.4	2.50000	0.23203125
0.6	2.50000	0.23203125
0.8	2.50000	0.23203125
1	2.50000	0.23203125
1.4	2.50000	0.23203125
1.8	2.22222	0.20625
2.2	1.81818	0.16875
2.6	1.53846	0.14278846
3	1.33333	0.12375
3.5	1.14286	0.10607143
4	1.00000	0.0928125
4.5	0.88889	0.0825
5	0.80000	0.07425
6	0.66667	0.061875
7	0.57143	0.05303571
8	0.50000	0.04640625
9	0.44444	0.04125
10	0.40000	0.037125

Se determinan las irregularidades en planta que están en función de solo la geometría de la estructura:



<p>Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.</p>	<p>0,90</p>
---	--------------------

No aplica

Ip= 1

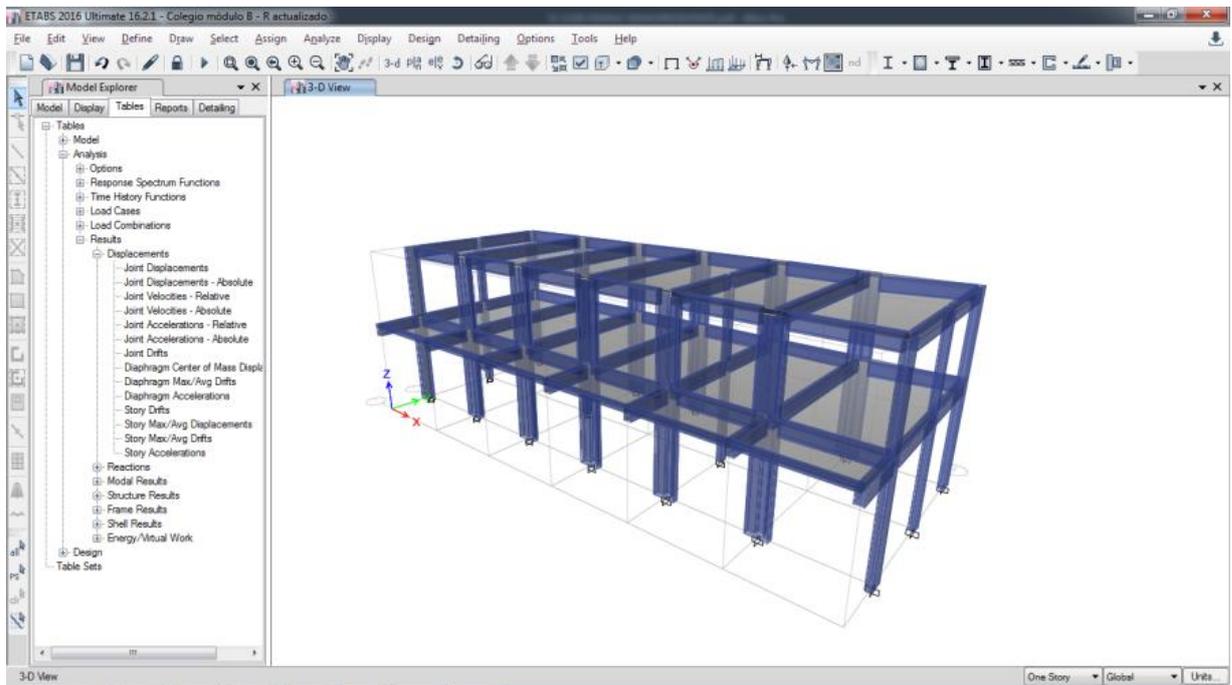
<p>Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.</p>	<p>0,85</p>
--	--------------------

No aplica

Ip= 1

Se tiene para esta primera verificación que no se tiene irregularidad

Se determinan las derivas :



Como es una edificación regular, el factor es

$$(0.75) * R =$$

6.00

Colegio - Módulo B									
Piso	Sismo	Altura	m	Desplazamiento m	Derivas elást Δe m	Derivas inelást Δi m	Derivas Δ (%)	Deriva límite Δ (%)=	Resultado
Piso 2	X	8.00		0.001699	0.000137	0.000825	0.1	0.7	Si cumple
Piso 1	X	4.50		0.001218	0.000271	0.001624	0.2	0.7	Si cumple
Piso 2	Y	8.00		0.005109	0.000414	0.002484	0.2	0.7	Si cumple
Piso 1	Y	4.50		0.00366	0.000813	0.004880	0.5	0.7	Si cumple

Se verifican que las derivas son menores al 0.007 estipulado por la norma E030.

Verificación de Irregularidad en Altura

Irregularidad de Rigidez – Piso Blando

Colegio - Módulo B			
Piso	Sismo	Rigidez (t/m)	Si: $R_i < 70\% * R_{i+1}$
Piso 2	X	22,446.08	
Piso 1	X	31,491.95	140% Si cumple
Piso 2	Y	9,221.56	
Piso 1	Y	12,229.78	133% Si cumple

Ia= 1

Al cumplir, se mantiene el factor = 1

Irregularidades de Resistencia – Piso Débil

Colegio - Módulo B			
Piso	Sismo	V (t)	Si: $V_i < 80\% * V_{i+1}$
Piso 2	X	9.74	
Piso 1	X	26.06	267% Si cumple
Piso 2	Y	10.12	
Piso 1	Y	27.96	276% Si cumple

Ia= 1

Tambien se mantiene el factor=1 ya que cumple la norma.

Irregularidad Extrema de Rigidez

Si cumple lo anterior, este no aplica

Irregularidad Extrema de Resistencia

Si cumple lo anterior, este no aplica

Irregularidad de Masa o Peso

Colegio - Módulo B		
Piso	Peso (t)	Si: $P_i > 1.5 * P_{i+1}$
Piso 2	150.38	
Piso 1	284.15	1.89 Irregul. masa

Ia= 0.9

Debido a que hay irregularidad se le coloca el factor correspondiente el cual es 0.9.

Discontinuidad en los Sistemas Resistentes

No aplica porque es un solo sistema resistente

Ia= 1

Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes

Al no aplicar el anterior, este tampoco aplica

Ia= 1

Se verifica la irregularidad presente por masa o peso. Concluyendo la Irregularidad en altura (Ia)= 0.90

Verificación de Irregularidad en Planta

De acuerdo a lo estipulado en la norma E030 se tiene:

Irregularidad Torsional

Colegio - Módulo B								
Piso	Sismo	Altura m	Centro de masa			Derivas máximas	Si: Max Desplaz > 1.2*Des C.M.	
			Desplaza- miento max	Derivas máximo	Derivas inelást Δ i m			
Piso 2	X	8.00	0.001468	0.000119	0.000713	0.000825	1.16	Si cumple
Piso 1	X	4.50	0.001052	0.000234	0.001403	0.001624	1.16	Si cumple
Piso 2	Y	8.00	0.004291	0.000342	0.002050	0.002484	1.21	No cumple
Piso 1	Y	4.50	0.003095	0.000688	0.004127	0.004880	1.18	Si cumple

$$I_p = 0.75$$

Debido a que hay irregularidad se le coloca el factor correspondiente el cual es 0.75.

Irregularidad Torsional Extrema

Colegio - Módulo B								
Piso	Sismo	Altura m	Centro de masa			Derivas máximas	Si: Max Desplaz > 1.5*Des C.M.	
			Desplaza- miento max	Derivas máximo	Derivas inelást Δ i m			
Piso 2	X	8.00	0.001468	0.000119	0.000713	0.000825	1.16	Si cumple
Piso 1	X	4.50	0.001052	0.000234	0.001403	0.001624	1.16	Si cumple
Piso 2	Y	8.00	0.004291	0.000342	0.002050	0.002484	1.21	Si cumple
Piso 1	Y	4.50	0.003095	0.000688	0.004127	0.004880	1.18	Si cumple

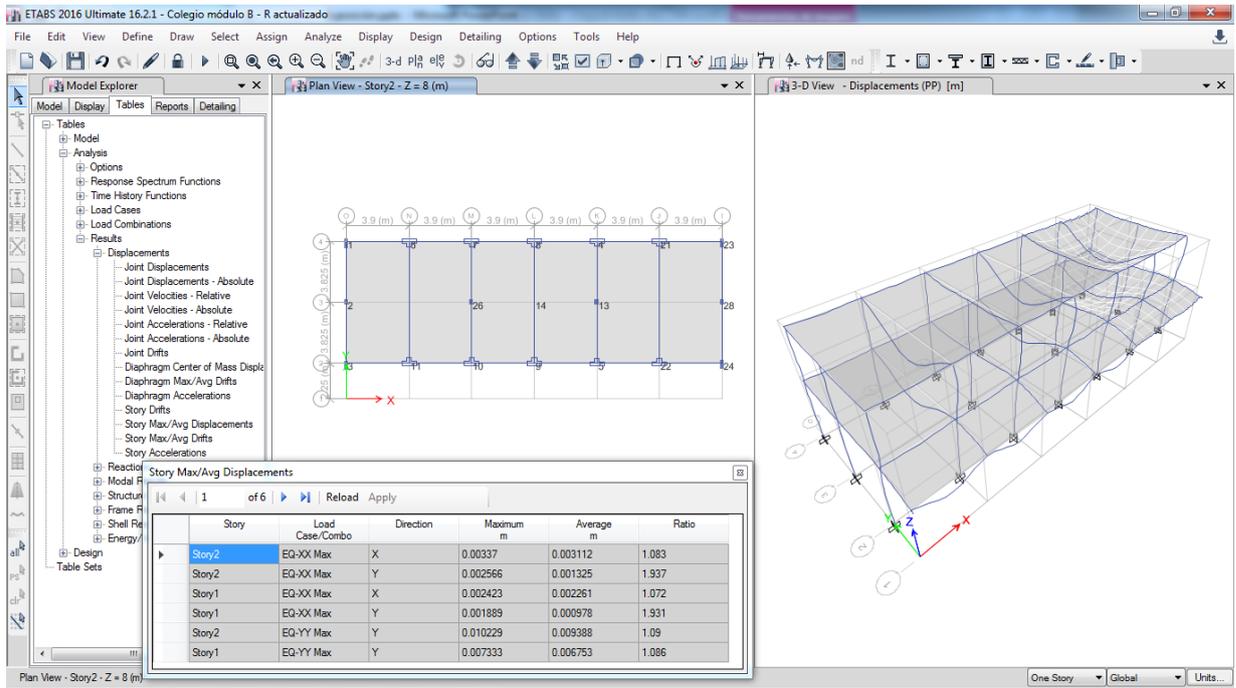
$$I_p = 1$$

Se verifica la irregularidad no existente en planta. Concluyendo $I_p = 0.75$

Con los nuevos resultados se actualizan y se analizan en etabs:

Z=	0.45 (zona 4)
U=	1.5 (categoría A2)
S=	1.1 (suelo blando S3)
Tp=	1 (suelo blando S3)
Tl=	1.6 (suelo blando S3)
C=	2.5
R0=	8 (pórticos)
Ia=	0.9
Ip=	0.75
R=	5.4
Cb=	0.34375

Con los cambios indicados se realiza el cálculo nuevamente de las derivas, resultados que se muestran en la siguiente imagen:



Como es una edificación irregular, el factor es 4.59

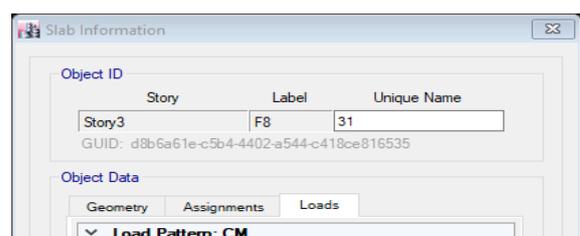
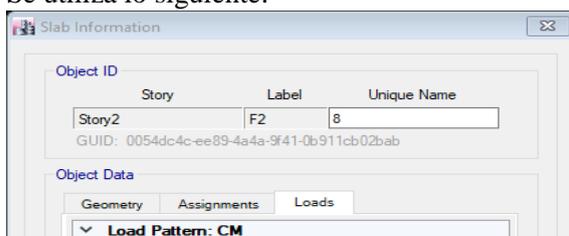
$$(0.85) * R =$$

Colegio - Módulo B									
Piso	Sismo	Altura m	Desplazamiento m	Derivas elást Δ e m	Derivas inelást Δ i m	Derivas Δ (%)	Deriva límite Δ (%)=	Resultado	
Piso 2	X	8.00	0.002518	0.000203	0.000934	0.1	0.7	Si cumple	
Piso 1	X	4.50	0.001806	0.000401	0.001842	0.2	0.7	Si cumple	
Piso 2	Y	8.00	0.00757	0.000613	0.002814	0.3	0.7	Si cumple	
Piso 1	Y	4.50	0.005424	0.001205	0.005532	0.6	0.7	Si cumple	

Se verifican que las derivas siguen cumpliendo lo estipulado por la norma E030, en cuanto al sistema resistente utilizado según la categoría y zona sísmica, no cumplen con esta norma.

