



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA LA MEJORA
DE LOS PARÁMETROS ESTRUCTURALES DEL HOSPITAL
REGIONAL DE MOQUEGUA TIPO 2B, MOQUEGUA 2020**

PRESENTADA POR

BACHILLER LUIS MIGUEL CHAMBI APAZA

ASESOR:

MGR. FABRIZIO DEL CARPIO DELGADO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA – PERÚ

2023

CONTENIDO

	Pág.
PÁGINA DE JURADO	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ECUACIONES	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.	1
1.2. Definición del problema.....	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos.	4
1.3. Objetivos de la investigación.	4
1.3.1. Objetivo general.	4
1.3.2. Objetivos específicos.	5
1.4. Justificación.....	5
1.5. Alcances y limitaciones.....	6
1.6. Variables.	6
1.6.1. Operacionalización de variables.	7
1.7. Hipótesis de la investigación.....	8
1.7.1. Hipótesis general.....	8

1.7.2 Hipótesis derivadas.	8
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de la investigación.	9
2.2. Bases teóricas.	16
2.2.1. Vulnerabilidad sísmica.....	16
2.2.2. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica.....	18
2.2.3. Método ATC – 21 (FEMA - 154).	20
2.2.4. Método de índice de vulnerabilidad (Benedetti – Petrini).	29
2.2.5. Función de vulnerabilidad sísmica.....	43
2.2.6. Edificaciones esenciales.....	47
2.3. Definición de términos.....	48
CAPÍTULO III.....	50
MÉTODO.....	50
3.1. Tipo de investigación	50
3.2. Diseño de la investigación.	51
3.3. Población y muestra.	51
3.3.2. Muestra.....	51
3.4. Descripción de instrumentos para la recolección de datos.....	51
CAPÍTULO IV.....	53
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	53
4.1. Presentación de resultados.	53
4.1.1. Resultados de la evaluación visual rápida (RVS).	53
4.1.2. Índice de vulnerabilidad estructural.	58
4.1.3. Daños estructurales.	62
4.1.4. Propuestas técnicas de mejora estructural.....	63

4.2. Contrastación de hipótesis.	65
4.3. Discusión de resultados.....	66
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1. Conclusiones	69
5.2. Recomendaciones.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÉNDICES	77
MATRIZ DE CONSISTENCIA	85
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de las variables	7
Tabla 2 Región sísmica en función de la aceleración espectral	22
Tabla 3 Parámetros que determinan el tipo de suelo según FEMA (2015).	23
Tabla 4 Sistemas estructurales resistentes a fuerzas laterales	24
Tabla 5 Nivel de daño en función de la puntuación de RVS	27
Tabla 6 Clasificación de daño según tipo de edificio	28
Tabla 7 Escala de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini.....	30
Tabla 8 Nivel de vulnerabilidad.....	43
Tabla 9 Funciones de vulnerabilidad para diferentes índices de vulnerabilidad. ..	46
Tabla 10 Escala de evaluación según el nivel de daño	47
Tabla 11 Clasificación de edificaciones esenciales	47
Tabla 12 Características generales de la edificación.....	53
Tabla 13 Resultados de la evaluación según ATC 21 – FEMA 154.....	57
Tabla 14 Evaluación método de índice de vulnerabilidad – Sectores A - B- C.....	59
Tabla 15 Evaluación método de índice de vulnerabilidad – Sectores D - E.....	60
Tabla 16 Índice de vulnerabilidad normalizado.....	61
Tabla 17 Aceleraciones según tipo de sismo – Departamento de Moquegua.....	62
Tabla 18 Índice de daño calculado para cada sector	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de irregularidades verticales en edificaciones.....	26
Figura 2. Representación de irregularidades verticales en edificaciones.....	26
Figura 3. Líneas sucesivas de resistencia.	32
Figura 4. Factor de zona sísmica.....	35
Figura 5. Representación de una discontinuidad de diafragma.....	37
Figura 6. Irregularidades en planta: vista entrante y torsional.	38
Figura 7. Configuración en elevación.	39
Figura 8. Irregularidad de rigidez – suelo blando.	40
Figura 9. Irregularidad de masa.	40
Figura 10. Funciones de vulnerabilidad para diversas tipologías estructurales.	45
Figura 11 Área A del edificio hospitalario}	54
Figura 12 Área B del edificio hospitalario	55
Figura 13 Área C del edificio hospitalario	55
Figura 14 Área D del edificio hospitalario.....	56
Figura 15 Área E del edificio hospitalario	57
Figura 16 Niveles de vulnerabilidad estructural recuperados	62

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Índice de vulnerabilidad (I_v)	30
Ecuación 2. Resistencia convencional (F_S)	34
Ecuación 3. Cortante resistente de los muros (V_R)	34
Ecuación 4. Fuerza basal actuante en la base (V_A)	34
Ecuación 5. Fuerza basal actuante en la base (V_A)	34
Ecuación 6. Vista entrante (B_1)	38
Ecuación 7. Vista entrante (B_2)	38
Ecuación 8. Regresión de daño (D)	45

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo con el objetivo de proponer mejoras en los parámetros estructurales del Hospital Regional de Moquegua, partiendo de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y los posibles daños que sufriría la estructura luego de un sismo. Fue una investigación no experimental, de enfoque cuantitativo y nivel descriptivo, teniendo como población los 5 sectores que conforman el mencionado hospital, aplicando los lineamientos encontrados en el Método ATC 21 (FEMA – 154) y el índice de vulnerabilidad de Benedetti y Pretini. Se encontró que los sectores presentan un nivel de vulnerabilidad bajo, propenso a daños leves, caracterizados por fisuras y grietas, cuya probabilidad de aparición es baja para sismos leves y moderados, pero con una posibilidad de sufrir daños moderados durante un sismo fuerte y daños severos frente a un evento sísmico de mayor intensidad, particularmente el sector C, el cual presenta irregularidades en planta y en altura. En base a ello, se recomienda el refuerzo estructural para contrarrestar los efectos de torsión en planta por medio de arrostramientos metálicos diagonales, así como la modificación de elementos no estructurales en las fachadas del sector A, propensos a desprenderse y causar daño durante un sismo.

Palabras clave: vulnerabilidad, índice de daño, ATC 21, refuerzo estructural.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of proposing improvements in the structural parameters of the Regional Hospital of Moquegua, based on the evaluation of seismic vulnerability and the possible damage that the structure would suffer after an earthquake. It was a non-experimental investigation, with a quantitative approach and a descriptive level, having as a population the 5 sectors that make up the aforementioned hospital, applying the guidelines found in the ATC Method 21 (FEMA - 154) and the Benedetti and Pretini vulnerability index. It was found that the sectors have a low level of vulnerability, prone to slight damage, characterized by fissures and cracks, whose probability of occurrence is low for mild and moderate earthquakes, but with a possibility of suffering moderate damage during a strong earthquake and severe damage against a seismic event of greater intensity, particularly sector C, which presents irregularities in plan and height. Based on this, structural reinforcement is recommended to counteract the effects of torsion in plan by means of diagonal metal bracing, as well as the modification of non-structural elements in the facades of sector A, prone to detach and cause damage during an earthquake.

Keywords: vulnerability, damage index, ATC 21, structural reinforcement.

INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad del Perú, desde el punto de vista geográfico, ante la acción de eventos sísmicos que suceden en el planeta es significativa, ya que se ubica precisamente en el cinturón o anillo de fuego del pacífico en donde se ubican algunas de las áreas de subducción más trascendentales del mundo, cuyo registro de actividad sísmica se ha reportado en un 85%. Bajo esta premisa, se resalta la relevancia de las edificaciones esenciales que, según el FEMA (1999), son fundamentales en la respuesta ante las emergencias y en la superación de los desastres (fenómenos naturales). Dichas instalaciones y, específicamente, las que deben responder ante situaciones de emergencia, muestran un aumento significativo de la demanda de sus servicios posterior a la ocurrencia del sismo.

A su vez, las edificaciones de salud necesitan atenciones especiales en cuanto a la reducción de los riesgos, debido a características como las personas que lo ocupan y a la función propia que deben cumplir en desastres en general y eventos sísmicos en particular; en cuanto a la conservación de la vida y la salud, con énfasis en el diagnóstico y tratamiento de heridas y lesiones ocasionadas durante el evento o posterior a éste.

En el mismo sentido práctico, ante un evento sísmico, la propia estructura caracteriza lo que podría suceder ante una situación sísmica, porque es una propiedad de la propia edificación, que se describe a través de la relación causa-efecto, donde el número uno es el evento sísmico y el dos representa las consecuencias o daños. En consecuencia, el tratamiento a la fragilidad sísmica debe caracterizarse por el daño como tal que se evalúa y las amenazas a las que se enfrenta.

Con base a lo descrito, el presente estudio busca investigar la vulnerabilidad sísmica del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B aplicando las metodologías ATC-21 e índice de vulnerabilidad (Moquegua, 2020), cuyo objetivo principal se orienta en determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de dicha edificación. Por lo que la investigación está estructurada de la siguiente forma:

Capítulo I: en el cual se describe la realidad problemática, la definición del problema, los objetivos, se justifican las razones del estudio, así como el alcance y limitaciones del mismo. También, incluirá la definición de las variables de estudio, su operacionalización y el planteamiento de las hipótesis.

Capítulo II: contiene las investigaciones previas y desarrolla las bases teóricas en torno al tema planteado, lo que es necesario para una adecuada comprensión de la investigación.

Capítulo III: se describe la metodología a utilizar, la cual incluye el tipo y diseño de la investigación, la identificación de la población y muestra, y la descripción de los instrumentos para recabar los datos empleados.

Capítulo IV: contienen los aspectos administrativos, donde se incluye el cronograma, presupuesto y financiamiento de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad problemática

El Comité VISION 2000 de la *Structural Engineers Association of California* (SEAOC, 1995) conceptualiza las edificaciones esenciales como las que se consideran críticas en labores de atención de emergencia sísmica, por su parte, la *Federal Emergency Management Agency* (FEMA, 1999), señala que son aquellas trascendentales para responder ante la emergencia y ulterior recuperación del desastre. La Norma Técnica Peruana E.030 (2017) establece, principalmente, como estructuras esenciales a los hospitales, centrales de comunicación, centrales de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua, centros de enseñanza y edificaciones que sirvan de resguardo posterior al desastre.