6.3.2 Municipalidad Distrital

Se utiliza lo siguiente:

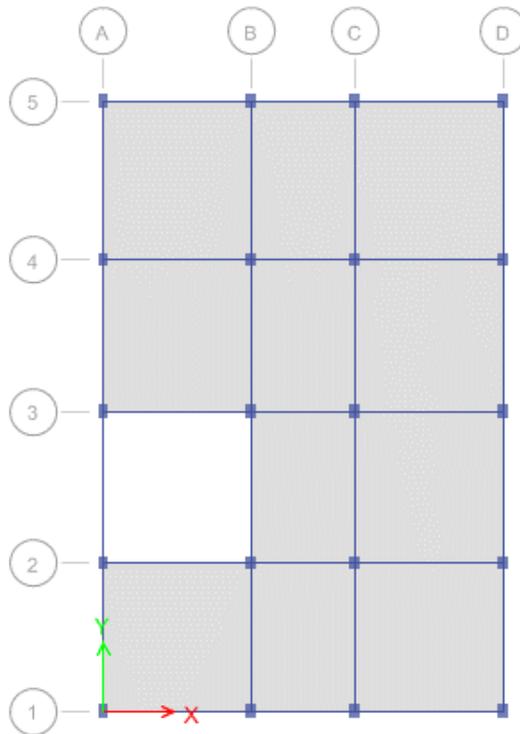


POSTA MÉDICA EN ETABS

Z=0.45, U=1.5, C=2.5, S=1.1, R=8

T	C	ZUCS/R
0	2.50000	0.23203125
0.2	2.50000	0.23203125
0.4	2.50000	0.23203125
0.6	2.50000	0.23203125
0.8	2.50000	0.23203125
1	2.50000	0.23203125
1.4	2.50000	0.23203125
1.8	2.22222	0.20625
2.2	1.81818	0.16875
2.6	1.53846	0.14278846
3	1.33333	0.12375
3.5	1.14286	0.10607143
4	1.00000	0.0928125
4.5	0.88889	0.0825
5	0.80000	0.07425
6	0.66667	0.061875
7	0.57143	0.05303571
8	0.50000	0.04640625
9	0.44444	0.04125
10	0.40000	0.037125

Se determinan las irregularidades en planta que están en función de solo la geometría de la estructura:



Esquinas entrantes

en dirección X, no aplica

$l_{px} = 1$

en dirección Y, no aplica

$l_{py} = 1$

Discontinuidad del diafragma

Dirección X=

4.35

37%

$l_{px} = 1$

Longitud X=

11.75

Dirección Y=

4.6

25.4%

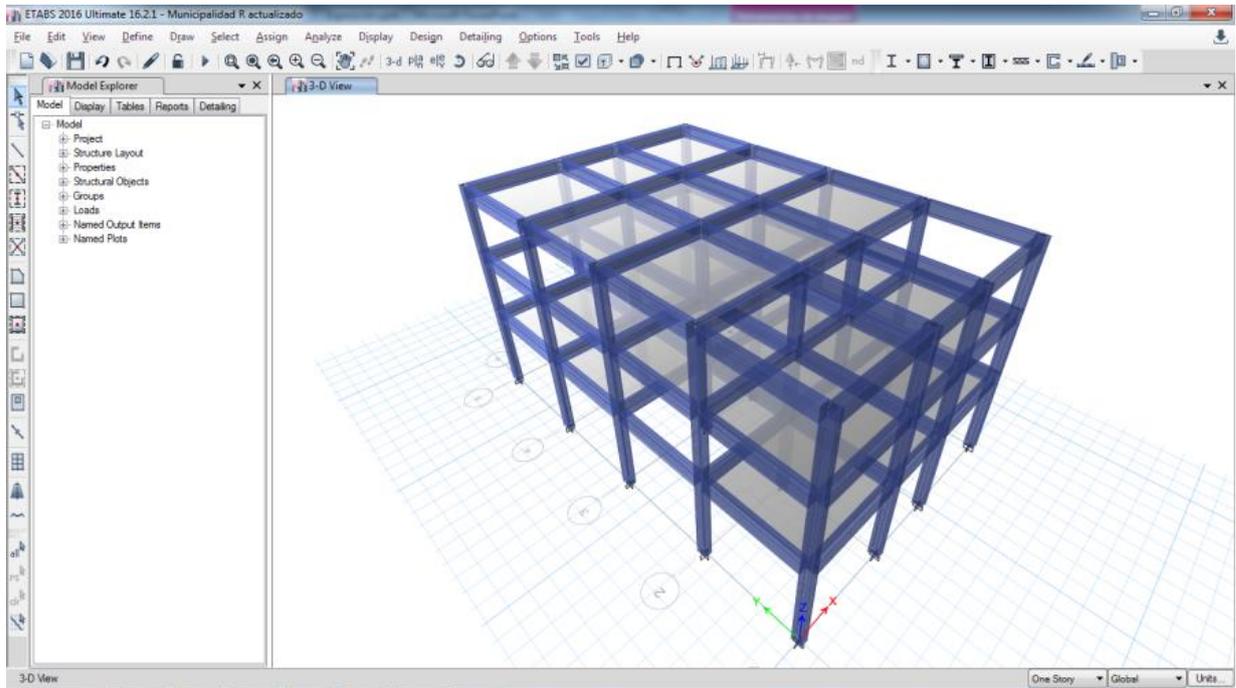
$l_{py} = 1$

Longitud Y=

18.1

Se tiene para esta primera verificación que no se tiene irregularidad

Se determinan las derivas :



Como es una edificación regular, el factor es

$$(0.75) * R = 6.00$$

Municipalidad									
Piso	Sismo	Altura m	Desplazamiento m	Derivas elásticas Δe m	Derivas inelásticas Δi m	Derivas Δ (%)	Deriva límite Δ (%)=	Resultado	
Piso 3	X	10.20	0.014765	0.000335	0.002010	0.201	0.7	Si cumple	
Piso 2	X	7.20	0.013760	0.001055	0.006330	0.633	0.7	Si cumple	
Piso 1	X	4.20	0.010595	0.002523	0.015136	1.514	0.7	No cumple	
Piso 3	Y	10.20	0.009227	0.000215	0.001292	0.129	0.7	Si cumple	
Piso 2	Y	7.20	0.008581	0.000725	0.004350	0.435	0.7	Si cumple	
Piso 1	Y	4.20	0.006406	0.001525	0.009151	0.915	0.7	No cumple	

Se verifican que las derivas son mayores al 0.007 estipulado por la norma E030.

Verificación de Irregularidad en Altura

Irregularidad de Rigidez – Piso Blando

Municipalidad			
Piso	Sismo	Rigidez (t/m)	Si: $R_i < 70\% * R_{i+1}$
Piso 3	X	11,304.43	
Piso 2	X	12,298.63	109% Si cumple
Piso 1	X	5,879.37	48% Piso blando
Piso 3	Y	15,521.54	
Piso 2	Y	19,315.00	124% Si cumple
Piso 1	Y	10,305.15	53% Piso blando

$$I_a = 0.75$$

Al no cumplir, el factor es 0.75.

Irregularidades de Resistencia – Piso Débil

Municipalidad			
Piso	Sismo	V (t)	Si: $V_i < 80\% * V_{i+1}$
Piso 3	X	8.42	
Piso 2	X	28.12	334% Si cumple
Piso 1	X	21.73	77% Piso débil
Piso 3	Y	8.09	
Piso 2	Y	27.15	335% Si cumple
Piso 1	Y	20.13	74% Piso débil

Ia= 0.75

Tambien se mantiene el factor=0.75 ya que no cumple la norma.

Irregularidad Extrema de Rigidez

Municipalidad			
Piso	Sismo	Rigidez (t/m)	Si: $R_i < 60\% * R_{i+1}$
Piso 3	X	11,304.43	
Piso 2	X	12,298.63	109% Si cumple
Piso 1	X	5,879.37	48% Piso extr. Rig.
Piso 3	Y	15,521.54	
Piso 2	Y	19,315.00	124% Si cumple
Piso 1	Y	10,305.15	53% Piso extr. Rig.

Ia= 0.5

Irregularidad Extrema de Resistencia

Municipalidad			
Piso	Sismo	V (t)	Si: $V_i < 65\% * V_{i+1}$
Piso 3	X	8.42	
Piso 2	X	28.12	334% Si cumple
Piso 1	X	21.73	77% Si cumple
Piso 3	Y	8.09	
Piso 2	Y	27.15	335% Si cumple
Piso 1	Y	20.13	74% Si cumple

Ia= 1

Irregularidad de Masa o Peso

Municipalidad		
Piso	Peso (t)	Si: $P_i > 1.5 * P_{i+1}$
Piso 3	129.41	
Piso 2	217.84	1.68 Irregul. masa
Piso 1	225.44	1.03 Si cumple

Ia= 0.9

Debido a que hay irregularidad se le coloca el factor mínimo el cual es 0.5.

Verificación de Irregularidad en Planta

De acuerdo a lo estipulado en la norma E030 se tiene:

Irregularidad Torsional

Municipalidad								
Piso	Sismo	Altura m	Centro de masa			Derivas máximas	Si: Max Desplaz > 1.2*Des C.M.	
			Desplaza- miento max	Derivas máximo	Derivas inelást Δ i m			
Piso 3	X	10.20	0.01330	0.000421	0.002526	0.002010	0.80	Si cumple
Piso 2	X	7.20	0.01204	0.000923	0.005540	0.006330	1.14	Si cumple
Piso 1	X	4.20	0.00927	0.002207	0.013243	0.015136	1.14	Si cumple
Piso 3	Y	10.20	0.00776	0.000161	0.000966	0.001292	1.24	No cumple
Piso 2	Y	7.20	0.00727	0.000625	0.003750	0.004350	1.16	Si cumple
Piso 1	Y	4.20	0.00540	0.001285	0.007711	0.009151	1.19	Si cumple

$$I_p = 0.75$$

Debido a que hay irregularidad se le coloca el factor correspondiente el cual es 0.75.

Irregularidad Torsional Extrema

Municipalidad								
Piso	Sismo	Altura m	Centro de masa			Derivas máximas	Si: Max Desplaz > 1.5*Des C.M.	
			Desplaza- miento max	Derivas máximo	Derivas inelást Δ i m			
Piso 3	X	10.20	0.01330	0.000421	0.002526	0.002010	0.80	Si cumple
Piso 2	X	7.20	0.01204	0.000923	0.005540	0.006330	1.14	Si cumple
Piso 1	X	4.20	0.00927	0.002207	0.013243	0.015136	1.14	Si cumple
Piso 3	Y	10.20	0.00776	0.000161	0.000966	0.001292	1.34	Si cumple
Piso 2	Y	7.20	0.00727	0.000625	0.003750	0.004350	1.16	Si cumple
Piso 1	Y	4.20	0.00540	0.001285	0.007711	0.009151	1.19	Si cumple

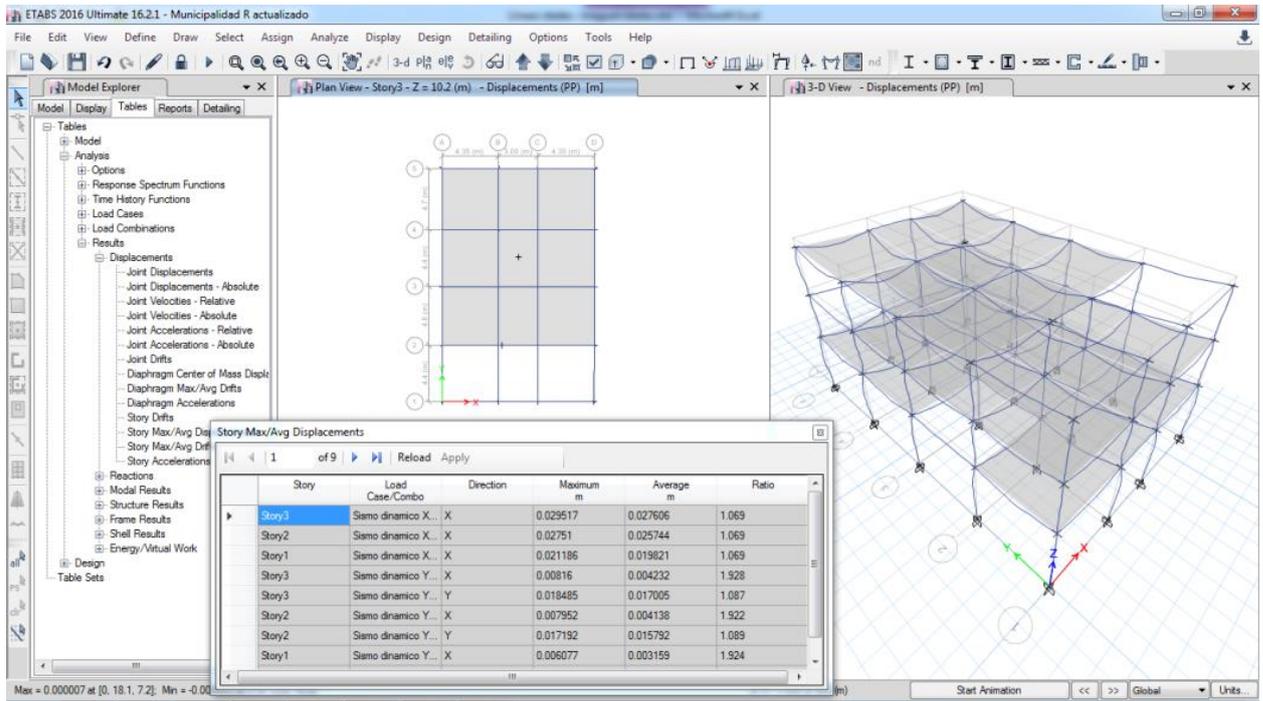
$$I_p = 1$$

Se verifica la irregularidad existente en planta. Concluyendo $I_p = 0.75$

Con los nuevos resultados se actualizan y se analizan en etabs:

Z=	0.45 (zona 4)
U=	1.5 (categoría A2)
S=	1.1 (suelo blando S3)
Tp=	1 (suelo blando S3)
TI=	1.6 (suelo blando S3)
C=	2.5
Ro=	8 (pórticos)
la=	0.5
Ip=	0.75
R=	3
Cb=	0.61875

Con los cambios indicados se realiza el cálculo nuevamente de las derivas, resultados que se muestran en la siguiente imagen:



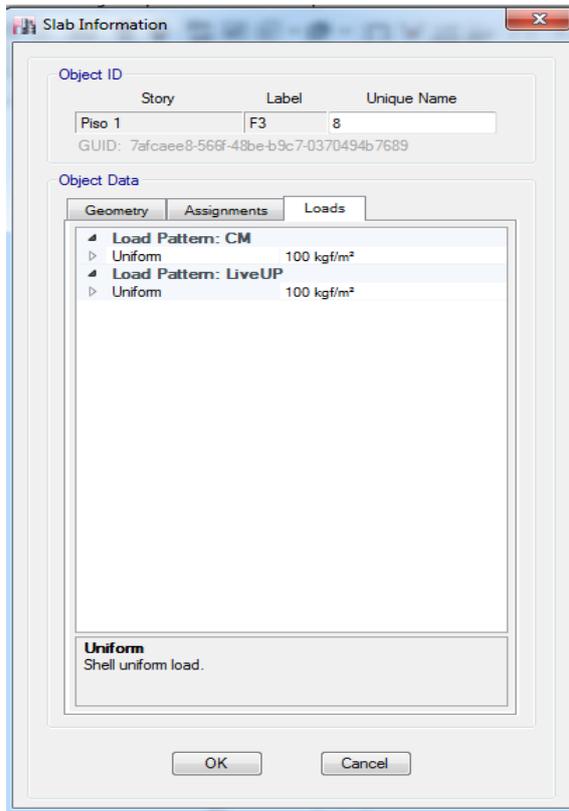
Como es una edificación irregular, el factor es
 $(0.85) * R = 2.55$

Municipalidad									
Piso	Sismo	Altura m	Desplazamiento m	Derivas elásticas Δe m	Derivas inelásticas Δi m	Derivas Δ (%)	Deriva límite Δ (%)=	Resultado	
Piso 3	X	10.20	0.039383	0.000893	0.002278	0.23	0.7	Si cumple	
Piso 2	X	7.20	0.036703	0.002814	0.007177	0.72	0.7	No cumple	
Piso 1	X	4.20	0.02826	0.006729	0.017158	1.72	0.7	No cumple	
Piso 3	Y	10.20	0.024611	0.000575	0.001465	0.15	0.7	Si cumple	
Piso 2	Y	7.20	0.022887	0.001933	0.004930	0.49	0.7	Si cumple	
Piso 1	Y	4.20	0.017087	0.004068	0.010374	1.04	0.7	No cumple	

Se verifican que las derivas siguen incumpliendo lo estipulado por la norma E030, en cuanto al sistema resistente utilizado según la categoría y zona sísmica, tampoco cumplen con esta norma.

6.3.3 Posta Médica

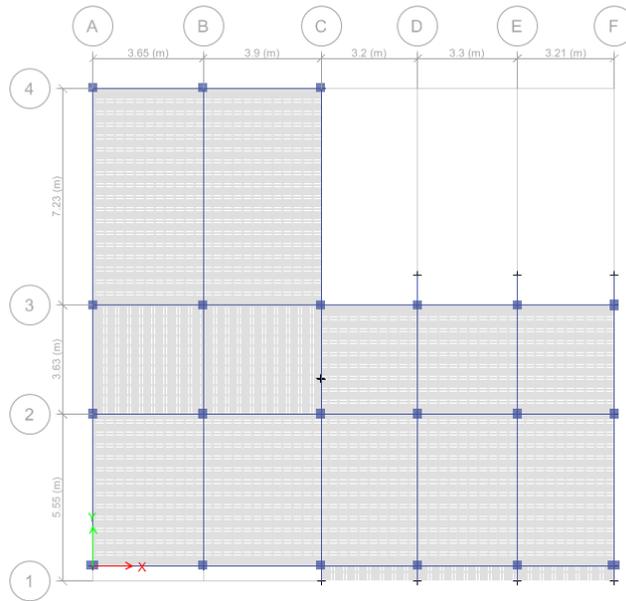
Se utiliza lo siguiente:



$R0 = 8$
 $Z = 0.45$
 $U = 1.5$
 $S = 1.1$
 $Tp = 1$
 $Tl = 1.6$
 $T = 0.263$
 $C = 2.5$
 $lp = 0.9$
 $R = 7.2$
 0.257
 $Cb = 8125$

T	C/R	ZUCS/R
0	0.347222222	0.2578125
0.23	0.347222222	0.2578125
0.43	0.347222222	0.2578125
0.63	0.347222222	0.2578125
0.83	0.347222222	0.2578125
0.98	0.347222222	0.2578125
1.58	0.217013889	0.16113281
1.98	0.138888889	0.103125
2.48	0.088888889	0.066
2.98	0.061728395	0.04583333
3.98	0.034722222	0.02578125
4.98	0.022222222	0.0165
5.98	0.015432099	0.01145833
6.98	0.011337868	0.00841837
7.98	0.008680556	0.00644531
8.98	0.006858711	0.00509259
9.98	0.005555556	0.004125

Se determinan las irregularidades en planta que están en función de solo la geometría de la estructura:



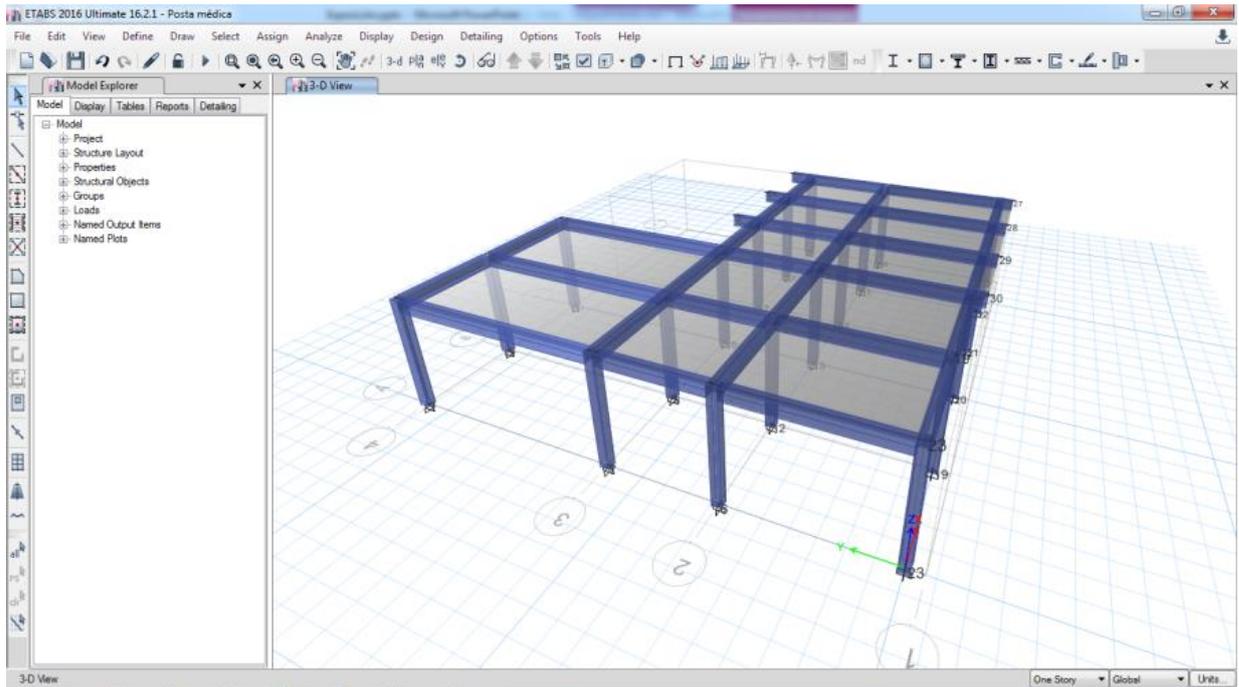
Esquinas entrantes

Esquina X 9.71 56% $I_{px} = 0.9$
 Longitud X 17.26

Esquina Y 7.23 45% $I_{py} = 0.9$
 Longitud Y 15.911

Se tiene para esta primera verificación que se tiene irregularidad

Se determinan las derivas :



Como es una edificación irregular, el factor es

$(0.85) * R = 6.12$

Posta médica								
Piso	Sismo	Altura m	Desplazamiento m	Derivas elást Δe	Derivas inelást Δi	Derivas $\Delta (\%)$	Deriva límite $\Delta (\%) =$	Resultado
Piso 1	X	4	0.000150	0.000038	0.000230	0.023	0.7	Si cumple

Se verifican que las derivas son menores al 0.007 estipulado por la norma E030.

Verificación de Irregularidad en Altura

Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	No aplica porque es de un solo nivel	Ia= 1.00
Irregularidades de Resistencia – Piso Débil	No aplica porque es de un solo nivel	Ia= 1.00
Irregularidad Extrema de Rigidez	Al no aplicar los dos primeros, este tampoco	Ia= 1.00
Irregularidad de Masa o Peso	No aplica porque es de un solo nivel	Ia= 1.00
Irregularidad Geométrica Vertical	No aplica porque es de un solo nivel	Ia= 1.00
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	No aplica porque es un solo sistema resistente	Ia= 1.00
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	Al no aplicar el anterior, este tampoco	Ia= 1.00

Debido a que no hay irregularidad se le coloca el factor 1.0.

Verificación de Irregularidad en Planta

De acuerdo a lo estipulado en la norma E030 se tiene:

Irregularidad Torsional	No aplica porque es de un solo nivel	Ip= 1.00
Irregularidad Torsional Extrema	Al no aplicar el anterior, este tampoco	Ip= 1.00
Sistemas no Paralelos	No aplica porque los elementos resistentes son paralelos en las dos direcciones	Ip= 1.00

Al no variar los factores de irregularidad, se mantienen las derivas:

Posta médica								
Piso	Sis mo	Altura m	Desplaza miento m	Derivas elást Δ e	Derivas inelást Δ i	Derivas Δ (%)	Deri va	Resultado
Piso 1	X	4	0.000150	0.000038	0.000230	0.023	0.7	Si cumple
Piso 1	Y	4	0.000166	0.000042	0.000254	0.025	0.7	Si cumple

Se verifican que las derivas siguen cumpliendo lo estipulado por la norma E030, en cuanto al sistema resistente utilizado según la categoría y zona sísmica, no cumplen con esta norma.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. CONCLUSIONES REFERENTES A LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

- 7.1.1. Se puede observar que casi la totalidad de viviendas de adobe 90.86% (159 viviendas) presentan una vulnerabilidad alta, una de sus características es que estas edificaciones se han construido sin asesoramiento técnico y sus componentes están deteriorados por el tiempo de construcción, se sabe que el adobe por su gran peso atrae considerable fuerza sísmica, la cual no puede resistir por ser un material que se comporta frágilmente ante movimientos horizontales.
- 7.1.2. Se puede observar que 50.17% (897 viviendas) tiene vulnerabilidad media, la mayoría de los cuales son resultado de la construcción informal. Entre estos aspectos podemos resumir deficiente proceso constructivo, uso de materiales de mala calidad, falta de densidad de muros, ampliaciones, muros no confinados etc.
- 7.1.3. Se puede observar que el 75 % (12 viviendas), de viviendas de concreto Armado presentan una vulnerabilidad baja, ya que son edificaciones que se han construido recientemente siguiendo las normas actuales y se encuentran en buen estado de conservación.
- 7.1.4. Dentro del total de edificaciones evaluadas: una cantidad de 851 edificaciones (43.00%) con Vulnerabilidad Baja, una cantidad de 917 edificaciones (46.34%) con Vulnerabilidad Media y una cantidad de 211 edificaciones (10.66%), con Vulnerabilidad Alta.
- 7.1.5. Teniendo como resultados finales que las edificaciones evaluadas se encuentran con nivel de vulnerabilidad media.
- 7.1.6. Se observa que los edificios pertenecientes a líneas vitales evaluados (institución educativa N° 10222, posta médica y municipalidad distrital) presentan vulnerabilidad alta, de acuerdo a la Norma E 030, ya que presentan irregularidades unido a un sistema resistente perteneciente a pórticos, lo cual no califica según su categoría y zona sísmica, consecuentemente se presentan fallas por resistencia debido al cambio importante del factor R (Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas).
- 7.1.7. Se ha realizado la elaboración de una base de datos para las diferentes tipologías de edificaciones (Concreto Armado, Albañilería, Adobe) para que sean utilizados en estudios referentes a Vulnerabilidad sísmica y riesgo sísmico.

7.2.RECOMENDACIONES.

7.2.1. RECOMENDACIONES REFERENTES A LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Según los resultados obtenidos podemos observar que las viviendas de Adobe se encuentran con una vulnerabilidad alta, para lo cual se recomienda lo siguiente:

- 7.2.1.1.Rehabilitar los muros con malla de acero y mortero de cal y arena.
- 7.2.1.2.Rehabilitar los muros con maderas horizontales y verticales con el fin de aumentar la resistencia de los muros y mantener la consistencia y unidad de la estructura.
- 7.2.1.3.Rehabilitación de cubiertas con elementos de madera, lo cual se debe generar un adecuado arrojamiento en la estructura de la cubierta para mejorar el comportamiento ante las cargas verticales y horizontales.
- 7.2.1.4.Rehabilitación de pañetes y revoques, mediante la utilización de mortero de cal, para la colocación del mortero se debe utilizar una malla de gallinero clavada al muro.
- 7.2.1.5.Reforzar la construcción con la colocación de viga collar sobre las cabezas de los muros perimetrales con el propósito de proporcionar continuidad entre los muros transversales, para aumentar la resistencia y rigidez a flexión de los muros y para permitir una mayor conexión con el techo.
- 7.2.1.6.Para las edificaciones de adobe, se recomienda en lo posible, la no utilización de estos sistemas constructivos, y de no ser así estos deben regirse estrictamente a lo establecido en la Norma E-080 del RNE, para edificaciones de Adobe y a recomendaciones de estudios para este tipo de construcciones.
- 7.2.1.7.Según los resultados obtenidos podemos observar que las viviendas de Albañilería se encuentran con una vulnerabilidad baja a media, para lo cual se recomienda lo siguiente:
 - A. Construcción de elementos en concreto reforzado como vigas y/o columnas de confinamiento, las cuales van empotradas al muro.
 - B. Revestimiento de concreto reforzado a los muros, el concreto debe reforzarse y unirse a la estructura existente para permitir un comportamiento monolítico entre el muro existente y el revestimiento en concreto reforzado.

- C. Confinamiento de aberturas, el cual consiste en construir elementos en concreto reforzado alrededor de aberturas en muros con fin de lograr un buen confinamiento.
- D. Revestimiento del muro con fibras de carbono para aumentar su capacidad de carga.
- E. Las viviendas con fisuras en sus muros o elementos de confinamiento deben ser reparadas y reforzadas para soportar los sismos que pudiesen ocurrir en el futuro.

7.2.1.8. Según los resultados obtenidos podemos observar que las viviendas de concreto armado se encuentran con una vulnerabilidad baja, para lo cual se recomienda:

- A. Seguir construyendo de acuerdo a la normatividad siguiente.

- B. Es conveniente que los encargados municipales de revisar los planos de estructuras y de arquitectura, sean personas calificadas para detectar problemas que podrían presentarse en las edificaciones ante los sismos, como: piso blando, torsión columnas cortas, escasa densidad de muros, etc.

- C. Las construcciones cumplan con sus respectivas normas de acuerdo a su tipología.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 8.1. QUISPE N. (2004). “Evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Ayacucho”, Tesis de Maestría, sección de posgrado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
- 8.2. JULCA, J. Y ORBEGOSO, E. (2008). “Evaluación del riesgo sísmico del centro histórico de Chiclayo”. Tesis de grado, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidades Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- 8.3. HERRERA ALARCÓN, (2008). “Análisis de la vulnerabilidad sísmica estructural del anexo de Coripata del distrito de sabandia”. Tesis de grado, Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidades Nacional de San Agustín, Arequipa-Perú.
- 8.4. BONETT R. (2003). “Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos Urbanos en Zonas de amenaza alta y modera”. Tesis Doctoral. Universidad politécnica de Cataluña, Barcelona-España.
- 8.5. LAUCATA LUNA (2013). “Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la ciudad de Trujillo”. Tesis de grado, Facultad de ciencias e Ingeniería, Pontificia universidad católica del Perú.
- 8.6. TORREALBA Y VICENTE (2014). “Análisis de la vulnerabilidad sísmica de viviendas de dos pisos de Adobe existente en lima”. Tesis de grado, Facultad de ciencias e Ingeniería, Pontificia universidad católica del Perú.
- 8.7. ALVA, J. Y ESCALAYA, M. “Los sismos en el Perú y el comportamiento de las edificaciones”, universidad Nacional de Ingeniería.
- 8.8. CABREROS P. E YNCIO M (2002). “Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Distrito la victoria”. Tesis de Pre-Grado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque. Perú.
- 8.9. ALDUNATE J, (2009). “vulnerabilidad sísmica de edificios chilenos de hormigón armado”. Universidad de chile. Santiago de chile
- 8.10. INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL – INDECI. 2003. mapa de peligros de la ciudad de San José. Proyecto Indeci- ciudades sostenibles.
- 8.11. KUROIWA, J. (2007). “Programa de ciudades sostenibles en el Perú 1998-2011.
- 8.12. KUROIWA, J. (2002). “Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza”.

- 8.13. MENA, U. (2002). “Evaluación del riesgo Sísmico en zonas urbanas”. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña-Barcelona, España.
- 8.14. RNE (2003). “Norma Técnica de Edificación E.0.30 Diseño sísmoresistente”. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Lima, Perú.
- 8.15. MORENO, R. “Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Moquegua”. CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería.
- 8.16. SAN BARTOLOMÉ., QUIJUN, D., Y ZEGARRA, L. “Técnicas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe”. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- 8.17. REQUE CORDOVA, (2006). “Diagnostico preliminar de la vulnerabilidad para establecimientos de salud en el Perú”.
- 8.18. ÁNGEL SAN BARTOLOMÉ, ALEJANDRO MUÑOZ, CARLOS RODRÍGUEZ, “Demanda de Resistencia para edificaciones de albañilería en el Perú ”.
- 8.19. KUROIWA J. (2000). “Localización De Instalaciones Indispensables Para La Reducción De Desastres”. I Curso Internacional CISMID.
- 8.20. TAVERA H. (2001). “Catálogo sísmico del Perú 1471 - 1982”. Instituto Geofísico del Perú. Lima. Perú.
- 8.21. A .SAN BARTOLOMÉ. “Proyecto de normas técnicas de edificación E-070 –albañilería”, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1999, Perú.
- 8.22. TAVERA H. (2001). “Catálogo sísmico del Perú 1471 - 1982”. Instituto Geofísico del Perú. Lima. Perú.
- 8.23. TAVERA H. (2008). “Terremoto de pisco del 15 de agosto del 2007”. Instituto Geofísico del Perú dirección de sismología, Lima-Perú.