En lo que concierne a los centros de salud u hospitales, se ha evidenciado su vulnerabilidad ante las consecuencias de algunas amenazas en la infraestructura; habiéndose comprobado que el mayor volumen de las pérdidas, fue producto de la ubicación en áreas vulnerables. Es por ello que, se ha vuelto común ver en las comunidades, establecimientos de salud cubiertos por el agua o lodo, al igual que la pérdida de techos por los huracanes, destrucciones por

deslizamientos, presencia de fisuras graves en su estructura, evidencia de asentamiento, etc. Esto es producto de ignorar aspectos del contexto y del mismo suelo al momento de planificar, diseñar y construir una edificación, lo que afecta la seguridad y, por ende, la calidad de las edificaciones de salud (Organización Panamericana de la Salud

(OPS), 2010). Por otro lado, respecto al comportamiento estructural de la edificación, este varía en función de las diversas amenazas, del propio diseño, además de las propiedades y nivel de soporte de los materiales que lo componen. En este contexto, la mayor parte de las debilidades en las estructuras son invisibles al ojo humano, incluso previo a un acontecimiento o catástrofe, por tanto, resulta fundamental evaluar estos componentes, mediante la opinión de expertos que puedan identificar el tipo y grado de riesgos posibles y las correspondientes acciones preventivas (OPS, 2010).

En relación con todo lo anterior, se destaca que en el Perú uno de los graves problemas es el índice de construcciones informales, que de acuerdo al Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID, 2018), corresponden al 70%, dentro de las cuales, unas quinientas mil tienen elevados índices de vulnerabilidad ante un terremoto de alta intensidad. Además, sólo el 6% tienen el visto bueno de un profesional calificado (Capital, 2018).

Adicionalmente, es importante destacar que el Perú es considerado como un área de gran actividad sísmica, ya que geográficamente se encuentra

en el cinturón de fuego del Pacífico, precisamente donde ocurre el 85% de la actividad sísmica de la Tierra (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2011), que, sumado a los aspectos anteriores, aumentan la vulnerabilidad de las estructuras por la amenaza de actividad sísmica.

Ahora bien, entre los departamentos que constituyen el Perú, se encuentra Moquegua, en donde recientemente, se ha puesto en funcionamiento la nueva edificación “Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B”, ubicado en la provincia de Mariscal Nieto. Esta obra fue ejecutada por contratistas del sector privado, quienes consignaron al gobierno regional la documentación técnica (dossier de calidad), después de la construcción de este proyecto, en cuya revisión se encontraron diversas irregularidades técnicas que no se adherían a los requisitos normados, entre éstos se contemplan inconsistencias en los diseño de los planos “as built”, respecto a lo construido y aspectos como los componentes de líneas vitales, tales como sistemas de combustibles, aire acondicionado, entre otros. Adicionalmente, se encontraron ambigüedades en las especificaciones técnicas de varios sistemas, lo que ha generado una gran incertidumbre respecto a la calidad estructural y seguridad de esta edificación.

Con base a este panorama, disponer de un estudio de vulnerabilidad estructural del referido centro salud y el respectivo historial del diseño, construcción y situación actual del edificio, es un aspecto de vital importancia para diagnosticar de forma rápida y certera, los daños probables ante la ocurrencia de un evento e intervenir con anticipación, conducentes a cumplir todas las exigencias correspondientes a la normativa técnica peruana E.030 (2017).

En línea con lo antes expuesto, el presente trabajo considera el desarrollo de un estudio acerca de la vulnerabilidad sísmica del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B aplicando las metodologías ATC-21 e índice de vulnerabilidad, Moquegua 2020.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general.

¿Cuáles mejoras en los parámetros estructurales pueden proponerse a través de un estudio de vulnerabilidad sísmica en el Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B, Moquegua 2020?.

1.2.2. Problemas específicos.

¿Cuál es el índice de vulnerabilidad estructural del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B, Moquegua 2020?.

¿Cuáles son los daños de la estructura que se observan en el comportamiento de las funciones de vulnerabilidad sísmica del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B, Moquegua 2020?.

¿Cuáles son las propuestas técnicas de mejoras para los parámetros estructurales más vulnerables del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B, orientados al cumplimiento de los requisitos técnicos normados (E.030, 2017)?.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Proponer mejoras en los parámetros estructurales del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B a través de un estudio de vulnerabilidad sísmica.

1.3.2. Objetivos específicos.

1. Determinar el índice de vulnerabilidad estructural del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B, Moquegua 2020.
2. Evaluar los daños de la estructura mediante el comportamiento de las funciones de vulnerabilidad sísmica del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B, Moquegua 2020.
3. Categorizar propuestas técnicas de mejoras para los parámetros estructurales más vulnerables del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B, orientados al cumplimiento de los requisitos técnicos normados (E.030, 2017).

1.4. Justificación

El presente estudio se justifica desde el punto de vista teórico, puesto que aportará conocimientos sobre estudios de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones, específicamente las del tipo esenciales que incluyen los centros de salud, categorizadas de esta manera, por la Norma Técnica Peruana E.030 (2017), la cual establece que este tipo de edificaciones no debe ser ocupada justo después de la ocurrencia de un sismo, incluso, la posibilidad de ser centro de refugio temporal a los individuos que resultaron afectados por un fenómeno natural.

Por otro lado, esta investigación tiene un alcance metodológico ya que expone métodos alternativos que pueden aplicarse para los estudios de vulnerabilidad de edificaciones esenciales, pudiendo adaptarlas a los requerimientos de las normas técnicas del país.

A su vez, desde la practicidad y lo social el estudio contribuye al pretender dar una solución a la problemática planteada mediante la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras, en cuanto a determinar los requisitos que

deben cumplir las edificaciones esenciales, especialmente los centros de salud, tanto en aspectos estructurales como funcionales al momento de la ocurrencia de un sismo, ya que estas, generalmente cumplen un rol fundamental al servir de refugio para los desplazados cuyas viviendas sufren daños, además, atienden las necesidades médicas de las personas después de ocurrido un sismo o cualquier otro desastre natural. A esto, también hay que incluir el posible efecto ante situaciones de pandemia o crisis sociales, que involucra un incremento considerable en el número de personas o la movilización de implementos de gran envergadura.

1.5. Alcances y limitaciones

El presente estudio contempla los siguientes alcances y limitaciones:

- La investigación se realizará para la edificación del Hospital Regional de Moquegua.
- El tiempo de duración está estipulado para la duración del año 2020; sin embargo, puede presentar interrupciones por varios aspectos relacionados a la situación actual del país decretada como estado de emergencia por COVID-19; por lo tanto, los tiempos que se establezcan serán de referencias.
- Acceso completo a los documentos e información de la edificación por parte del Gobierno Regional del sector y/o de los dueños de procesos involucrados.

1.6. Variables

- Variable Independiente: Vulnerabilidad Sísmica.
- Variable Dependiente: Parámetros Estructurales.

1.6.1. Operacionalización de variables.

Lo relacionado con la operacionalización de las variables se especifica en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1
Operacionalización de las variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores	Tipo
Independiente: Vulnerabilidad sísmica	Representa la predisposición intrínseca de una determinada estructura, grupo de ellas o incluso una zona urbana completa a experimentar daño luego de que ocurre un movimiento sísmico de una severidad específica. Este término se asocia de manera directa con las especificaciones de diseño de la estructura (Barbat, 1998).	Nivel de vulnerabilidad estructural	Índice de vulnerabilidad estructural	Continua
	Se refiere a la tipología de la estructura, propiedades de los de materiales usados, imprecisiones en las estimaciones de cargas, fallas en el análisis y diseño estructural, plasticidad, dificultades de flexión, anomalías por rigidez (pisos blandos, columnas corta), imperfección lateral en los niveles adyacentes por encima de los parámetros aceptados, colocación desigual de inflexibilidades y masas, geometría anómala en planta, errores en el refuerzo de la estructura, deficiencia en las uniones o nudos y forrado de elementos, traqueteo o colindancia de edificios contiguos (Alonso, 2014).	Funciones de la vulnerabilidad sísmica	Índice de daño	Continua
Dependiente: Parámetros estructurales		Propuestas técnicas	Tipos de alternativas técnicas	Nominal

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general.

Es factible mejorar los parámetros estructurales del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B a través de un estudio de vulnerabilidad sísmica.

1.7.2 Hipótesis derivadas.

1. El índice de vulnerabilidad estructural del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B es bajo, Moquegua 2020.
2. El estado de daños de la estructura mediante el comportamiento de las funciones de vulnerabilidad sísmica del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B es severo.
3. Las propuestas técnicas de mejoras permitirán optimizar los parámetros estructurales más vulnerables del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B, orientados al cumplimiento de los requisitos técnicos normados (E.030, 2017).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Respecto a las investigaciones a nivel internacional, referentes al presente tema de estudio, se encontraron algunas, las cuales se citan a continuación.

Segun Alzate Osorio realizaron un proyecto de investigación para la Universidad Libre Seccional Pereira, titulado: “Evaluación de la Vulnerabilidad Estructural de las Edificaciones Indispensables del Grupo III y IV en el Municipio de Viterbo, Caldas”. Este comenzó con la evaluación de la calidad, actualidad y pertinencia de la información, luego se efectuó un diagnóstico de la condición estructural de las edificaciones indispensables de la población estudiada (alcaldía municipal, Hospital San José, Institución Educativa La Milagrosa, Cuerpo de Bomberos y Plaza de Mercado). Posteriormente, cada edificación fue evaluada mediante el software ETABS, considerando los estándares de la NSR -10 para hallar las deficiencias estructurales de los diferentes elementos y su consecuente vulnerabilidad; finalmente, se formularon presupuestos de las alternativas de construcción que satisfagan los requisitos de la norma NSR-10. Asimismo, para recabar los datos fue usada una ficha técnica de diagnóstico tipo encuesta. De los

resultados, se destacó que el 60% de las edificaciones cuentan con irregularidad en planta y en altura, lo que perjudica su adecuado comportamiento estructural; el 80% de las edificaciones tienen sistema de cubierta pesada, siendo esto representado en elevadas fuerzas horizontales en el último piso por acción de un sismo; el 20% de las edificaciones cuentan con una vulnerabilidad alta y el 80% con vulnerabilidad media (Alzate, Osorio, & Osorio, Proyecto de grado, 2017).