ANEXO A

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE DAÑO EN LA CIUDAD DE SAN JOSÉ.

A.1. CÁLCULO DEL INDICE DE DAÑO

Aunque el presente proyecto de investigación abarque solamente lo referido a la vulnerabilidad sísmica de las construcciones, se ha optado por extender el trabajo hasta la obtención de escenarios de daño, para dar una idea de las consecuencias que traería un terremoto. Sin embargo, esto implica entrar en el tema de peligro sísmico, para lo cual los autores han recurrido a información recopilada de otras investigaciones.

El peligro sísmico, representa la probabilidad de que, en un lugar determinado, dentro de un periodo específico de tiempo, ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un valor fijado.

Suponiendo una distribución de Poisson, la probabilidad anual promedio "P" de que un parámetro de respuesta exceda un cierto límite, durante la vida útil de la estructura es:

Donde:

V= vida útil de la Estructura (años)

T= Periodo de Retorno (Años)

En el distrito de ciudad San José las edificaciones son predominantemente de uso común:

viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, etc., por lo que se han usado sismos con un periodo de retorno influyente en la vida útil de estas edificaciones. Estos sismos se detallan en la tabla A.1

Tabla (A.1). Cuadro de sismos recomendados por el comité Visión 2000.

sismo	Vida útil	Probabilidad de excedencia	Periodo de retorno
Frecuente	30 años	50%	45 años
Ocasional	50 años	50%	75 años
Raro	50 años	10%	475 años
Muy raro	100 años	10%	950 años

Como en toda la zona Norte del Perú las edificaciones comunes del distrito de Ciudad de San José tiene una vida útil que solo es influenciado por los sismos frecuente, ocasional y raro.

Según la distribución de isoaceleraciones de Alva y Castillo, el distrito de Ciudad de San José tiene una aceleración máxima esperada de 0.42g con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años, que corresponde al sismo raro.

Para obtener las aceleraciones máximas para los sismos frecuentes y ocasional, se hacen referencia a las investigaciones desarrolladas en la PUCP, por Alejandro Muñoz, donde obtuvo las siguientes relaciones:

--	--	--

Tabla A.2. Relaciones de aceleraciones utilizadas para la zona 3 del Perú. Fuente A. Muñoz (PUCP).

Haciendo uso de la tabla anterior, se hallaron las aclaraciones para los sismos frecuente y ocasional, y sumados estos a la aceleración del sismo raro propuesto por Alva, se obtuvieron los siguientes sismos de diseño para diferentes periodos de retorno:

Sismo de 0.20g: Este sismo representa al sismo frecuente con un periodo de retorno de 45 años, y una probabilidad de excedencia de 50% en 30 años. Corresponde a la intensidad MM entre V y VI.

Sismo de 0.25g: Este sismo representa al sismo ocasional con un periodo de retorno de 75 años, y una probabilidad de excedencia de 50% en 50 años corresponde a la intensidad MM entre VI y VII.

Sismo de 0.42g: Este sismo representa al sismo raro con un periodo de retorno de 475 años y probabilidad de excedencia del 10% en 50 años. corresponde a una intensidad MM igual a VIII.

Con lo mencionado anteriormente puede construirse la siguiente **tabla A.3.1a** la cual relaciona periodo de retorno, aceleración máxima esperada e intensidad esperada.

Sismo	Periodo de retorno	Aceleración Máxima esperada en roca	Intensidad MM
Frecuente	45 años	0.20g	V-VI
Ocasional	75 años	0.25g	VI-VII
Raro	475 años	0.42g	VIII

Tabla A.3. Aceleraciones máximas e intensidades esperadas para distintos sismos en zona norte del Perú. Fuente: Alva {1993}, Muñoz (2002) y Pique {2003}.

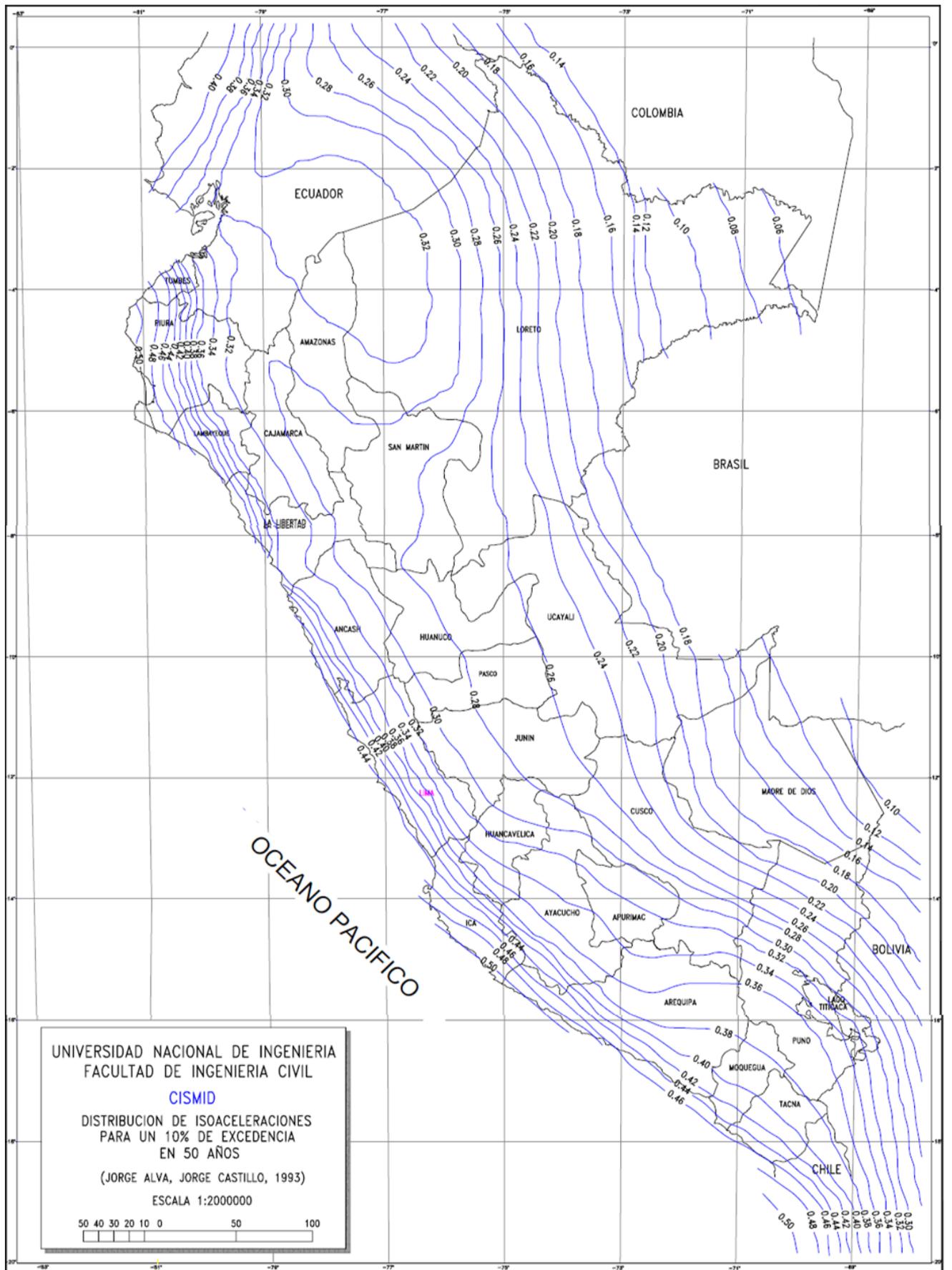


Figura (A.1). Mapa de distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años para el Perú (Alva y Castillo, 1993)

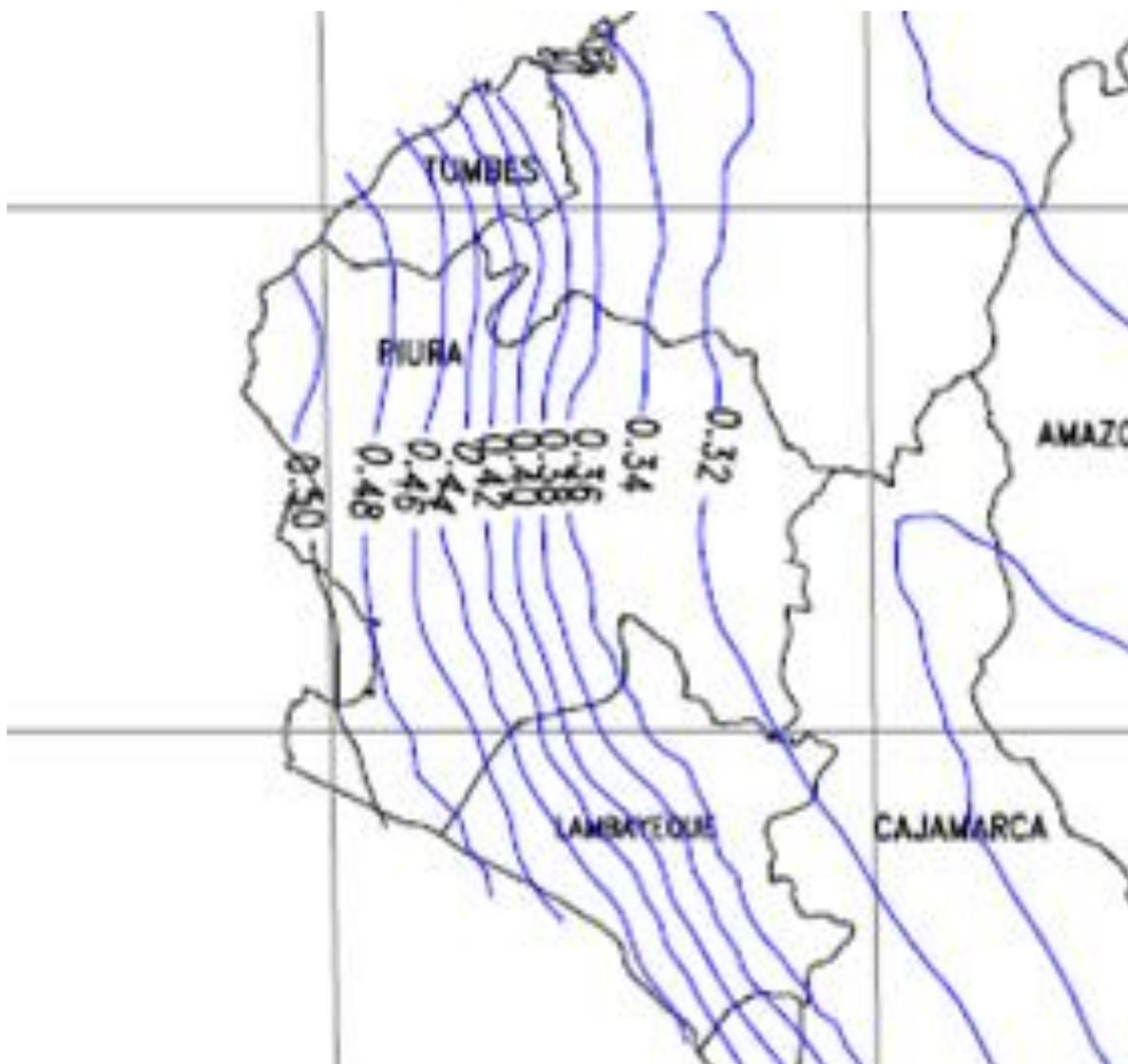


Figura A.2. Distribución de Isoaceleraciones para 10% de Excedencia en 50 años para el Departamento de Lambayeque-Perú (Alva y Castillo, 1993)

A.2. FUNCIONES DE VULNERABILIDAD.

Para estimar el daño estructural se usaron funciones de vulnerabilidad para las tipologías existentes en la zona de estudio, que relacionan el índice de vulnerabilidad normalizado (I_{vn}) con el índice de daño, condicionado por las aceleraciones horizontales máximas del suelo debido a los sismos influyentes en el diseño de viviendas para periodos de retorno relacionados con la vida útil de la estructura.

Estas funciones fueron tomadas de Julca-Orbegoso (2008), quienes construyeron funciones de vulnerabilidad para el cercado de Chiclayo a partir de las curvas vulnerabilidad-daño de Ayacucho (Quispe, 2004), calibrando los datos con los daños obtenidos luego del sismo de Ica (15 de agosto del 2007). También usaron para la calibración, las relaciones promedio de daño para diferentes tipos de construcción del proyecto SISRA (Fig. A.3).

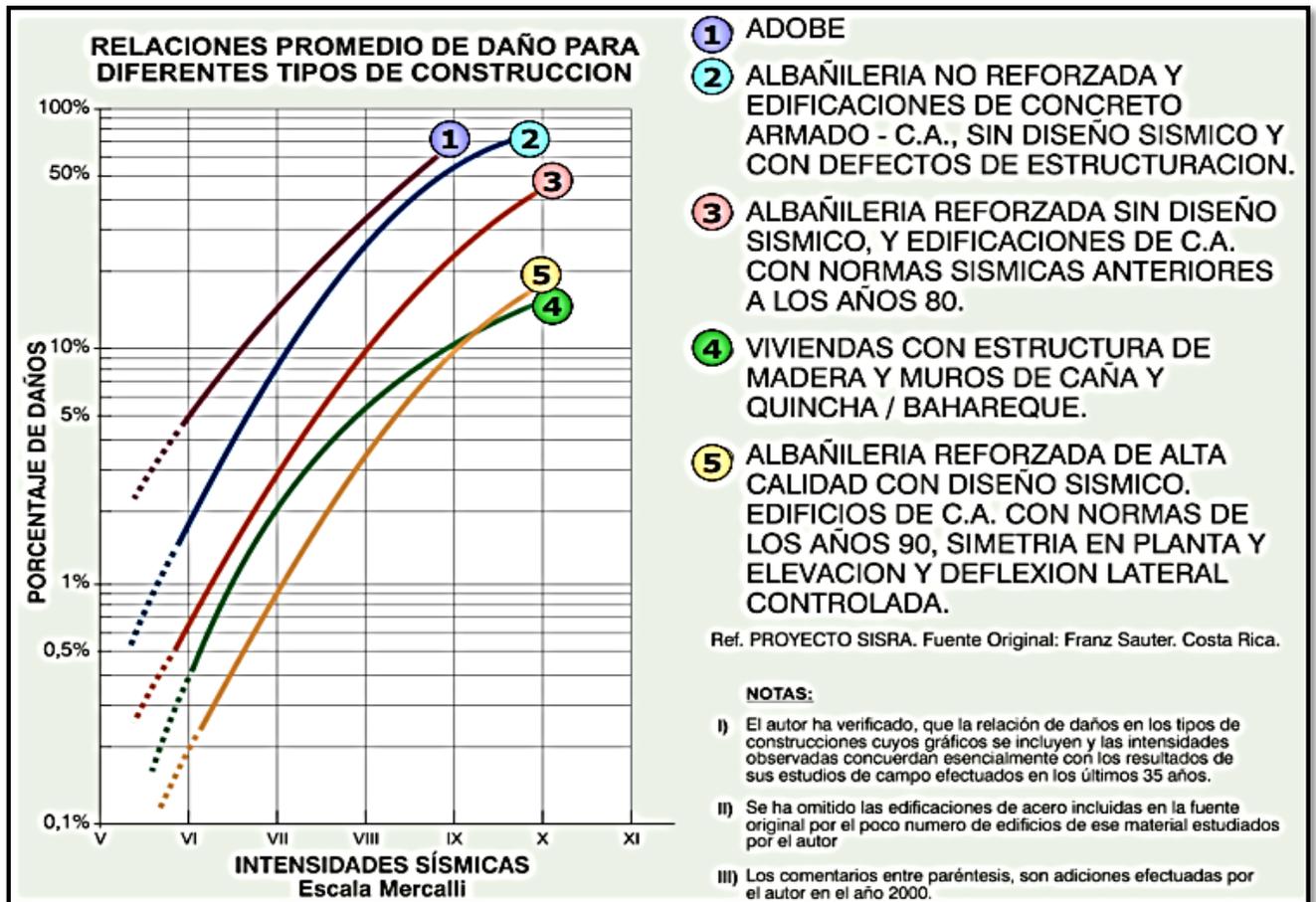


Figura (A.3). Relaciones promedio de daño para diferentes tipos de construcción del proyecto SISRA. (Fuente: Programa de ciudades sosten/bies en el Perú 1998-2011- J.Kuroiwa).

A.2.1 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DAÑO-ACELERACIÓN, PARA EDIFICACIONES DE ADOBE

Para 0.20g: $y=3E-11X^6+3E-09X^5-7E-07X^4+6E-05X^3+0.0024X^2+0.1404X-0.0196$

Para 0.25g: $y=4E-06X^4-0.0004^3+0.0211X^2-0.0207X+0.1271$

Para 0.42g: $y=8E-07X^4+5E-05X^3+0.0114X^2+0.335X+0.0182$

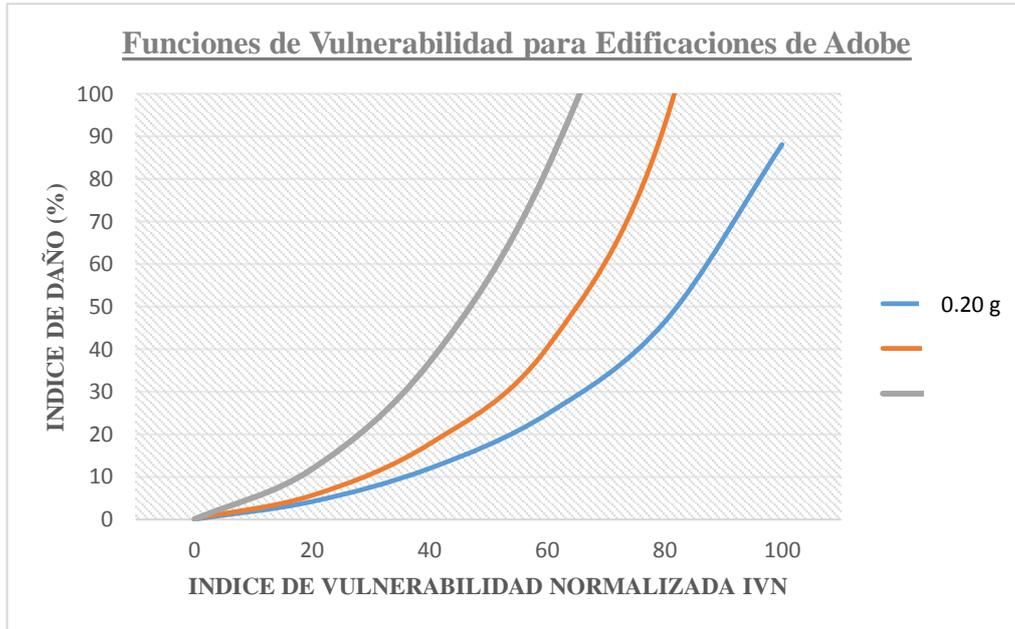


Figura (A.4). Relaciones promedio de daño para adobe.

**A.2.1 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DAÑO-ACELERACIÓN,
PARA EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA:**

Para 0.20g: $y = -3E-11X^6 + 7E-09X^5 - 3E-07X^4 + 7E-06X^3 + 0.0034X^2 + 0.1364X - 0.037$

Para 0.25g: $y = 4E-07X^4 - 3E-06X^3 + 0.0032X^2 + 0.2572X - 0.0538$

Para 0.42g: $y = 3E-07X^4 + 2E-05X^3 + 0.0073X^2 + 0.4455X - 0.0561$

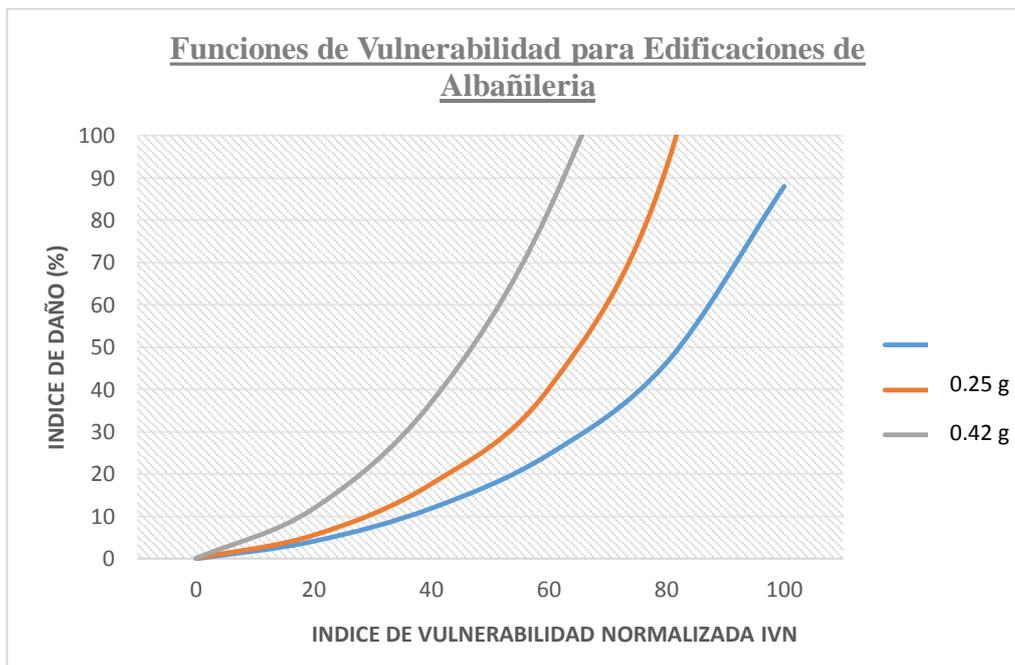


Figura (A.5). Relaciones promedio de daño para albañilería.

A.2.2 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DAÑO-ACELERACIÓN, PARA EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO:

Para 0.20g: $y = -2E-09X^5 + 7E-07X^4 - 0.0001X^3 + 0.0111X^2 - 0.0958X - 0.5518$

Para 0.25g: $y = 3E-07X^4 - 7E-05X^3 + 0.01X^2 + 0.061X - 1.5333$

Para 0.42g: $y = 7E-07X^4 - 0.0001X^3 + 0.0129X^2 + 0.3516X - 1.1588$

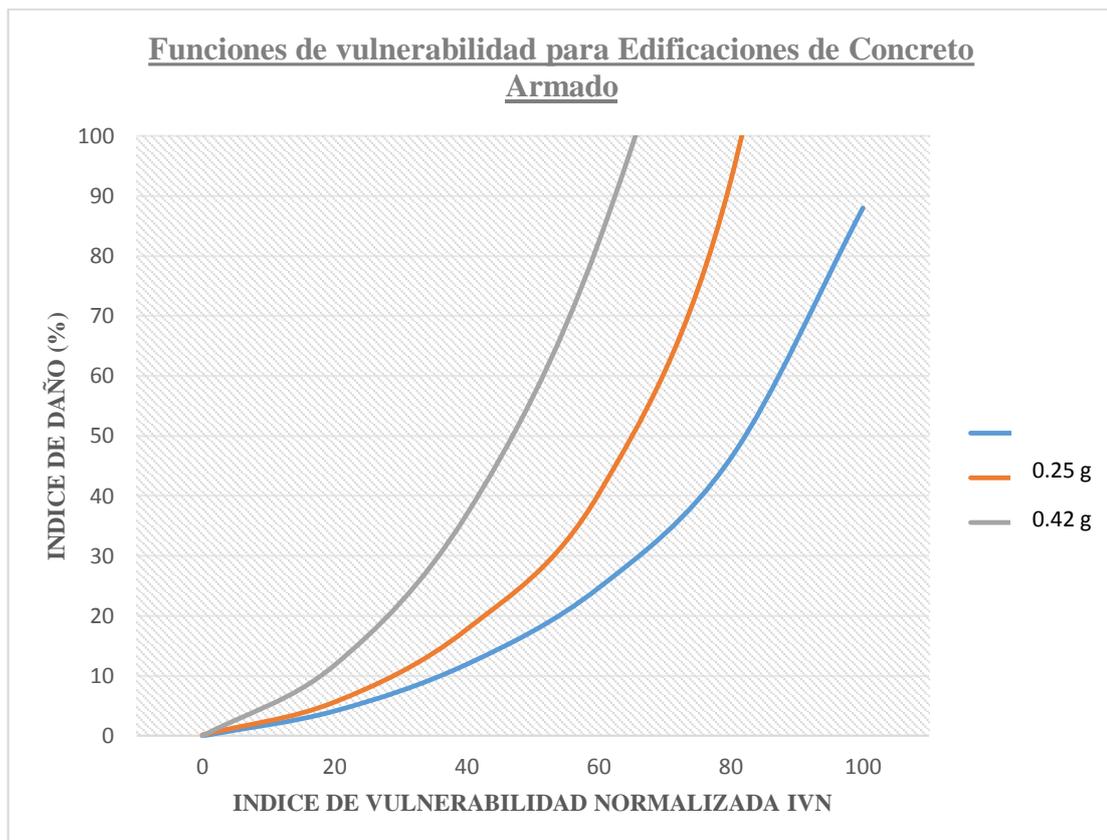


Figura (A.6). Relaciones promedio de daño para concreto armado.

A.3. CALCULO DE DAÑO.

Los niveles de daño se tomaron de los propuestos por la EERI (Earthquake Engineering Research Institute, California); en cual propone una guía para evaluar el daño que pueden sufrir diferentes clases de edificios después de un terremoto.

Los niveles de daño se detallan a continuación.

Tabla (A.4). Niveles de daño según EERR.

NIVEL DE DAÑO	RANGO DE DAÑO (%)	DEFINICIÓN
Ligero	0-5	Daño no estructural aislado, no se requiere reparación. El efecto en la estructura es despreciable
Moderado	5-25	Daño estructural ligero y daño no estructural considerable. Costo de reparación menor al 25% de valor de la edificación. Fisuras menores en edificación del C°A°
Severo	25-50	Daño estructural considerable y daño no estructural excesivo. Costo de reparación menor al 50% del valor de la edificación
Total	50-100	Daño muy considerable. Es necesario demoler si antes no ha colapsado la estructura.

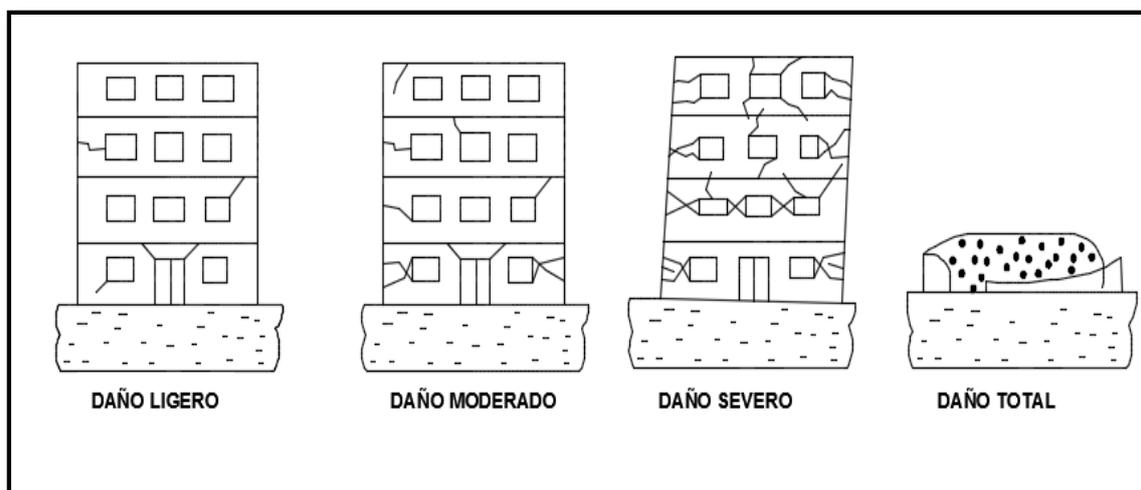


Figura (A.3). Niveles de daño

Los resultados que se detallan a continuación, utilizando la tabla propuesta por la EERI, corresponden a las viviendas del Distrito de San José.

Se muestran los porcentajes de ellos que sufren un cierto nivel de daño dependiendo de la aceleración máxima del sismo considerado. Con estos resultados se obtienen los escenarios de daño para cada nivel de aceleración en el basamento rocoso.

Se presentan los resultados obtenido por tipología y luego el resumen de las tres tipologías consideradas.

A.4. RESULTADOS DE DAÑO ESTIMADO PARA LAS EDIFICACIONES DE ADOBE

Tabla (A.6). Daño obtenido en edificaciones de adobe.