Según Álzate A. desarrollaron un proyecto de investigación en la Universidad Libre Seccional Pereira, titulado: “Evaluación de la Vulnerabilidad Estructural de las Edificaciones Indispensables del Sector Educación del Grupo III en el Municipio de Dosquebradas, Risaralda”. Cuyo objetivo principal contempló evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables de los Grupos III y IV, según la NSR-10, localizadas en el perímetro urbano del municipio de Viterbo. Para ello, se evaluó la vulnerabilidad estructural de 11 colegios/escuelas, se realizó levantamiento estructural y arquitectónico de las mismas, utilizando ficha de caracterización; luego fueron modelados en un programa adecuado, los índices de sobre - esfuerzo y la deriva de las edificaciones de dos o más pisos según los parámetros de las NSR-10; por último, se establecieron acciones para garantizar lo dispuesto en la NSR-10 para edificaciones indispensables. Tomando en cuenta las fichas de caracterización se comprobó que 9 instituciones (81.8%) evidenciaron vulnerabilidad funcional; mientras que, las edificaciones de 2 pisos cumplían con las exigencias de la NSR-10 en cuanto a deriva e índice de sobre esfuerzo; 17 de los 47 bloques (36.2%)

cumplían con las condiciones mínimas de la NSR-10, sin efectuar las medidas proximales (Alzate, Cardona, Medina, & Serna, 2016).

Farfán y Díaz (2009) elaboraron un trabajo de investigación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, identificado: “Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural en un Sector de la Zona 12, de la Ciudad de Guatemala”. El estudio se centró en establecer el nivel de vulnerabilidad sísmica mediante un estudio visual rápido de los diversos edificios de un sector, calculando los daños estimados ante posibles pérdidas materiales y humanas, producto del riesgo latente de suceder un evento sísmico de significativa intensidad y crear un plan para la reducción de la vulnerabilidad del sector estudiado. Las estimaciones apuntan a que un total de 1 131 813,74 m² de área construida, significando 43.80% del total, sufriría daños severos por un evento sísmico con aceleraciones del suelo alrededor de 0.3g en la componente horizontal, teniendo una probabilidad de ocurrencia de por lo menos, una vez cada cincuenta años, con un costo de reposición de Q. 279 486 826,63. Los índices de vulnerabilidad estructural de las 3 849 unidades evaluadas en el sector de estudio, fueron: 53.29% mínima, 34.78% significativa, 8.41% alta, 3.51% muy alta. Lo que simboliza que 3.51% de 3849 son 135 viviendas con grado de vulnerabilidad muy alto; 8.41% representa 323 viviendas con un grado de vulnerabilidad alto.

Algunos estudios previos desarrollados a nivel nacional son:

Álvarez y Pulgar (2019) desarrollaron una tesis en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) identificada como “Análisis de vulnerabilidad sísmica de los módulos escolares públicos en el distrito de Villa María del Triunfo mediante el método Índice de vulnerabilidad (FEMA P-154) y su validación

mediante cálculo de distorsiones laterales”. Su objetivo principal fue determinar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones evaluadas cualitativamente con el “Rapid Visual Screen of Buildings for Potencial Seismic”, el análisis cuantitativo estuvo basado en la norma sismorresistente E.030. Para el desarrollo, se clasificaron los respectivos centros educativos, de acuerdo a su sistema, característica y configuración estructural, para luego, estimar cuán vulnerable es ante un sismo, aplicando la metodología cualitativa; por último, se halló el daño proyectado de la edificación, según su distorsión, empleando la metodología cuantitativa. De los resultados se destaca que, se identificaron 247 irregularidades, de las cuales, el 5.26% corresponde a las anomalías de sistemas no paralelos, 5.67% a esquinas entrantes, 3.24% por alteración de niveles divididos, 23.89% es producto de anomalías por torsión, 60.32% por anomalía de columna corta y el 1.62% es producto de la irregularidad *out of plane setback*. En este sentido, estas fallas ocasionan que aumente la vulnerabilidad de las estructuras y se estimen daños superiores; de igual forma, se verificó que un 40% de las estructuras no son vulnerables, pues se estiman daños estructurales ligeros, de esto, únicamente el 12.6% corresponde a estructuras de concreto armado. Casi un tercio de los módulos son vulnerables, visto que se estima puedan sufrir daños estructurales moderados; mientras que, 29% de las estructuras se catalogan como muy vulnerables; por lo tanto, debe evitarse que sigan funcionando, y no se podrán usar como refugio para los habitantes aledaños.

Cristian López elaboró una tesis de ingeniería para la Universidad Nacional Federico Villarreal, titulada: “Evaluación del Nivel de Vulnerabilidad Sísmica para edificaciones inspeccionadas con la plantilla ATC-21 Sometidas a una Solicitud

Sísmica en la Urb. Las Gardenias del Distrito de Ate”. Su objetivo general consistió en determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las estructuras evaluadas. El autor empleó la planilla ATC-21 de la FEMA a edificios de 3 o más pisos ubicados en la referida urbanización, para lo cual se parametrizaron indicadores arquitectónicos y estructurales funcionales apreciados a simple vista, luego se computarizaron con el método índice de vulnerabilidad lo que posteriormente determina si la edificación es vulnerable o no si se registra un sismo. El estudio de vulnerabilidad mostró que estos índices tienen una alta relación con las características estructurales de las edificaciones, al igual que los índices de daño previstos mediante las funciones de vulnerabilidad para cada uno de los tipos de aceleraciones sísmica. Se estableció que las edificaciones de la urbanización estudiada, tenían índices de vulnerabilidad que se incrementan en función de la configuración del diafragma horizontal, la anomalía en planta y en la elevación de la propia edificación. Además, se determinaron los niveles de vulnerabilidad sísmica para aceleraciones de suelo, de 0.18 g y 0.27 g, observando niveles desde leve-moderado hasta leve-severo, de acuerdo a cada magnitud de aceleración (Lopez, 2019).

Junior Enríquez realizó una tesis titulada: “Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán, Actualizada a la Norma E-030 2016”, cuyo objetivo principal se basó en evaluar la vulnerabilidad sísmica del edificio en estudio de registrarse un sismo severo. De esta manera, la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la universidad se realizó a través de la metodología de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA - USA); la primera fase consistió en evaluar los bloques del Edificio Esencial

empleando la metodología FEMA 154; posteriormente, en la segunda fase, se seleccionaron los bloques a evaluar a través de la metodología FEMA 310 (para elementos estructurales y no estructurales) y la guía FEMA 74 (para evaluar elementos no estructurales). Los resultados indican que todos los bloques evidenciaron una elevada probabilidad de sufrir daños de grado 3; así como una elevada probabilidad de daño de segundo grado, tomando en cuenta la escala macro sísmica europea. Las derivas resultantes del análisis dinámico de los Bloques 1, 2 y 3, evaluados, detalladamente, sobrepasan en ambos ejes, el parámetro señalado en la norma E-030 ($\Delta_{\text{máx}} = 0.007$) (Porras, 2018).

Calle realizó una tesis en la Universidad Señor de Sipán, denominada: “Vulnerabilidad Estructural de la I.E. N.º 10024 “Nuestra Señora de Fátima”. El estudio se basó en dar a conocer si estas estructuras eran vulnerables ante un sismo, evaluándolas a través de un estudio preliminar empleando el método Rapid Visual Screening del FEMA y el Análisis Dinámico Modal Espectral de la NTE E.030 “Diseño Sismorresistente”. La evaluación fue complementada con ensayo de corazones diamantinos y el análisis de mecánica de suelos; por lo que se logró establecer que los edificios con estructuras vulnerables por eventos sísmicos corresponden a los módulos fabricados en 1950, producto de la gran cantidad de deformaciones presentes en las mismas, por la baja rigidez de sus componentes, resistentes a fuerzas laterales, siendo presentada una propuesta para reforzar estructuralmente agregando muros de corte a la estructura, logrando aportar una rigidez apropiada y dar cumplimiento al código de diseño sismorresistente actual.

Gómez y Loayza, efectuaron una tesis de ingeniería en la Universidad Nacional de Huancavelica, identificada: “Evaluación de la

Vulnerabilidad Sísmica de Centros de Salud del Distrito de Ayacucho”. Con el objetivo de estimar la vulnerabilidad sísmica e índice de daño de las edificaciones estudiadas, frente a eventos sísmicos a través del análisis cualitativo. En este estudio fue empleado el método del índice de vulnerabilidad (método italiano), se ejecutaron las inspecciones en campo utilizando fichas tipo encuestas. En este sentido, los resultados de los tres Centros de Salud evaluados, evidenciaron que los de Concho pata y Santa Elena tienen vulnerabilidad baja, en tanto, el centro de Salud de Belén, registró vulnerabilidad media. Se estableció que para una aceleración de 0.1g, ninguno de los Centros de Salud sufriría daños, para 0.32g, los Centro de Concho pata y Santa Elena sufrirían daños significativos, demandando reparaciones, y el Centro de Belén, evidenciaría daños fuertes, mientras que, para 0.37g, todos los Centros sufrirían daños fuertes, con montos por reparación estimados como muy significativos, por lo que fue recomendado su desalojo y posterior demolición (Prado & Loayza Yañez, 2014).