Tipología	Nivel de Daño	0.20g Sismo Frecuente		0.25g Sismo Ocasional		0.42g Sismo Raro	
		Nº Lotes	%	Nº Lotes	%	Nº Lotes	%
Adobe	Daño Ligero	2	1.14%	0	0.00%	0	0.00%
	Daño Moderado	119	68.00%	42	24.00%	8	4.57%
	Daño Severo	52	29.71%	119	68.00%	27	15.43%
	Daño Total	2	1.14%	14	8.00%	140	80.00%
	Total Edific.	175	100%	175	100%	175	100%

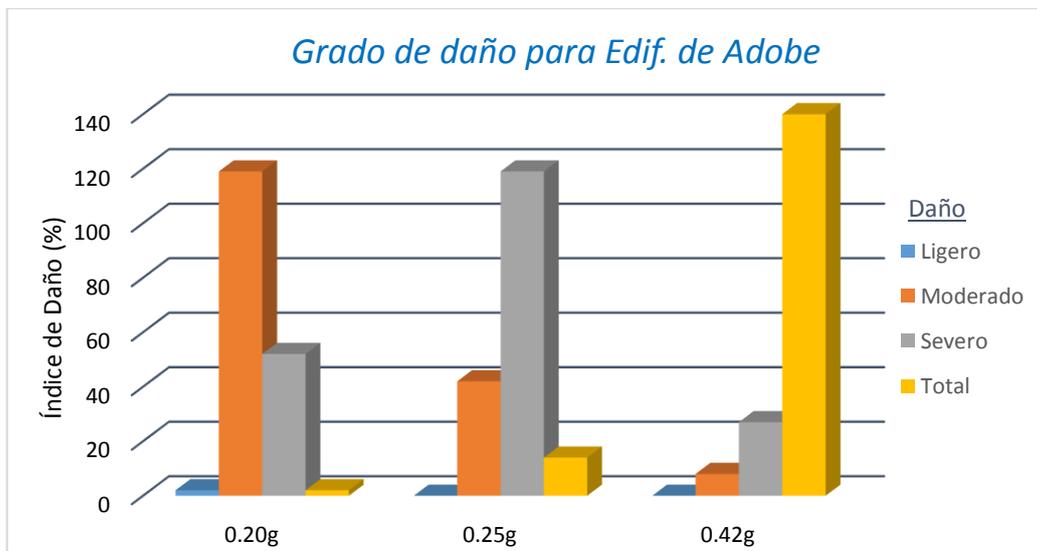


Gráfico (A.5). Daño obtenido en edificaciones de adobe.

Según la tabla A.6, Podemos observar que para un sismo frecuente con el mayor porcentaje (68.00%) para las edificaciones de adobe, el nivel de daño estimado es Moderado, para un sismo ocasional con el mayor porcentaje (68.00%), el nivel de daño estimado es Severo, para un sismo raro con el mayor porcentaje (80.00%), el nivel de daño estimado es total.

A.5. RESULTADOS DE DAÑO ESTIMADO PARA LAS EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA.

Tabla (A.7). Daño obtenido en edificaciones de albañilería.

Tipología	Nivel de Daño	0.20g Sismo Frecuente		0.25g Sismo Ocasional		0.42g Sismo Raro	
		N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
Albañilería	Daño Ligero	1234	69.02%	838	46.87%	755	42.23%
	Daño Moderado	544	30.43%	932	52.13%	917	51.29%
	Daño Severo	5	0.28%	12	0.67%	98	5.48%
	Daño Total	5	0.28%	6	0.34%	18	1.01%
	Total Edific.	1788	100%	1788	100%	1788	100%

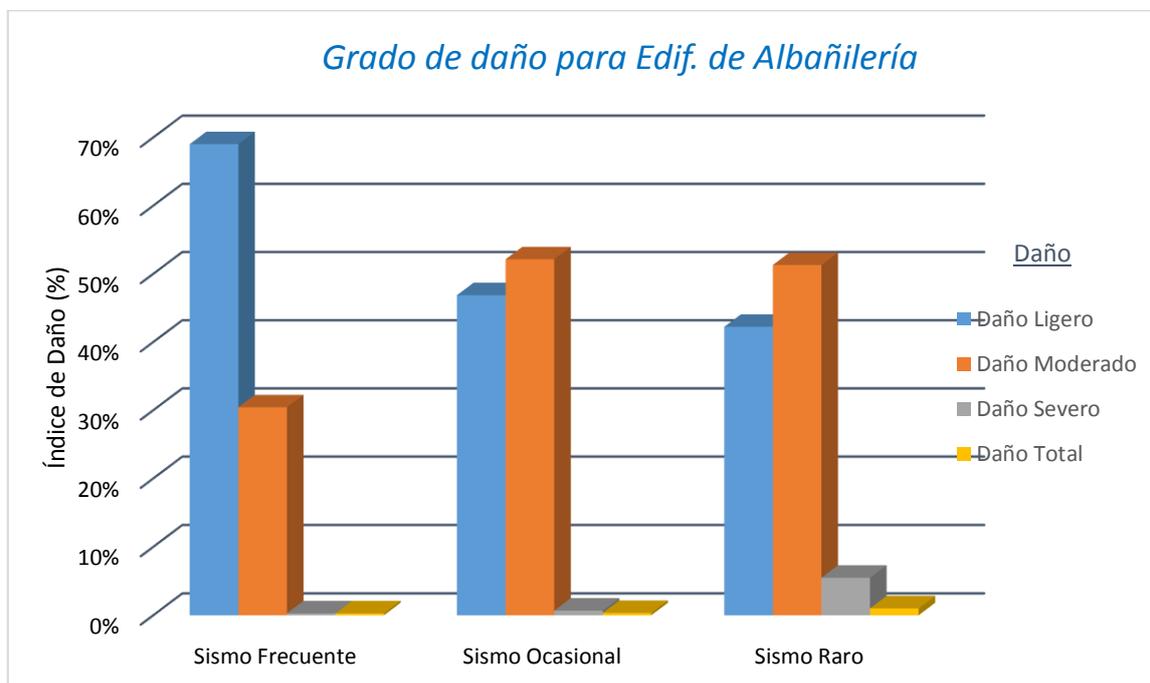


Gráfico (A.6). Daño obtenido en edificaciones de albañilería.

En edificaciones de albañilería, según la tabla A.7, Podemos observar que para un sismo frecuente con el mayor porcentaje (69.02%) para las edificaciones de albañilería, el nivel de daño estimado es Ligero, para un sismo ocasional con el mayor porcentaje (46.87%), el nivel de daño estimado es Ligero, para un sismo raro con el mayor porcentaje (51.29%), el nivel de daño estimado es Moderado.

A.6. RESULTADOS DE DAÑO ESTIMADO PARA LAS EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO.

Tabla (A.8). Daño obtenido en edificaciones de Concreto Armado.

Tipología	Nivel de Daño	0.20g Sismo Frecuente		0.25g Sismo Ocasional		0.42g Sismo Raro	
		N° Lotes	%	N° Lotes	%	N° Lotes	%
Conc.Armado	Daño Ligero	15	93.75%	13	81.25%	12	75.00%
	Daño Moderado	1	6.25%	3	18.75%	3	18.75%
	Daño Severo	0	0.00%	0	0.00%	1	6.25%
	Daño Total	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
	Total Edific.	16	100%	16	100%	16	100%

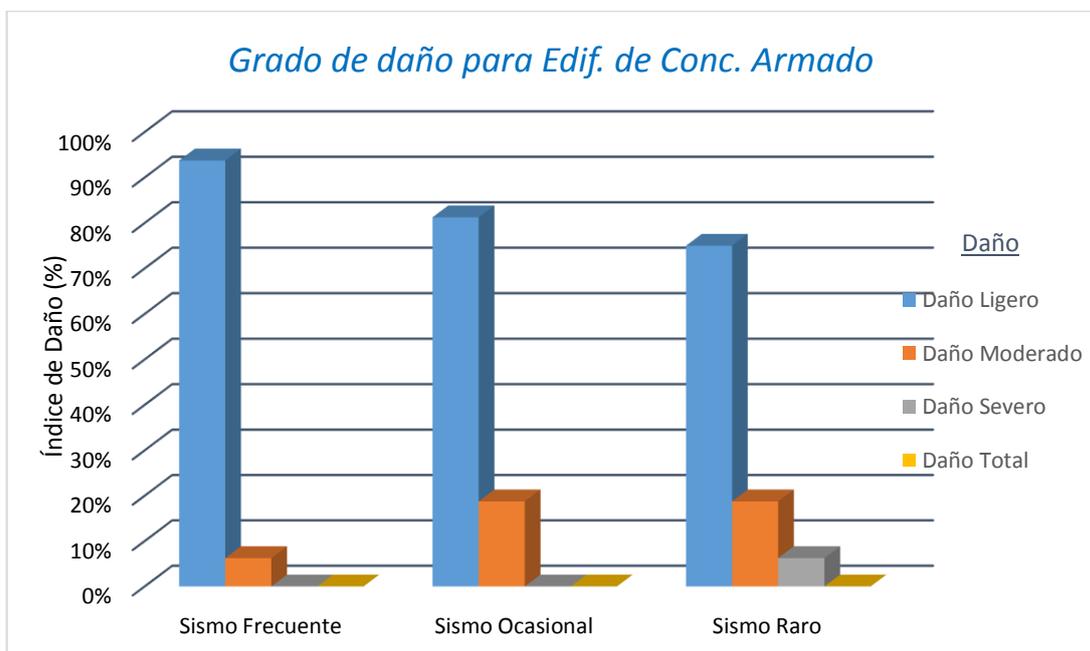


Gráfico (A.7). Daño obtenido en edificaciones de concreto armado

Según la tabla A.8, Podemos observar que para un sismo frecuente con el mayor porcentaje (93.75%) para las edificaciones de concreto, el nivel de daño estimado es Ligero, para un sismo ocasional con el mayor porcentaje (81.25%), el nivel de daño estimado es Ligero, para un sismo raro con el mayor porcentaje (75.00%), el nivel de daño estimado es Ligero.

A.7. RESULTADOS DE DAÑO PARA EL TOTAL DE EDIFICACIONES ENCUESTADAS DEL SECTOR EN ESTUDIO.

Tabla (A.9). Daño obtenido para todas las edificaciones evaluadas para diferentes intensidades sísmicas.

Tipología	Nivel de Daño	0.20g Sismo Frecuente		0.25g Sismo Ocasional		0.42g Sismo Raro	
		Nº Lotes	%	Nº Lotes	%	Nº Lotes	%
Adobe, Albañilería y Concreto Armado	Daño Ligero	1251	63.21%	851	43.00%	767	38.76%
	Daño Moderado	664	33.55%	977	49.37%	928	46.89%
	Daño Severo	57	2.88%	131	6.62%	126	6.37%
	Daño Total	7	0.35%	20	1.01%	158	7.98%
	Total Edific.	1979	100%	1979	100%	1979	100%

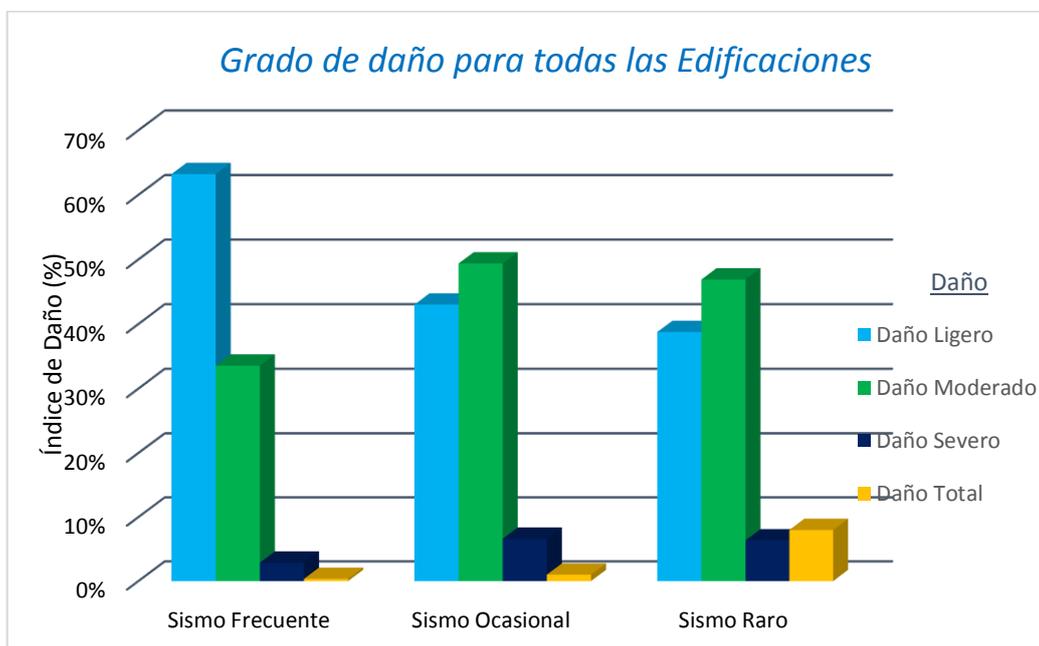


Gráfico (A.8). Daño obtenido en todas las edificaciones evaluadas para diferentes intensidades sísmicas.

Tabla (A.10). Daño obtenido para todas las edificaciones evaluadas del sector en

estudio-Sismo frecuente.

Tipología	Nivel de Daño	0.20g Sismo Frecuente	
		N° Lotes	%
Adobe, Albañilería y Concreto Armado	Daño Ligero	1251	63.21%
	Daño Moderado	664	33.55%
	Daño Severo	57	2.88%
	Daño Total	7	0.35%
	Total Edific.	1979	100%

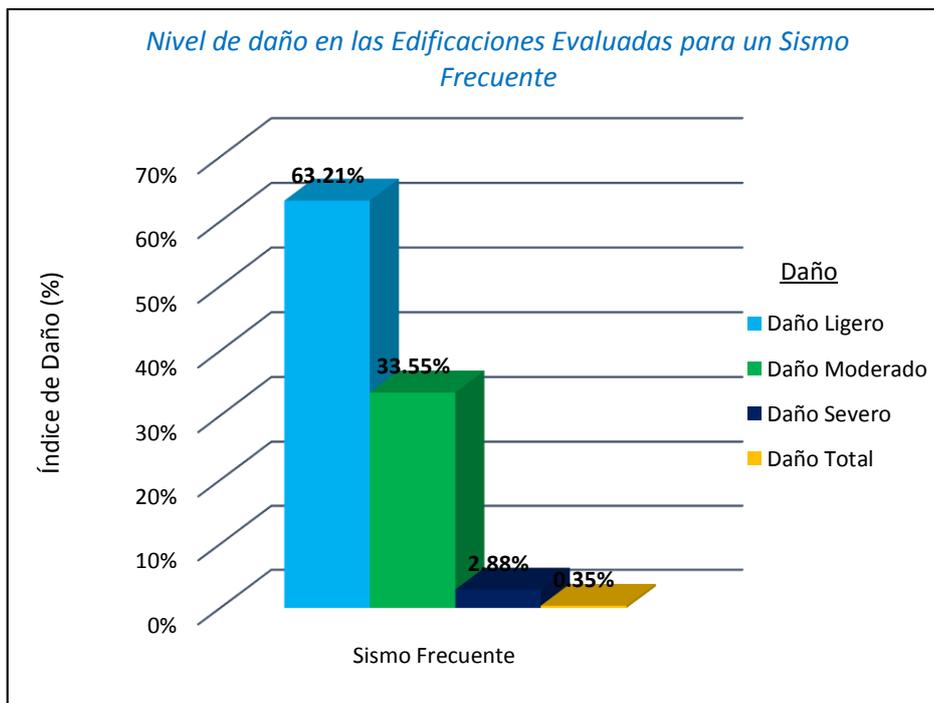


Gráfico (A.9). Daño obtenido en todas las edificaciones evaluadas del sector en estudio Sismo frecuente.

En la tabla A.10 Para el escenario de daño correspondiente al sismo frecuente (0.20g), podemos observar que para un sismo frecuente con los mayores porcentajes 63.21% y 33.55% para todas las edificaciones del sector en estudio, el nivel de daño estimado es Ligero y Moderado respectivamente.

Tabla (A.11). Daño obtenido para todas las edificaciones evaluadas del sector en estudio-Sismo ocasional.

Tipología	Nivel de Daño	0.25g Sismo Ocasional	
		Nº Lotes	%
Adobe, Albañilería y Concreto Armado	Daño Ligero	851	43.00%
	Daño Moderado	977	49.37%
	Daño Severo	131	6.62%
	Daño Total	20	1.01%
	Total Edific.	1979	100%

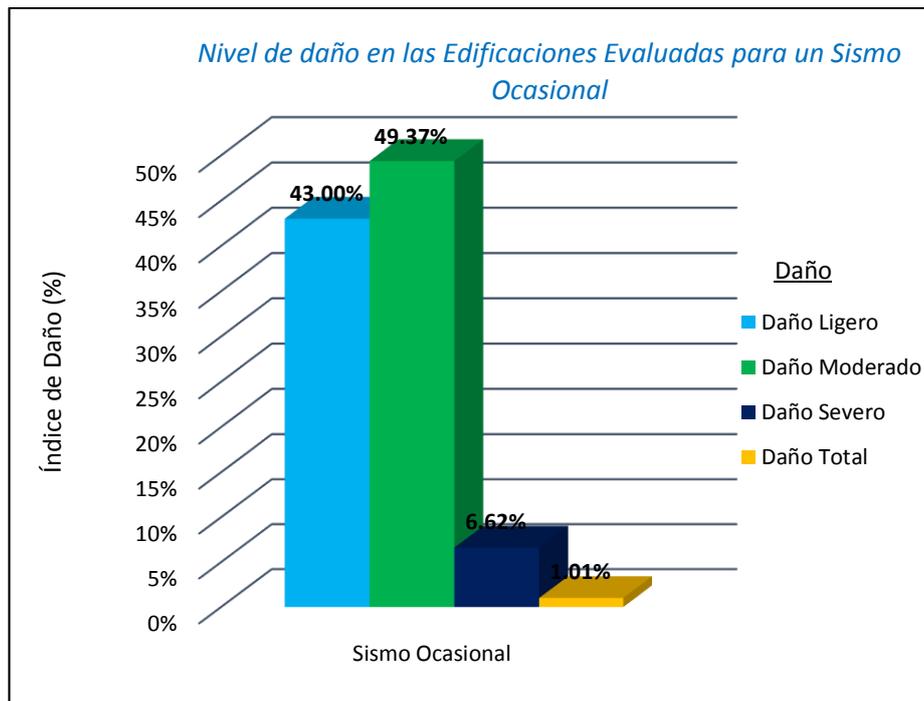


Gráfico (A.10). Daño obtenido en todas las edificaciones evaluadas del sector en estudio Sismo ocasional.

En la tabla A.11 para el escenario de sismo Ocasional (0.25g). Podemos observar que para un sismo ocasional con el mayor porcentaje 49.37% para todas las edificaciones del sector en estudio, el nivel de daño estimado es Moderado.

Tabla (A.12). Daño obtenido para todas las edificaciones evaluadas del sector en estudio-Sismo raro.

Tipología	Nivel de Daño	0.42g	Sismo Raro
		N° Lotes	%
Adobe, Albañilería y Concreto Armado	Daño Ligero	767	38.76%
	Daño Moderado	928	46.89%
	Daño Severo	126	6.37%
	Daño Total	158	7.98%
	Total Edific.	1979	100%

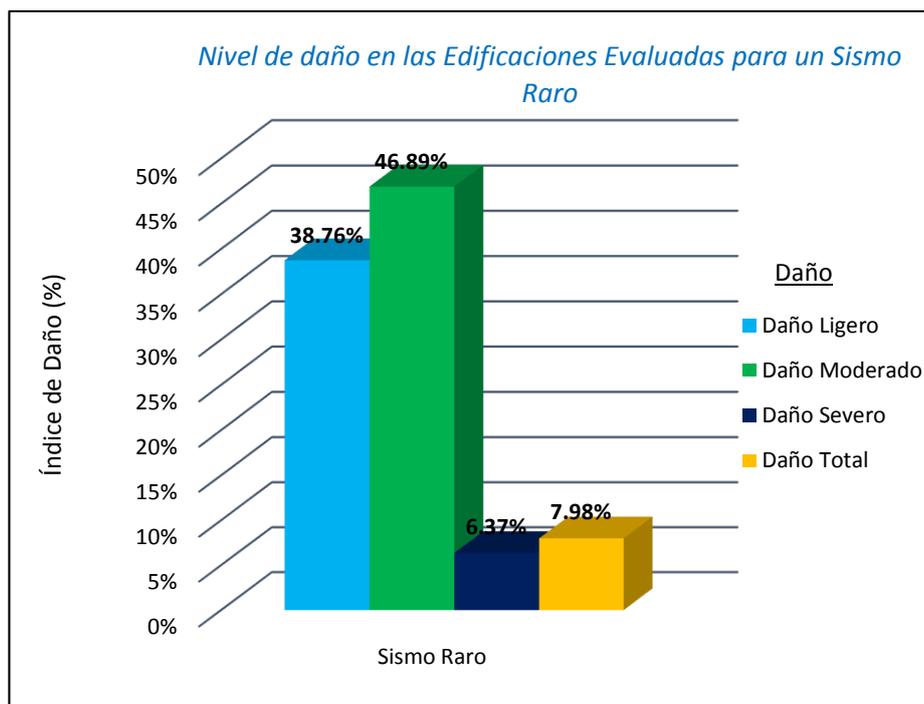


Gráfico (A.11). Daño obtenido en todas las edificaciones evaluadas del sector en estudio Sismo raro.

Por último según la tabla A.12 para el escenario de sismo raro (0.42g), Podemos observar que para un sismo raro con el mayor porcentaje 46.89% para todas las edificaciones del sector en estudio, el nivel de daño estimado es Moderado.

ANEXO B

SISMOS NOTABLES EN EL PERÚ

B. SISMOS NOTABLES EN EL PERU

A continuación se presentan los movimientos sísmicos que al país, corresponde a los datos de eventos sísmicos anteriores al año de 1974, se conocen por relatos y apuntes de personajes que estuvieron en esos momentos. Estos han sido recopilados por el Dr. Enrique Silgado Ferro y publicados en su libro “Historia de los Sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 – 1974)”,

19 DE FEBRERO DE 1600.- A las 05:00 horas, fuerte sismo causado por la explosión del Volcán Huaynaputina (Omate), la lluvia de ceniza obscureció el cielo de la Ciudad de Arequipa, según el relato del Padre Bartolomé, Descaurt. Se desplomaron todos los edificios con excepción de los más pequeños, alcanzando una intensidad de XI en la Escala Modificada de Mercalli, en la zona del volcán.

24 DE NOVIEMBRE DE 1604.- A las 13:30 horas, la conmovión sísmica arruinó las ciudades de Arequipa y Arica. Un Tsunami destruyó la ciudad de Arica y el puerto de Pisco, como consecuencia del Tsunami murieron 23 personas en Arica. Tuvo una magnitud de 7.8, y alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli, en las ciudades de Arequipa, Moquegua, Tacna y Arica.

31 DE MARZO DE 1650.- A las 14:00 horas, se produjo un terremoto en el Cuzco que dejó a la ciudad en ruinas. Fue sentido en Lima y tuvo una magnitud de 7.6.

20 DE OCTUBRE DE 1687.- Gran movimiento sísmico ocurrido en la ciudad de Arequipa aproximadamente a las 06:30. Causando serios daños en los templos y viviendas, los efectos secundarios de éste sismo trajo como consecuencia el agrietamiento de muchos kilómetros de extensión, entre Ica y Cañete, el mar inundó parte del litoral comprendido entre Chancay y Arequipa. Otros daños ocasionó en los valles de Sigwas y Majes, alcanzando en Aplao y Sigwas una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli.

22 DE AGOSTO DE 1715.- A las 19:00 horas, en la ciudad de Arequipa ocurrió un gran terremoto que sepultó a pequeños pueblos, por los derrumbes de las partes altas de los cerros, alcanzando una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli, el movimiento se sintió en Arica.

08 DE ENERO DE 1725.- A las 08:00 horas, fuerte temblor remeció la ciudad de Arequipa destruyendo la mayor parte de sus viviendas, este movimiento sísmico

tuvo una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli, como consecuencia del sismo se levantó una gran polvareda que cubrió la ciudad.

27 DE MARZO DE 1725.- Gran sismo que se sintió en toda la costa sur del Perú, llegándose a sentir hasta el Callao, el pueblo de Camaná fue el que sufrió grandes daños, el mar salió sobre pasando la línea de playa.

13 DE MAYO DE 1784.- A las 07:35 horas terremoto que arruinó la ciudad de Arequipa, ocasionando graves daños en sus templos, murieron 54 personas, 500 heridos, tuvo una magnitud de 8.4, en Arequipa alcanzó una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli.

10 DE JULIO DE 1821.- A las 05:00 horas terremoto que causó graves daños en los pueblos de Camaná, Ocoña, Caravelí, Chuquibamba y valle de Majes. Se sintió en Lima. Murieron 70 personas en Camaná y Ocoña, 60 en Chuquibamba y 32 en Caravelí, tuvo una magnitud de 7.9, y una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli.

08 DE OCTUBRE DE 1831.- A las 21:15 horas fuerte sismo en Tacna, Arica y en el interior del departamento de Arequipa, ocasionó algunas víctimas y alrededor de 32 heridos

18 DE SETIEMBRE DE 1833.- A las 05:45 horas violento movimiento sísmico que ocasionó la destrucción de Tacna y grandes daños en Moquegua, Arequipa, Sama, Arica, Torata, Locumba e Ilabaya, murieron 18 personas; fue, sentido en La Paz y Cochabamba, en Bolivia.

13 DE AGOSTO DE 1868.- A las 16:45 horas este terremoto alcanzó una intensidad de grado XI y fue acompañado de tsunami. Según el historiador Toribio Polo (1904), este terremoto es uno de los mayores que se han verificado en el Perú desde su conquista. El epicentro posiblemente estuvo en el Puerto de Arica, se sintió hasta unos 1400 Kms. al norte y a la misma distancia hacia el sur. Este movimiento sísmico destruyó la ciudad de Arequipa, llegando a producir fracturas en los cerros de la Caldera, inmediatos a los baños de Yura. Este movimiento sísmico ocasionó fuerte destrucción en Arica, Tacna, Moquegua, Ilo, Torata, Iquique y Arequipa. A las 17:37 horas empezó un impetuoso desbordamiento del mar. La primera ola sísmica alcanzó una altura de 12 metros y arrasó el puerto de Arica. A las 18:30, el mar irrumpió nuevamente con olas de 16

metros de altura, finalmente a las 19:10, se produjo la tercera ola sísmica que varó la corbeta América de 1560 toneladas y el USS Wateree de los Estados Unidos, que fueron arrojados a unos 300 metros de la playa tierra adentro. Las salidas del mar, arrasaron gran parte del litoral peruano y chileno, muriendo en Chala 30 personas y en Arica unas 300 personas. La agitación del océano llegó hasta California, Hawai, Yokohama, Filipinas, Sidney y Nueva Zelanda. En Moquegua murieron 150 personas, en Arequipa 10 y en Tacna 3, se contaron como 300 movimientos sísmicos o réplicas hasta el 25 de agosto, tuvo una magnitud de 8.6.

03 DE NOVIEMBRE DE 1869.- A las 19:30 horas se produjo un fuerte temblor local en Arequipa que causó deterioros en los edificios, alcanzando una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.

13 DE AGOSTO DE 1868. Terremoto de XI grados en la escala de Mercalli Modificada, a las 17:30 horas, destruyó todo Arequipa, más de 350 muertos.

09 DE MAYO DE 1877.- A las 20:28 horas un violento sismo que sacudió y averió las poblaciones de Ilo, Arica, Mollendo y otras. Se produjo un tsunami que inundó el puerto de Ilo y destruyó parte del ferrocarril. En la ciudad de Arica el mar avanzó más de 600 metros. Esa misma noche se produjeron como 100 réplicas. La ola sísmica originada por esa conmoción se extendió casi por todo el Pacífico, llegando hasta las costas de Nueva Zelanda y Yokohama, en Japón.

04 DE MAYO DE 1906.- A las 19:36 horas fuerte temblor en el sur. En Tacna ocasionó derrumbe de casas y cuarteamientos de paredes, igualmente en Arica, sentido fuertemente en Mollendo y en Iquique (Chile).

16 DE JULIO DE 1908.- A las 12:50 horas sacudida de dos minutos de duración, ocasionando desplome de casas, cuarteaduras de paredes en Tacna y Arica, sentido al Sur de Iquique (Chile).

28 DE JULIO DE 1913.- A las 01:40 horas este movimiento sísmico afectó gran parte de la costa sur situada entre Chala y Mollendo, causando roturas de tres cables submarinos frente a la costa, lo que se atribuyó a un deslizamiento del talud submarino. La posición geográfica del epicentro fue de -17° Lat. S. y -74° long. W, y alcanzó una magnitud de 7.0.

06 DE AGOSTO DE 1913.- A las 17:13 horas terremoto que destruyó la ciudad de Caravelí, este movimiento produjo desplome de todos los edificios de dicha ciudad y derrumbes de las laderas del valle. Hubo 4 heridos, además afectó otras poblaciones situadas más al Sur como la de Chuquibamba. En Atico se destruyeron muchas edificaciones, resultando un muerto y varios heridos. En el pueblo de Ocoña el sismo causó daños apreciables en las edificaciones. En la ciudad de Arequipa ocasionó daños en algunos edificios. El epicentro se le ubicó en el Océano Pacífico frente al litoral, siendo su posición geográfica de -17° Lat.

y -74° long. W., y su magnitud de 7.7, en Caravelí y Chuquibamba alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli, en Ocoña y Caylloma se sintió con una intensidad de VI.

11 DE SETIEMBRE DE 1914.- A las 06:48 horas se repitió en Caravelí reedificada después de la catástrofe en 1913, otro violento movimiento que la volvió a dejar en escombros, ocasionando derrumbes en los cerros que bordeaban esa ciudad.

17, 18 DE DICIEMBRE DE 1915.- Movimientos sísmicos sentidos en Cañete, Mollendo y Caravelí.

21 DE MAYO DE 1917.- A las 03:56 horas, afectó a Caylloma, Arequipa quedó en ruinas por un violento terremoto que dejó 22 muertos, y muchos heridos.

11 DE OCTUBRE DE 1922.- A las 09:50 horas fuerte sismo que causó daños considerables en

Arequipa, Caravelí y Mollendo. Fue sentido fuertemente en Chala, Acarí, Puquio, Palpa, Ica y Cañete. La posición geográfica fue de -16° Lat. S. y -72.5° long. W., se estima su profundidad focal en 50 kilómetros y su magnitud 7.4, en Arequipa y Mollendo se sintió con una intensidad de VI de la escala Modificada de Mercalli

24 DE AGOSTO DE 1924.- A las 17:51 horas, movimiento sentido en los departamentos de Ica y Arequipa, causando gran destrucción, murieron 30 personas por desplome de casas.