En cuanto antecedentes regionales, se dispuso de la tesis de Joel Arana para la Universidad José Carlos Mariátegui, titulada “Propuesta de reforzamiento estructural para devolverle la funcionabilidad al pabellón P-3 de la Institución Educativa Santa Fortunata en el distrito de Moquegua. El objetivo de la investigación fue el desarrollo de alternativas del reforzamiento de la estructural de la edificación para la reactivación de su funcionabilidad. El estudio fue cuasiexperimental, donde se empleó la observación como técnica de recolección de datos y se utilizaron los programas SAP2000 V18.0.0 y ETABS 2015 V15.2. Se determinaron rajaduras en muros y columnas; al igual que un significativo peso de la estructura, derivas del orden de 5.39 % que supera el límite de 5 % (albañilería

confinada) en dirección en X en el primer nivel, así como irregularidades de rigidez. Así, se propone un reforzamiento estructural con muros de corte y ensanchamiento de columnas (encamisado) (Almanza, 2018).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Vulnerabilidad sísmica.

La vulnerabilidad es un elemento interno de riesgo de un sujeto, objeto o sistema, que se encuentra expuesto a una amenaza, que significa el nivel de propensión o posibilidad de ser afectados por dicha amenaza (OPS, 2010). Entonces, la vulnerabilidad sísmica constituye el nivel de afectación que se produce sobre una estructura a causa de un evento sísmico, de cierta intensidad que, usualmente, se enuncia en función de la aceleración del terreno (UNESCO, 1980).

El efecto varía en función del grado de sismicidad de la localidad, los componentes existentes de falla, la intensidad del evento, las particularidades geotécnicas de la zona, entre otros; mientras que la causa depende del diseño sismo-resistente, tipo de materiales, la configuración en elevación y en planta, entre otros. (UNESCO, 1980).

La necesidad de realizar un estudio de la vulnerabilidad sísmica se fundamenta en precisar cuál es el estado actual de la edificación y con esa referencia, desarrollar procedimientos de atenuación que posibiliten anticipar efectos perjudiciales (económicos y sociales). Esta evaluación se puede ejecutar de dos formas, mediante de medios subjetivos basados en la observación del daño ocasionado posteriormente a la ocurrencia del evento, con análisis estadístico; y métodos analíticos, utilizando modelos estructurales con las propiedades de los materiales, cargas y normas consideradas (UNESCO, 1980).

2.2.1.1. Factores que influyen en la vulnerabilidad estructural.

Según Alonso (2014), estos son los factores que influyen en la vulnerabilidad estructural:

a. Factores geológicos. Sismicidad del área, magnitud del evento sísmico, falla superficial, particularidades geológicas locales, interacción suelo-estructura, extensión y duración de los movimientos del terreno, asiento del terreno, licuación del terreno, desequilibrio de cuestas, derrumbes, maremotos.

b. Factores estructurales. Tipología de la estructura, propiedades de los de materiales usados, imprecisiones en las estimaciones de cargas, fallas en el análisis y diseño estructural, plasticidad, dificultades de flexión, anomalías por rigidez (pisos blandos, columnas corta), imperfección lateral en los niveles adyacentes por encima de los parámetros aceptados, colocación desigual de inflexibilidades y masas, geometría anómala en planta, errores en el refuerzo de la estructura, deficiencia en las uniones o nudos y forrado de elementos, traqueteo o colindancia de edificios contiguos.

c. Factores arquitectónicos. Distribución geométrica anormal en planta y en elevación del edificio, factores urbanísticos incoherentes, luces enormes y escasas columnas, colocación desigual o incorrecta de elementos de la fachada, uso exagerado de materia inflamable y de ductos, colocación irregular del centro de las escaleras o del ascensor, mecanismos de escape defectuoso o ausentes, repartición inadecuada de la tabiquería.

d. Factores constructivos. Armazones defectuosos, baja calidad de materiales empleados en la construcción, protección inadecuada contra

incendios, contrariedad en los materiales usados, ineficaz supervisión de la obra, personal incompetente, conexiones imperfectas de elementos prefabricados, conexión inexistente o errática de los elementos estructurales así como de éstos y la mampostería, pésima soldadura, desperfectos de vaciado y curado del concreto, refuerzo débil en las uniones de elementos en el concreto armado, ausencia de recubrimiento que facilita la corrosión, uniones metálicas incorrectas, instalación inadecuada de implementos médicos y hospitalarios, modificación y/o supresión total o parcial de paredes internas, lo cual es comúnmente realizado por propietarios y/o personas sin conocimiento.

e. Factores socio – económicos. Alteración en el uso dado a la estructura originalmente, uso de materiales inadecuados ante sismos, ausencia de datos y de sistemas de alarma, escaso nivel de formación de las personas, baja remuneración del personal responsable del proyecto, hogares de bajo recursos inapropiados para zonas sísmicas, ordenanzas vigentes, bajo recursos económicos, escasa interacción entre el ingeniero y el arquitecto, falla en los planes de contingencia para desastres.

2.2.2. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica.

Para evaluar la vulnerabilidad estructural se emplean diversas metodologías y técnicas diseñadas por varios especialistas; sin embargo, su elección está condicionada por varios aspectos, entre ellos, destacan: la finalidad del estudio, los datos disponibles y los rasgos de la edificación estudiada. Para desarrollar el análisis de vulnerabilidad de una edificación debe conocerse su demanda de carga y resistencia en servicio (OPS, 2000).

En este sentido, en cuanto al desarrollo del análisis de vulnerabilidad estructural de una edificación, algunas obras especializadas de nivel internacional muestran varios métodos, divididos en cualitativos y cuantitativos; los métodos cualitativos son empleados normalmente al evaluar la vulnerabilidad de varias edificaciones, al igual que cuando se tiene la convicción sobre la seguridad del mismo, producto de una adecuada práctica constructiva y diseño apropiado, para lo cual solo se busca verificar solamente el nivel de seguridad; por su parte, los métodos cuantitativos, son usados en los casos en que la jerarquía de la edificación así lo exige, o bien, en el caso de que los métodos cualitativos no son precisos sobre la seguridad de la edificación (OPS, 2000). A continuación, se exponen los tipos de métodos más utilizados para evaluar de la vulnerabilidad estructural:

a. Métodos cualitativos. Se basan en las particularidades generales de la estructura para realizar la calificación, recibiendo puntos en base a aspectos como: grado de conservación, anomalía en planta, anomalía vertical, tipo de suelo donde se erigió, etc.; dichos puntos están relacionados a índices globales previamente calculados mediante las experiencias obtenidas de la actividad sísmica anterior, lo que hace posible la identificación de la vulnerabilidad en forma global y algunas veces el nivel del daño. Son métodos cuya ventaja es la rapidez y sencillez, entre éstos se encuentran (OPS, 2000):

- Método Japonés (Ministerio de Construcción de Japón).
- Método Mexicano cuyo autor fue J. Iglesias (Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la ciudad de México).
- Método ATC -21 (FEMA – 154).
- Método del Índice de vulnerabilidad de Benedetti - Pretini.

b. Métodos cuantitativos. La restauración de un edificio, luego de un sismo, requiere de un análisis más exhaustivo; para ello, son convenientes y necesarios los métodos cuantitativos, pues permiten ahondar y comprobar los resultados aportados por los métodos cualitativos, en caso de que no aporten resultados concluyentes acerca de la seguridad de la edificación. Habitualmente, los métodos cuantitativos emplean modelos matemáticos, en donde se emplean elementos como la interacción de la edificación con elementos no estructurales, cargas reales que soporta, análisis para los diversos eventos sismos que puedan suceder (OPS, 2000).

2.2.3. Método ATC – 21 (FEMA - 154).

Este método fue desarrollado por el Consejo Aplicado de la Tecnología (ATC) a solicitud de la Agencia Federal del Manejo de Emergencias (FEMA) y divulgado en su Primera Edición en 1988 en los EE.UU. El Procedimiento de Investigación Visual Rápida (RVS: *Rapid Visual Screening*) fue propuesto para un campo amplio, para la identificación, inventario y clasificación de las edificaciones que son potencialmente peligrosas ante un sismo; pudiendo ser empleado de manera rápida y a bajo costo, para elaborar un listado de edificios con riesgo potencial ante sismos, sin representar un costo elevado de análisis detallado de cada uno de los edificios en forma separada (FEMA, 2000).

El propósito principal de esta metodología consiste en determinar los edificios existentes diseñados y construidos previo a la adopción de los requerimientos de diseños sísmicos; al igual que, edificios construidos en suelos blandos y pobres, y aquellos que tienen particularidades de desempeño que perjudican en sus respuestas sísmicas. Luego de la identificación de estas

edificaciones, se deben evaluar de forma rigurosa para precisar sus fallas (FEMA, 2015).

El RVS emplea la metodología centrada en una “investigación desde la acera”, a través de un formato donde el especialista recaba la información producto de la observación del edificio desde la parte externa, aunque también desde el interior si fuera posible. El tipo de instrumento es seleccionado en función de la amenaza sísmica de la zona: alta, moderada o baja, teniendo áreas para justificar los datos del edificio, uso, altura, foto del edificio, bocetos y documentos relativos al comportamiento sísmico, lo que posteriormente se convierte en un Puntaje Final (FEMA, 2015).

2.2.3.1. Procedimiento para la implementación de la metodología ATC-21.

Para comprender el desarrollo de esta metodología, se describe la siguiente secuencia de pasos en función de los parámetros propios de la misma (FEMA, 2015):

Secuencia de pasos para la aplicación del RVS

- a. Desarrollo del presupuesto y estimación de costos, examinando la extensión del proyecto.
- b. Planificación pre – campo, conteniendo el área a estudiar, la especificación del tipo de edificación.
- c. Selección y revisión del formato para recabar los datos.
- d. Selección y capacitación del personal de inspección.
- e. Recolección y observación de información pre - campo, lo cual incluye la revisión de documentos e información de la construcción (dirección, número de lote, número de plantas, antigüedad, entre otros).

f. Revisión de los planos constructivos.

g. Evaluación en el área de la edificación.

Obtención de los parámetros de la evaluación.

A. Determinación de la región sísmica.

Para el adecuado registro de datos, es fundamental la identificación de la sismicidad del área donde se encuentra el edificio. La región sísmica (H, M o L) determinada de acuerdo a la aceleración espectral (S_a) para lapsos de 0.2 segundos y 1 segundo, multiplicando dichos valores por 2/3; de acuerdo a lo contenido en la Tabla 2.

Tabla 2
Región sísmica en función de la aceleración espectral

Región sísmica	Aceleración espectral de respuesta (periodo corto: 0.2 s)	Aceleración espectral de respuesta (periodo largo: 0.2 s)
Baja (L)	Menos que 0.167 g (en dirección horizontal).	Menos que 0.067 g (en dirección horizontal).
Moderada (M)	Mayor igual a 0.167 g, pero menos que 0.500 g. (en dirección horizontal).	Mayor o igual 0.067 g pero menos que 0.200 g (en dirección horizontal).
Alta (A)	Mayor o igual a 0.500 g (en dirección horizontal).	Mayor o igual a 0.200 g (en dirección horizontal)

Nota: FEMA (2015).

Para el presente caso de estudio, se empleará los parámetros de la NT E0.30 “Diseño Sismorresistente” para conseguir el valor de la aceleración espectral y así, verificar la región sísmica de acuerdo a la FEMA 154.

B. Identificación del tipo de suelo.

El tipo de suelo tiene gran incidencia en la amplitud y duración de la agitación y, por ende, en el posible daño estructural. Generalmente, en suelos de un lugar mientras más profundos, más perjudicial sería el movimiento sísmico. Edificaciones en suelos Tipo F, no son rastreados efectivamente por el método RVS, a menos que la evaluación sea realizada por un ingeniero geotécnico con experiencia en el diseño sísmico. Los parámetros que identifican a cada tipo de suelo, según FEMA (2015), se presentan en la tabla 3.

Tabla 3

Parámetros que determinan el tipo de suelo según FEMA (2015)

Tipo de suelo	Velocidad	Prueba de	Resistencia	Otras
	cortante de las ondas (Vs)	de las penetración estándar, N	drenada cortante por encima de los 100 pies, Su.	al características por los
A; roca dura	Vs > 500 pies/s			
B; roca	2500 pies/s < Vs < 5000 pies/s			
C; suelo muy denso y roca suave	1200 pies/s < Vs < 2500 pies/s	N 50	Su 2000 psf	
D, suelo rígido	600 pies/s < V < 50	15 < N < 50	100 Psf < su < 2000 psf	
E; arcilla suave			Su < 500 psf	Mas de 10 pies de suelo, con índice de plasticidad P > 2, contenido de agua W > 40%.
F, suelo pobre				Suelo que requiere de evaluaciones específicas.

Suelos vulnerables a falla potenciales o colapso bajo cargas sísmicas como licuefacción del suelo, arcillas altamente sensitivas como licuefacción del suelo, arcillas altamente sensitivas, colapso débilmente cementado. Esperen mayor a 10 de turba

Nota: FEMA (2015)

C. Identificación del sistema estructural.

Esta metodología formula una tipología de quince (15) sistemas estructurales que se diferencian en base a la resistencia de carga lateral y los cuales se dan a conocer en la tabla 4.

Tabla 4
Sistemas estructurales resistentes a fuerzas laterales

N°	Nomenclatura	Descripción
1	W1	Edificaciones residenciales y comerciales con pórticos de madera ligera con un área igual o menor a 5000 pies cuadrados (465m).
2	W2	Edificaciones con pórtico de madera ligera con un área mayor a 5000 pies cuadrados (465 m).
3	S1	Edificaciones con pórtico de acero resistente a momento.
4	S2	Edificaciones con pórtico de acero arriostrado.
5	S3	Edificaciones con metal ligero.
6	S4	Edificaciones con pórtico de acero con muro de corte de concreto.
7	S5	Edificaciones con pórtico de acero rellenos de albañilería no reforzada.
8	C1	Edificaciones con pórtico de concreto.
9	C2	Edificaciones con muros de corte de concreto.

10	C3	Edificaciones con pórtico de concretos rellenos de albañilería no reforzada.
11	PC1	Edificaciones pre fabricadas con estructuras aligeradas inclinadas en su parte superior.
12	PC2	Edificaciones con pórtico de concreto pre fabricado.
13	RM1	Edificaciones de albañilería reforzada con diafragma rígido.
14	RM2	Edificaciones de albañilería reforzada con diafragma rígido.
15	URM	Edificaciones con muros portantes de albañilería no reforzada.

Nota: FEMA (2015).

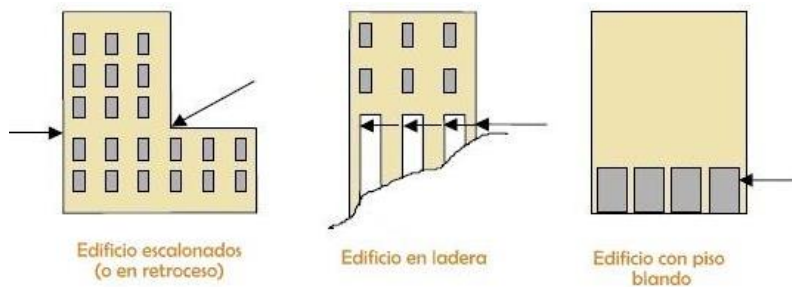
D. Modificadores

En esta parte se comprueban las inconsistencias verticales que muestran los diversos edificios; zonas inclinadas, columna corta, piso débil, diferenciación entre los pisos superiores e inferiores o “*out - of - plane setback*”. Estas irregularidades se describen a continuación:

D.1. Altura de la edificación. Un edificio de mediana altura comprende de 4 a 7 niveles, y los de gran altura superan los 8 niveles.

D.2. Irregularidad vertical. Es cuando no existe prolongación en sus elementos verticales, produciendo retiros (*Setbacks*), al ubicarse en una ladera (*Hillside*), y en caso de existir piso blando, cuando existe mayor rigidez en un piso superior en comparación al inferior. En la figura 1 se muestra ilustraciones de irregularidades en planta.

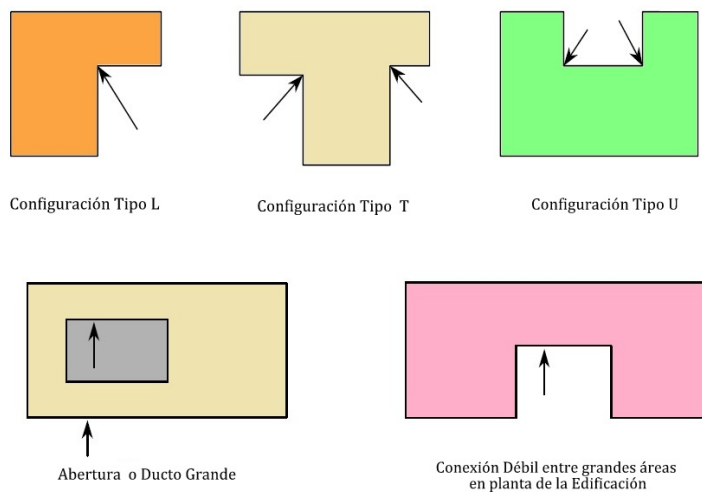
Figura 1
Representación de irregularidades verticales en edificaciones



Nota: FEMA (2015).

D.3. Irregularidad en planta. Es producida cuando el edificio tiene esquinas entrantes, es decir, cuando la estructura tiene geometría en forma de U, T, E o L. También, en casos de ductos de gran tamaño generando grandes excentricidades (figura 2).

Figura 2
Representación de irregularidades verticales en edificaciones



Nota: FEMA (2015).

D.4. Pre – código. Propio de los edificios de áreas sísmicas alta y moderada, en el caso de que hayan sido diseñados y construidos sin considerar ni emplear un código de diseño aceptable de acuerdo al sistema estructural.

D.5. Post-Benchmark. Aplica en edificios que diseñados y construidas posterior a la adopción de un código de diseño sismo-rresistente mejorado.

D.6. Tipo de suelo C, D o E. Aplica de acuerdo al tipo de suelo donde esté cimentado el edificio.

Criterios de calificación.

La evaluación hace posible al encargado del estudio, establecer dos clases de edificios: los que se considera tendrán un comportamiento sísmico aceptable, y los que podrán representar un peligro en materia sísmica, por lo que requieren ser estudiados a profundidad. El puntaje estructural total (S) es determinado sumando o restando los modificadores, a la puntuación de riesgo estructural básica para el edificio.

Una puntuación “S” de 2, representa un "corte" (puntuación), con base en los parámetros actuales de diseño sísmico. Empleando dicho nivel de corte, las edificaciones con puntuación “S” de 2 o menos, requieren de una investigación a cargo de un profesional experto en diseño sísmico. El resultado de la evaluación se encuentra sustentado en el formato, específicamente, en la sección “puntuación final”. Los indicadores para predecir el comportamiento estructural de la edificación, se muestra en la tabla 5.

Tabla 5
Nivel de daño en función de la puntuación de RVS

Puntuación (s)	Descripción del daño
$S < 0.3$	Alta probabilidad de tener daño de grado 5 y muy alta probabilidad de tener daño de grado 4.
$0.3 < S < 0.7$	Alta probabilidad de tener daño de grado 4 y muy alta probabilidad de tener daño de grado 3.
$0.7 < S < 2.0$	Alta probabilidad de tener daño de grado 3 y muy alta probabilidad de tener daño de grado 2.

$2.0 < S < 3.0$	Alta probabilidad de tener daño de grado 2 y muy alta probabilidad de tener daño de grado 1.
$S > 3.0$	Probabilidad de daño de grado 1.

Nota: FEMA (2015)

Es importante considerar que el daño real va a depender de varios factores no incorporados en la metodología de RVS. Por lo tanto, la referida tabla 5 debe emplearse solamente como un indicador para establecer que sea necesario desarrollar una evaluación simplificada de la vulnerabilidad de los edificios (FEMA, 2015). Los daños se clasifican en la tabla 6.