09 DE ABRIL DE 1928.- Movimiento sísmico de grado VII en la escala de Mercalli Modificada, a las 12:30 horas, destruyó Ayapata, y Tatura Ollachea, Departamento de Puno, saldo cinco muertos.

11 DE OCTUBRE DE 1939.- A las 09:59 horas se registró un fuerte sismo en el Observatorio

Sismológico de Lima. Causó graves daños en el pueblo de Chuquibamba y Caravelí, además

Provocó daños en las ciudades de Arequipa y Moquegua. Se sintió con gran intensidad en las localidades de Puquio, Quicacha, Palpa, Chala y Mollendo, alcanzando intensidades de VII en Chuquibamba, en Arequipa y Mollendo se sintió con una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.

24 DE AGOSTO DE 1942.- A las 17:51 horas terremoto en la región limítrofe de los departamentos de Ica y Arequipa, alcanzando intensidades de grado IX de la Escala Modificada de Mercalli, el epicentro fue, situado entre los paralelos de 14° y 16° de latitud Sur. Causó gran destrucción en un área de 18,000 kilómetros cuadrados. Murieron 30 personas por los desplomes de las casas y 25 heridos por diversas causas. Se sintió fuertemente en las poblaciones de Camaná, Chuquibamba, Aplao y Mollendo, con menor intensidad en Moquegua, Huancayo, Cerro de Pasco, Ayacucho, Huancavelica, Cuzco, Cajatambo, Huaraz y Lima. Su posición geográfica fue -15° Lat. S. y -76° Long. W. y una magnitud de 8.4, en Arequipa tuvo una intensidad de V en la Escala Modificada de Mercalli.

11 DE MAYO DE 1948.- A las 03:56 horas Fuerte movimiento sísmico en la región sur afectó parte de los Departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Los efectos destructores fueron máximos dentro de un área aproximada de 3,500 Km², dejando el saldo de 1 muerto y 66 heridos. En el área central alcanzó el grado VII en la Escala Modificada de Mercalli. La posición geográfica del epicentro fue, de -17.4° Lat. S. y -71° Long. W. La profundidad focal se estimó en unos 60-70 Km., con una magnitud de 7.1, en Moquegua se sintió con una intensidad de VII y en Arequipa alcanzó una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.

20 DE JULIO DE 1948.- A las 06:03 horas sismo ligeramente destructor en las poblaciones de

Caravelí y Chuquibamba. En el área epicentral alcanzó el grado VI-VII en la Escala Modificada de Mercalli. La posición geográfica del sismo fue de -16.6° Lat. S. y -73.6° long. W., la magnitud fue de 7.1.

04 DE MARZO DE 1951.- A las 06:18 horas, sismo originado en las cercanías de Chala, y ligeramente destructor en Caravelí.

03 DE OCTUBRE DE 1951.- A las 06:08 horas fuerte temblor en el Sur del país. En la ciudad de Tacna se cuartearon las paredes de un edificio moderno, alcanzó una intensidad del grado VI en la Escala Modificada de Mercalli. Se sintió

fuertemente en las ciudades de Moquegua y Arica. La posición geográfica fue de -17° Lat. S. y -71° long. W., y su profundidad de 100 Km.

26 DE FEBRERO DE 1952.- Movimiento sísmico de magnitud 7,5 en la escala de Richter a las 06:31 horas afectó Coasa y Macusani en Puno.

21 DE JULIO DE 1955.- Sentido en las ciudades de Caravelí, Ica y Arequipa, ocasionó algunos agrietamientos de paredes y el derrumbe de la Iglesia del Beaterio.

15 DE ENERO DE 1958.- A las 14:14:29 horas terremoto en Arequipa que causó 28 muertos y 133 heridos. Alcanzó una intensidad del grado VII en la Escala Modificada de Mercalli, y de grado VIII en la escala internacional de intensidad sísmica M.G.S.K. (Medvedev, Sponheuer y Karnik). La posición geográfica del epicentro fue localizado en las siguientes coordenadas: 16.479° Lat. S. y -71.648° Long. W., con una profundidad focal de 60 Km. y una magnitud 6.2.

13 DE ENERO DE 1960.- A las 10:40:34 horas fuerte terremoto en el departamento de Arequipa que dejó un saldo de 63 muertos y centenares de heridos. El pueblo de Chuquibamba quedó reducido a escombros, siendo igualmente destructor en Caravelí, Cotahuasi, Omate, Puquina, Moquegua y la ciudad de Arequipa.

El radio de perceptibilidad fue, de aproximadamente 750 Km. sintiéndose en toda la extensión de los departamentos de Cuzco, Apurímac y Ayacucho. En el área epicentral la intensidad fue del grado VIII, en la escala internacional de intensidad sísmica M.S.K. Este sismo fue percibido en la ciudad de Lima con una intensidad del grado III y en la ciudad de la Paz con el grado III-IV. La posición geográfica del epicentro fue de: -16.145° Lat. S. y -72.144° Long. W. La profundidad focal se estima en 60 Km., y una magnitud de 6.2.

09 DE MARZO DE 1960.- A las 18:54 horas, se produjo una violenta réplica del terremoto del 13 de Enero, en la ciudad de Arequipa se cayeron las cornizas removidas, este sismo fue, sentido en Puno, en los Puertos de Matarani y Mejía tuvo una intensidad de V en la Escala

Modificada de Mercalli, en la ciudad de Arequipa se sintió con una magnitud de 6.0; El epicentro se ubicó a -16° Lat. S. y -72° Long. W.

26 DE ENERO DE 1964.- A las 04:00 horas se produjo un sismo en el sur del Perú, en Arequipa como producto del violento movimiento se registró cuatro heridos, y daños en las viviendas que ya se encontraban remecidas por anteriores sismos, este sismo tuvo una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli en la ciudad de Arequipa, en Mollendo y Ubinas alcanzó una intensidad de V.

17 DE OCTUBRE DE 1966.- Terremoto en Lima y Callao. Se sintió en todo el Norte Chico y algunas localidades del Sur. Afectó numerosas poblaciones del interior.

18 DE AGOSTO DE 1972.- 09:51 horas sismo en la provincia de Víctor Fajardo, Ayacucho. Magnitud de 5.4 en la escala de Richter. Dos muertos y sesenta viviendas dañadas.

5 DE ENERO DE 1974.- 03:34 horas sismo en las provincias de Huarochirí, Yauyos y Cañete. Se sintió en otras localidades ubicadas a más de 4 mil metros sobre el nivel del mar. Ocho muertos y numerosos heridos.

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. Además ocasionó graves daños en edificios relativamente modernos como el Hospital Regional N°2 (Ex-empleado) Programa académico de Arquitectura y el pabellón Nicholson, ubicados estos 2 últimos en los Campus de la Universidad de San Agustín. La posición geográfica del epicentro fue localizada en las siguientes coordenadas: -16.515° latitud S. y -72.599° Longitud W. La profundidad focal se estima en 52.5 Km., y la magnitud de 6.2.

5 DE ABRIL DE 1966.- Tras un largo silencio sísmico, terremoto en Cusco a las 15:15 horas, deja 27 muertos, 125 heridos, 2 mil damnificados. Magnitud de 5.8 grados Richter.

B23 DE JULIO DE 1988.- 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.

29 DE MAYO DE 1990.- 21:34 horas terremoto en San Martín, Amazonas, Cajamarca, Rioja, Moyobamba, Chachapoyas, Jaén y Bagua. Magnitud 6.4 grados Richter. 77 muertos, 1,680 heridos, 58,835 damnificados y 11 mil viviendas destruidas.

4 DE ABRIL DE 1991.- 23:19 horas terremoto magnitud 6.2 Richter. Afectó San Martín, Amazonas y La Libertad. Muertos: 53, Heridos: 216. Damnificados: 181,344. Viviendas: 30,224 destruidas. Remeció Rioja, Moyobamba, Chachapoyas y Bolívar. 139 escuelas se desplomaron.

18 DE ABRIL DE 1993.- 04:16 horas sismo de magnitud 5.6. Afectó Lima, Chaclacayo, San Juan de Lurigancho y Puente Piedra. Muertos: 3, damnificados 35, viviendas destruidas 7.

23 DE SETIEMBRE DE 1995. Un sismo de 5.1 grados estremeció cinco departamentos. El epicentro se ubicó en el Océano Pacífico a 220 Km. Al suroeste de Casma. Se sintió por el norte hasta Chiclayo y por el sur hasta Ica. La onda sísmica alcanzó Huaraz. Hubo ligeros desprendimientos de arena en el serpentín de Pasamayo al norte de Lima.

4 DE OCTUBRE DE 1995.- Un temblor de 4 grados sacudió las localidades cuzqueñas de Pillpinto, Acos, Sangarará y Pomacanchi. En Pillpinto la mayoría de las viviendas fueron severamente afectadas.

10 DE DICIEMBRE DE 1995.- Un temblor de 4.3 grados en la escala de Richter sacudió a las 11:10 horas las provincias de Ica, Pisco y Chincha, causando gran susto a pobladores. El epicentro fue localizado 70 Km. al oeste de Ica.

12 DE NOVIEMBRE DE 1996.- (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.

31 DE OCTUBRE DE 1999.- se produce un violento movimiento sísmico en el distrito de Chuschi Cangallo Departamento de Ayacucho. Magnitud de 4 escala de Richter causó graves daños en las viviendas que en su totalidad son de material rústico. Provocando 26 heridos (6 graves evacuados al hospital de Huamanga 14 heridos leves se atendieron en puesto de socorro), gran número de viviendas afectadas que requieren reparación y 355 viviendas destruidas.

23 DE JUNIO DE 2001.- A las 15 horas 33 minutos, 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.

08 DE AGOSTO DE 2003.- Se registraron 02 movimientos sísmicos de regular intensidad en el distrito de Capacmarca, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco, que causaron daños en diversos lugares de los departamentos del Cusco y Apurímac, dejando un total de 1,112 personas damnificadas, 4,793 personas afectadas, 1,173 viviendas afectadas, 250 viviendas destruidas.

30 DE ABRIL DE 2004.- Se produjeron cuatro sismos en el distrito de Chuschi, el primero se produjo el 30 de Abril a las 16.02 horas, con magnitud 3.7 E. R. e intensidad III. El segundo fue el 01 de Mayo a las 02:52 horas, con magnitud 3.8 e intensidad de III a IV. El tercero ocurrió el 01 de Mayo a las 07.23 horas, con magnitud 4.7 e intensidad de IV a V. El cuarto sismo sucedió el 02 de Mayo a las 02:25 horas, con magnitud 3.6 e intensidad III. Como resultado se registraron 850 personas damnificadas y 1,165 personas afectadas; 170 viviendas destruidas y 391 viviendas afectadas.

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 Moyobamba. 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.

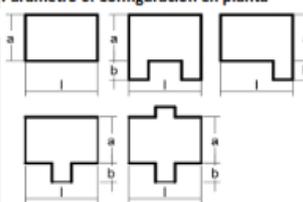
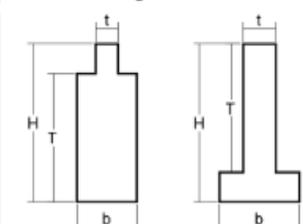
01 DE OCTUBRE DE 2005.- A las 12:19 horas se produjo un movimiento sísmico en el distrito de Omate, de la provincia de Sánchez Cerro del departamento de Moquegua, con una profundidad de 14 Km y de magnitud 5.4 de la Escala de Richter, registrándose daños personales en los distritos de San Cristóbal: 469 familias damnificadas y 311 afectadas; en Cuchumbaya, 02 familias damnificadas y 68 afectadas. También se registraron 471 viviendas destruidas y 379 afectadas.

15 DE AGOSTO DE 2007.-Gran sismo con origen en el proceso de convergencia de placas, ocurrió el día 15 de Agosto de 2007 con una magnitud de 7.0ML (escala de Richter) y 7.9Mw (escala Momento), denominado como "el sismo de Pisco" debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al Oeste de esta ciudad. El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80%) y menor en localidades aledañas, llegándose a evaluar una intensidad del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada (MM). Este sismo presenta su epicentro y replicas entre las áreas de ruptura de los sismos ocurridos en Lima en 1974 (7.5Mw) e Ica en 1996 (7.7Mw). Asimismo, este sismo produjo un tsunami que se originó frente a las localidades ubicadas al sur de la península de Paracas.

ANEXO C

FORMATOS PARA EVALUACIÓN SÍSMICA

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA
MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD
FICHA DE EVALUACIÓN PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO**

DATOS REFERENCIALES	PARÁMETRO	CLASE	ELEMENTO DE EVALUACIÓN
Fecha:..... Ubicación:..... Manzana:..... Lote:..... Uso actual:..... N° de pisos.....	1	TIPO Y ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE	Completar y marcar según lo observado Año de construcción: _____ Asesoría técnica <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
	2	CALIDAD DEL S.R.	Marcar según lo observado Estado de materiales <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Malo Proceso Constructivo <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Deficiente
	3	RESISTENCIA CONVENCIONAL	Especificar según lo observado: N: Número de pisos:..... Ax: Área de muros en X (m2)..... Ay: Área de muros en Y (m2)..... h: Altura promedio de entrepiso (m)..... Ps: Peso del sistema resistente (ton/m2)..... Ac: Área cubierta (m2)..... Pc: Peso de cubierta (ton/m2).....
Parámetro 6. Configuración en planta 	4	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACIÓN	Marcar según lo observado Presencia de sales <input type="checkbox"/> Presencia de filtraciones <input type="checkbox"/>
	5	DIAFRAGMAS HORIZONTALES	Marcar según lo observado Discontinuidades abruptas <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Buena conexión diafragma-elemento vertical <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Deflexión del diafragma <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
	6	CONFIGURACIÓN EN PLANTA	Especificar y marcar según lo observado: a:..... b:..... L:.....
Parámetro 7. Configuración en elevación 	7	CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN	Especificar y marcar según lo observado: Aumento o reducción de masas o áreas % T/H: Piso blando <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Irregularidad SR <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Columna corta <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
	8	DIST. MÁXIMA ENTRE COLUMNAS	Especificar: L (Espaciamiento de columnas en metros) S (espesor de la columna maestra en metros) Factor L/S
	9	TIPO DE CUBIERTA	Marcar según lo observado Cubierta estable <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Conexión cubierta-elemento vertical, adecuada <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Cubierta plana <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Material liviano <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Cubierta en buenas condiciones <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
	10	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	Calificar con B (bueno), R(regular) y M(malo) según conexión al S.R. 10.1-Corniza y parapetos <input type="checkbox"/> 10.2-Tanques de agua prefabricados <input type="checkbox"/> 10.3-Balcones y volados <input type="checkbox"/> 10.4-Pequeños elementos <input type="checkbox"/>
11 ESTADO DE COSERVACIÓN	Estructuras de concreto armado en: Buen estado <input type="checkbox"/> Ligeramente dañado <input type="checkbox"/> Mal estado <input type="checkbox"/>		

ANEXO D

RESULTADOS DE ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

ANEXO E

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA PARA EDIFICACIONES DE LÍNEAS VITALES

ANEXO F

PLANOS