Tabla 6
Clasificación de daño según tipo de edificio

Nivel o grado	Edificios de mampostería	Edificios de concreto armado
Grado1: Daños de despreciables a ligeros.	Fisuras en muy pocos muros. Caída solo de pequeños trozos de revestimiento. Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.	Fisuras en el revestimiento de pórticos o en la base de los muros. Fisuras en tabiques y particiones.
Grado2: Daños moderados.	Grietas en muchos muros. Caída de trozos bastante grandes de revestimiento. Colapso parcial de chimeneas.	Grietas en vigas y columnas de pórticos y en muros estructurales. Grietas y tabiques y particiones; caídas enlucidas y revestimientos frágiles. Caída de mortero de las juntas de paneles prefabricados.
Grado 3: Daños importantes o graves.	Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros se sueltan tejas del tejado. Rotura de chimenea por la línea del tejado.	Grietas en pilares y en juntas viga/columna en la base de los pórticos y en las juntas de los muros acoplados. Desprendimiento de

	Se dañan elementos individuales no estructurales.	revocos de hormigón, pandeo de la armadura de refuerzo.
Grado 4: Daños muy graves.	Se dañan seriamente los muros.	Grandes grietas en elementos estructurales con daño en el concreto por compresión y rotura de armaduras: fallos en la trabazón de la armadura de las vigas; ladeo de columnas.
Grado 5: Destrucción	Colapso total o casi total.	Colapso de la planta baja o de partes del edificio.

Nota: FEMA (2015).

2.2.4. Método de índice de vulnerabilidad (Benedetti – Petrini).

Benedetti – Pretini (1982) presentó esta técnica, la cual comprende un análisis visual realizado a través de la opinión de especialistas, para evaluar los daños en las estructuras o en otros componentes que presenta una edificación, ocasionados por un terremoto. Este método puede aplicarse a sistemas estructurales construidos con cualquier tipo de albañilería (Benedetti & Petrini, 1984).

Siguiendo a esta metodología, el índice de vulnerabilidad se calcula a través de un instrumento de evaluación (Anexo 2), en donde se desarrolla la suma ponderada de los datos numéricos que representan la “calidad sísmica” de cada parámetro estructural y no estructural, que se estima, influyen en la conducta sísmica de las estructuras de mampostería (Benedetti & Petrini, 1984).

Basados en los estudios de campo, los diversos parámetros reciben una de las cuatro (4) clases de vulnerabilidad: A, B, C y D; donde A representa un alto

grado y D un bajo grado, según el criterio experto. Al mismo tiempo, estas clases llevan un dato numérico S_i , que va de 0 a 45 (ver tabla 7). De esta manera, si el parámetro 4 (posición del edificio y de la fundación) responde a una disposición insegura sísmicamente, se clasifica con la letra D y el valor numérico $S_i = 45$. Mientras que, sobre cada parámetro incide el coeficiente de peso W_i , que va de 0.25 a 1.5, e indica la relevancia de cada parámetro dentro del sistema resistente de la edificación. De esta manera, el índice de vulnerabilidad (I_v) se define por la siguiente ecuación (Benedetti & Petrini, 1984):

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} S_i \times W_i$$

Ecuación 1. Índice de vulnerabilidad (I_v)

Donde;

S_i = coeficiente numérico, clase de vulnerabilidad.

W_i = coeficiente numérico, importancia del parámetro.

La información incorporada en la tabla 7 fue estipulada en su totalidad por el autor de la metodología. En ciertos parámetros se requieren cálculos sencillos y en otros solo un análisis visual. Luego de desarrollar la ecuación, se pueden obtener datos que van de cero a 382.5, otorgándole al evaluador el criterio de acuerdo al rango para especificar el uso de un análisis cuantitativo. La sencillez de la metodología permite decisiones inmediatas para la evaluación y selección de alternativas y la minimización de impactos (Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, 1994).

Tabla 7
Escala de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini

Clase de Vulnerabilidad

N°	Parámetros	(Si)				Peso (Wi)
		A	B	C	D	
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	Diafragma horizontal.	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

Mientras que, el índice de vulnerabilidad (I_v) se vincula al nivel general de los daños de una edificación en una zona sísmica determinada (EMS - 98), e inclusive, con la aceleración máxima del suelo (PGA); los dos, a través de la asociación de matrices de probabilidad de daño (DPM) que hacen posible comparar las diversas zonas sísmicas (D'Ayala, 2013).

2.2.4.1. Organización del sistema resistente.

Este criterio permite evaluar varios aspectos, si los muros portantes verifican el encuadrado por aspectos de concreto armado como vigas y columnas;

la cimentación como factor de confinamiento horizontal; y que el recorrido máximo centro a centro entre las columnas de confinamiento sea dos veces menor a la distancia entre los elementos horizontales de refuerzo y por encima de 5 m. Asimismo, permite evaluar la calidad y el número de líneas resistentes que ubicadas en los diversos niveles del edificio, pues estos dependen significativamente de la estabilidad del edificio (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2006). Un ejemplo gráfico de lo descrito, se muestra en la figura 3

Figura 3

Líneas sucesivas de resistencia



Nota: López (2019).

Criterios para para la asignación de clases de vulnerabilidad_(Benedetti & Petrini, 1984):

A: edificio construido de acuerdo a las especificaciones del RNE E.070.

B: la estructura tiene vigas y columnas de amarre y una forma apropiada de distribuir las líneas resistentes en cada nivel del edificio.

C: la estructura evidencia únicamente en determinadas vigas y columnas de amarre y normal repartición de líneas resistentes en todos los niveles del edificio.

D: edificio con paredes ortogonales no ligadas, es decir, solo tiene en pocos niveles vigas y columnas de amarre y una inadecuada repartición de líneas resistentes en cada nivel de la edificación.

2.2.4.2. Calidad del sistema resistente.

Con este criterio se determina la mampostería más usualmente empleada, distinguiendo de forma cualitativa sus propiedades de resistencia, para garantizar la efectiva actuación del “cajón” de la estructura. La identificación de un edificio en una de las cuatro tipologías, se desarrolla en términos de dos aspectos: la clase de material y el diseño de los elementos de la mampostería; asimismo, la uniformidad del material y las piezas en todo el muro (Benedetti & Petrini, 1984).

Criterios para la asignación de clases:

A: mampostería de ladrillo de calidad adecuada, con piezas parejas y en condiciones adecuadas, la existencia de mechas de anclaje entre columna y muro, mortero de adecuada condición, entre 10 mm y 15 mm de junta (RNE E.070) y una adecuada uniformidad del ladrillo portante cada nivel.

B: la estructuración del sistema resistente no contiene algún parámetro de la clase A.

C: la estructuración del sistema resistente no muestra dos de los parámetros de la clase A.

D: la estructuración del sistema resistente no muestra ninguno de los parámetros de la clase A.

2.2.4.3. Resistencia convencional.

Este criterio está vinculado al corte donde se soportan los muros y la fuerza basal actuante en el pie de la estructura, en consecuencia, valora la densidad de muros en planta. Para determinar este criterio, se requiere conocer el uso asignado a la edificación, el número de pisos, para calcular el peso total y la altura del mismo, la ubicación y el área total de construcción (Benedetti & Petrini, 1984). A continuación, se muestran las ecuaciones para el cálculo respectivo:

$$F_s = \frac{V_R}{V_A}$$

Ecuación 2. Resistencia convencional (F_s)

Siendo;

$$V_R = \sum A_m \times V_m$$

Ecuación 3. Cortante resistente de los muros (V_R)

$$V_A = C \times W$$

Ecuación 4. Fuerza basal actuante en la base (V_A)

A su vez, V_A :

$$V_A = \frac{Z \times U \times C \times S}{R} \times \left[(A_1 + A_2) \times \frac{1 \text{ Ton}}{\text{m}^2} \right]$$

Ecuación 5. Fuerza basal actuante en la base (V_A)

Donde:

V_A = fuerza basal actuante en la base.

C = coeficiente sísmico.

W = peso total de la edificación.

Z : factor de zona sísmica (figura 4).

U = factor de uso. Este valor es igual a 1.5 para edificaciones esenciales según la norma E.030.

C = factor de amplificación sísmica (Apéndice A).

S = factor de suelo (Apéndice A).

R = coeficiente de reducción sísmica (Apéndice A).

A1 = área del primer nivel.

A2,3,4... = área del segundo nivel, tercer nivel, cuarto nivel, etc.

VR: cortante resistente de los muros, es producto del área del muro resistente en el sentido del sismo, por el esfuerzo cortante del ladrillo. Para establecer el sentido de X e Y se emplea una relación del 50 %, siendo necesario estimar únicamente las áreas en un sentido.

Criterios para la asignación de la clase (Benedetti & Petrini, 1984):

A: $F_s \geq 1.0$

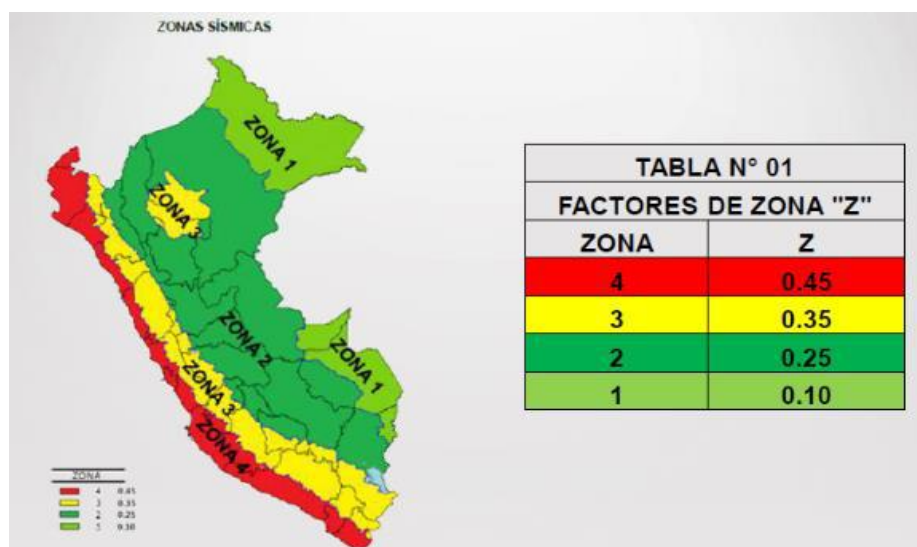
B: $1.0 > F_s \geq 0.6$

C: $0.6 > F_s \geq 0.4$

D: $0.4 > F_s$

Figura 4

Factor de zona sísmica



Nota: MCVS (2017) – RNE E.030

2.2.4.4. Posición del edificio y cimentación.

Este criterio valora el sitio donde se construyó el edificio, considerando factores como la pendiente del terreno, diferenciación entre los niveles de la cimentación y la presencia de empuje por parte del suelo hacia la estructura (Benedetti & Petrini, 1984).

Criterios para la asignación de clases (Benedetti & Petrini, 1984):

A: edificación construida en terreno firme, con una angulación por debajo o igual al 10%. La fundación se encuentra en una sola cota. Sin empuje con falta de equilibrio como resultado de un terraplén.

B: edificación construida en una roca con ángulo que oscila entre 10% y 30% o sobre suelo suelto con pendiente que oscila entre 10% y 20%. La brecha mayor entre las cotas de la fundación es de un (1) metro como máximo. Sin presencia de empuje por efecto de terraplén.

C: estructura cimentada sobre suelo suelto con pendiente que oscila entre 20% y un 30% o sobre suelo rocoso con pendiente entre 30% y 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación está por debajo de un (1) metro. Se observa un empuje sin equilibrio debido a un terraplén.

D: edificación cimentada en un terreno suelto con pendiente por encima de 30% o sobre suelo rocoso con angulación superior al 50%. La brecha mayor entre las cotas de la fundación supera un (1) metro. Se observa un empuje sin equilibrio debido a un terraplén.

2.2.4.5. Diafragmas horizontales.

La calidad de estos diafragmas es fundamental para garantizar el apropiado trabajo de los elementos resistentes verticales (Benedetti & Petrini, 1984). Se evalúa

entonces, la eficacia de los diafragmas horizontales de entre piso, al igual que el desnivel a lo largo del eje longitudinal de la losa, la calidad y forma de unión con los muros de albañilería, a través del uso de vigas. En la figura 5 se muestra gráficamente un ejemplo de este parámetro.

Criterios para la asignación de clases (Benedetti & Petrini, 1984):

A: inexistencia de planos a desnivel, la presencia de deformidades en el plano es mínima y la unión entre los diafragmas es adecuada.

B: la edificación incumple con algún requisito de la clase A.

C: la edificación incumple con dos requisitos de la clase A.

D: la edificación incumple todos los requisitos de la clase A.

Figura 5

Representación de una discontinuidad de diafragma



Nota: López (2019).

2.2.4.6. Configuración en planta.

El desempeño sísmico de una edificación obedece al diseño en planta del mismo. En el caso de edificios de forma rectangular es significativa la relación

b_1 presente a lo interno de las dimensiones en planta del lado más bajo y más alto:

$$b_1 = \frac{a}{L}$$

Ecuación 6. Vista entrante (B_1)

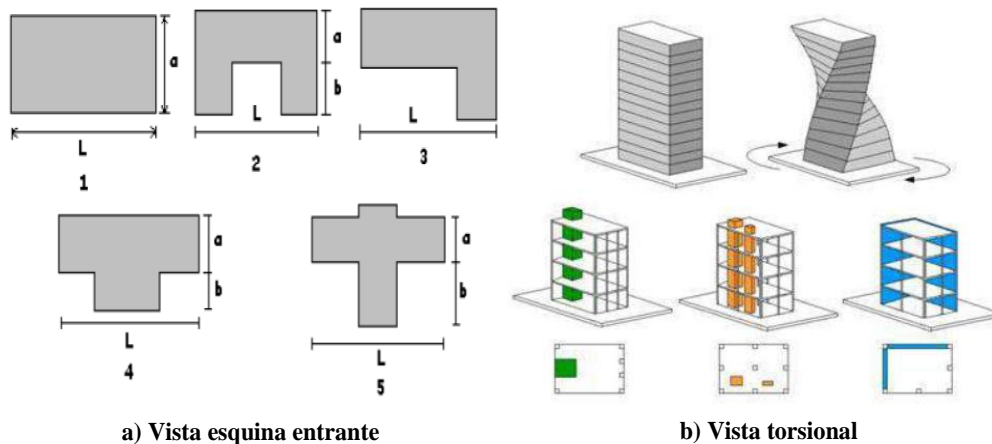
Asimismo, es importante considerar las prominencias del cuerpo principal mediante la relación b_2 :

$$b_2 = \frac{b}{L}$$

Ecuación 7. Vista entrante (B_2)

En la figura 6 se muestra el significado de ambos valores que se deben registrar, en donde se valora siempre el caso más optimista.

Figura 6
Irregularidades en planta: vista entrante y torsional



Nota: López (2019).

Criterios para la asignación de clases (Benedetti & Petrini, 1984):

A: edificación con $b_1 \geq 0.8$ o $b_2 \leq 0.1$

B: edificación con $0.8 > b_1 \geq 0.6$ o $0.1 < b_2 \leq 0.2$

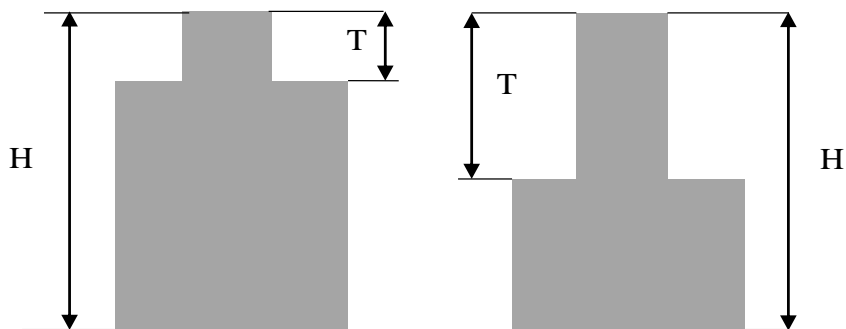
C: edificación con $0.6 > b_1 \geq 0.4$ o $0.2 < b_2 \leq 0.3$

D: edificación con $0.4 > b_1$ o $0.3 < b_2$

2.2.4.7. Configuración en elevación.

La existencia cuantiosa de torretas de altura y masa en relación al resto del edificio, se logra a través de la razón “T/H”, como se muestra en la figura 7. Se deben ignorar las torretas de moderado tamaño, como chimeneas, escapes de ventilación, etc. Asimismo, se reporta la razón de áreas en porcentaje más o menos “DA/A” entre dos pisos continuos, donde A es el área del piso más bajo y se acompaña del signo “+” si se trata de incremento o del signo “-” si es una reducción de área hacia la posición vertical del edificio (Benedetti & Petrini, 1984).

Figura 7
Configuración en elevación.



Nota: Benedetti & Petrini (1984).

Entonces, se evalúa la interrupción de los sistemas resistentes, la forma irregular de la geométrica vertical, la anomalía de masa y la inadecuada rigidez piso blando (ver ejemplos en las figuras 8 y 9).

Figura 8

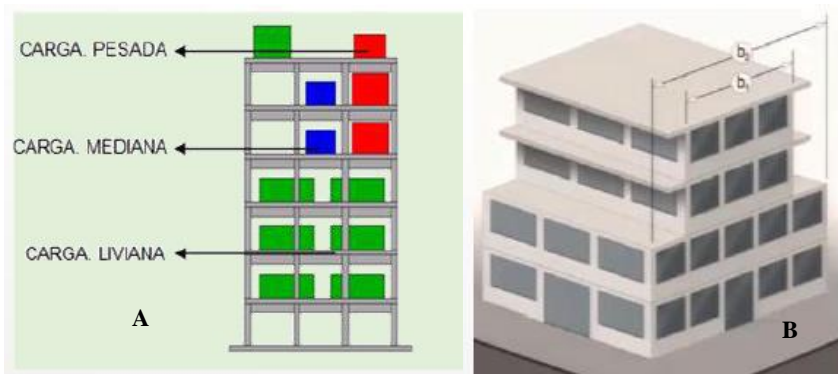
Irregularidad de rigidez – suelo blando



Nota: López (2019).

Figura 9

Irregularidad de masa. (A), irregularidad geométrica vertical (B).



Nota: López (2019).

Criterios para la asignación de clases (Benedetti & Petrini, 1984):

A: la estructura no evidencia interrupción en las estructuras resistentes, discontinuidad geométrica vertical, de masa, de rigidez piso blando (edificio con $-DA/A < 10\%$).

B: la estructura evidencia una irregularidad clasificada como A (superficie porche $< 10\%$ o $10\% \leq -DA/A < 20\%$).

C: la estructura evidencia dos modalidades de irregularidades de la clase A (superficie porche igual al 10% a 20% o $-DA/A > 20\%$ o $T/H < 2/3$).

D: la estructura evidencia tres tipos de irregularidades de la clase A (superficie porche $> 20\%$ o $DA/A > 0$ o $T/H > 2/3$).

2.2.4.8. Distancia máxima entre los muros.

A través de este criterio se verifica la existencia de muros maestros obstaculizados por muros transversales posicionados a distancia excesiva entre ambos. Se muestra el factor “L/S”, donde “L” es el espacio entre los muros transversales y “S” el grosor del muro maestro, valorando en todo momento el caso más favorable (Benedetti & Petrini, 1984).

Criterios para la asignación de clases (Benedetti & Petrini, 1984):

A: $L/S < 15$

B: $15 \leq L/S < 18$

C: $18 \leq L/S < 25$

D: $25 \leq L/S$

2.2.4.9. Tipo de cubierta.

Se considera en este criterio, la propiedad del techo de soportar fuerzas sísmicas (Benedetti & Petrini, 1984). De esta manera, se valora el diseño y la calidad del diafragma rígido que tendrá el edificio.

Criterios para la asignación de clases (Benedetti & Petrini, 1984):

A: la edificación presenta cubierta firme, apropiadamente atada a los muros, que garantiza una conducta de diafragma rígido. Dotado de arriostramiento en las vigas y adecuada distancia entre vigas.

B: edificio que incumple una de las propiedades de la clase A.

C: edificio que incumple dos de las propiedades de la clase A.

D: edificio que incumple las características de la clase A.

2.2.4.10. Elementos no estructurales.

Este criterio valora todas las estructuras que no integran el sistema estructural de la edificación, es decir, se consideran aspectos como cornisas, parapetos o cualquier elemento no estructural que pudiera ocasionar perjuicio a personas o cosas (Benedetti & Petrini, 1984).

Criterios para la asignación de clases (Benedetti & Petrini, 1984):

A: edificio sin cornisas ni parapetos.

B: edificio con cornisas y parapetos; cornisas bien acopladas (adosadas) a la pared, con chimeneas pequeñas y de peso ligero. Edificio con balcón acoplado a la estructura de los diafragmas.

C: edificio con elementos pequeños, mal acoplados a la pared (adosado).

D: edificio con chimeneas u otro elemento en el techo, inadecuadamente acoplado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso considerable, erradamente contruidos, que se pueden desprender en caso de sismos. Edificio con balcones contruidos y agregados de forma deficiente a la estructura principal.

2.2.4.11. Estado de conservación.

Este criterio valora el estado de conservación de la estructura, considerando las reparaciones previas y los años de la construcción, así como los efectos producto de sismos anteriores.

Criterios de asignación de clases (Benedetti & Petrini, 1984):

A: muros en adecuado estado, sin lesiones visibles.

B: muros con lesiones capilares no extendidas, excepto de aquellos casos cuyas lesiones hubiesen sido producidas por terremotos.

C: muros con lesiones medianas, entre 2 y 3 mm de ancho, o con lesiones capilares ocasionadas por sismos. Edificio sin lesiones, pero con un mediocre estado de la mampostería.

D: muros con deterioro acentuado de materiales constituyentes, o lesiones muy graves que superan los 3 mm de ancho.

Para clasificar el nivel de vulnerabilidad sísmica, se empleará la escala normalizada del “*Gruppo Nazionale Per la Difesa Dai Terremoti – GNDT*” (GNDT, 1990) presentada en la tabla 8, para clasificar el nivel de daño de la edificación evaluada respecto a su índice de vulnerabilidad.

Tabla 8
Nivel de vulnerabilidad

Nivel de vulnerabilidad sísmica	Nivel de daños	Categoría de daños	de Índice G.N.D.T (Iv)
Baja	Leve	0 y 1	$Iv < 0.350$
Media	Moderado/severo	2/3	$0.35 < Iv < 0.475 /$ $0.475 < Iv < 0.600$
Alta	Grave	4 y 5	$0.600 \leq Iv$

Nota: GNDT (1993).

2.2.5. Función de vulnerabilidad sísmica.

Esta función representa matemáticamente el daño que experimentaría una edificación al ser sometida a un sismo de una específica intensidad. Así, este índice se relaciona con el índice de daño, afectado por la prontitud del suelo y se expresa mediante una escala de Mercalli Modificada (Maldonado, Gómez, & Chio, 2008).

Las funciones de vulnerabilidad se obtienen partiendo de la valoración y los registros del daño que presentan las edificaciones y el nivel de vulnerabilidad, todo ello indiferentemente del tipo de estructura, para establecer el nivel de vulnerabilidad y el índice de daños del uso conforme a la metodología establecida por Benedetti y Petrini en 1984. Luego, de establecer estos parámetros para cada edificación, se desarrolla un análisis estadístico, consiguiendo una función de vulnerabilidad de tercer grado para estructuras de mampostería no reforzada y de segundo grado para edificaciones de concreto, cuando éstas se someten a intensidad sísmica de grado VII (Maldonado, Gómez, & Chio, 2008).

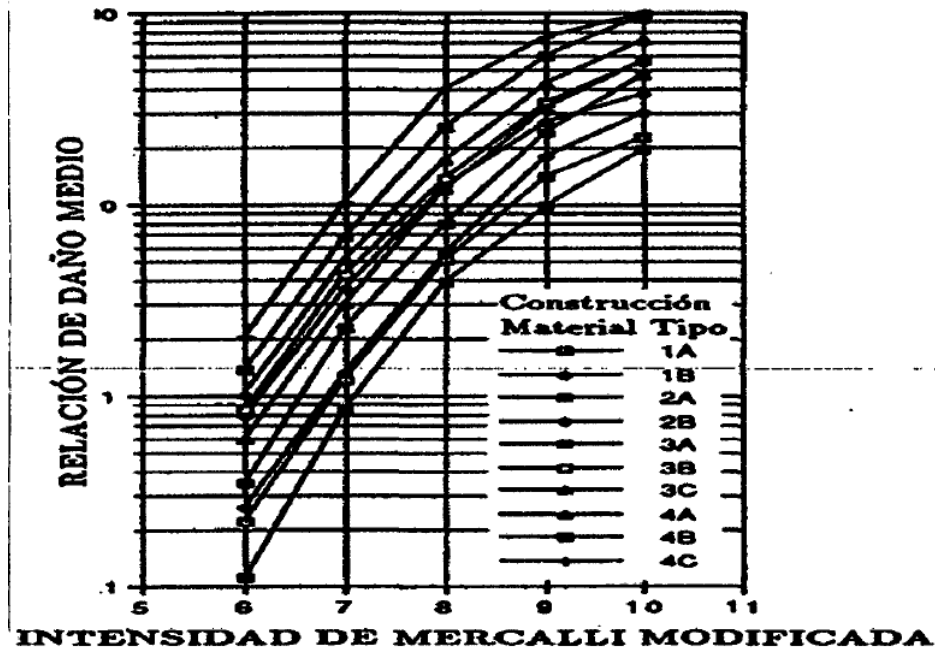
2.2.5.1. Evaluación del índice de daño.

Para estimar los índices de daño se ha implementado el método de análisis probabilístico para desarrollar la evaluación del riesgo de una forma amplia y general para los niveles de movimientos del terreno o intensidad sísmica. El índice de daño estimado, se expresa mediante una función de forma continua, que va entre 0 y 100, lo que representa una forma de ponderar el nivel de daños de una edificación producto de un movimiento sísmico (Maldonado, Gómez, & Chio, 2008).

En la figura 10, se presentan las curvas que indican el nivel de daño en una función, en la cual se relaciona la aceleración horizontal de terreno y del índice de vulnerabilidad.

Figura 10

Funciones de vulnerabilidad para diversas tipologías estructurales



Nota: Yépez (1996).

El rango de variación de los índices de vulnerabilidad, como se ha mencionado anteriormente, oscila entre 0 y 382.5, pero, dichos valores requieren ser normalizados para obtener una variación de $0 < I_v < 100$, con el objeto de relacionarlos con los índices de daño (Benedetti & Petrini, 1984).

Una vez estimado los índices de vulnerabilidad y de daño para la edificación, se desarrolla un análisis estadístico, con el cual se obtienen las funciones de vulnerabilidad para la edificación, partiendo de una regresión polinomial de tercer grado, en la que se muestra los coeficientes para diversas aceleraciones de las estructuras (mamposterías), quedando la expresada la regresión de daño de la siguiente manera:

$$D(\%) = a + bI_v + cI_v^2 + dI_v^3$$

Ecuación 8. Regresión de daño (D)

Por sencillez, las curvas de daño muestran una forma tri – lineal, definidas mediante dos puntos: la aceleración en la que inicia el daño ($ID > 0$) y la aceleración en la que el edificio colapsa en su totalidad ($ID = 1$). Las ecuaciones que siguen las rectas que componen las funciones de vulnerabilidad propuestas por Benedetti y Petrini (1984) para mampostería confinada o albañilería confinada, se muestran en la tabla 9.

Tabla 9
Funciones de vulnerabilidad para diferentes índices de vulnerabilidad

Iv normalizado	Ecuación de la recta
100	Índice de daño = $2842 \times (a/g) - 141.36$
90	Índice de daño = $2016.3 \times (a/g) - 100.62$
80	Índice de daño = $1373.3 \times (a/g) - 68.705$
70	Índice de daño = $891.49 \times (a/g) - 44.89$
60	Índice de daño = $739.79 \times (a/g) - 53.642$
50	Índice de daño = $460.70 \times (a/g) - 35.961$
40	Índice de daño = $360.93 \times (a/g) - 37.682$
30	Índice de daño = $274.45 \times (a/g) - 35.272$
20	Índice de daño = $215.51 \times (a/g) - 32.912$
10	Índice de daño = $172.61 \times (a/g) - 29.393$
0	Índice de daño = $154.46 \times (a/g) - 27.274$

Nota: Benedetti & Petrini (1984)

El índice de daño se enuncia mediante una escala normalizada ($0 < d < 100$) y significa el grado de daño que sufriría la edificación (estructura de albañilería confinada) al ser es sometida a diversas intensidades de aceleraciones sísmicas. En la tabla 10 se presenta una propuesta de escala de nivel de daño para la evaluación.

Tabla 10*Escala de evaluación según el nivel de daño*

Nivel de daño	Rango de daño (%)	Hasta
Ligero	0-5	0.05
Moderado	5-25	0.25
Severo	25-50	0.50
Total	50-100 o > 100	>1.00

*Nota: Wong & Gaspar (1993).***2.2.6. Edificaciones esenciales.**

El comité Visión 2000, (SEAOC, 2017) refiere a las edificaciones esenciales como las que se consideran críticas en las acciones de atención de la emergencia sísmica, o bien, como señala el FEMA (1999), aquellas transcendentales para responder adecuadamente ante una emergencia y la recuperación ante el desastre (Emergencias, 2021).

Las edificaciones esenciales están clasificadas de acuerdo con las categorías indicadas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. RNE E.030-2017, mediante la tabla 11 a continuación (Saneamiento, 2016).

Tabla 11*Clasificación de edificaciones esenciales*

Categoría	Descripción	Factor U
-----------	-------------	----------

A	<p>A1: Establecimiento del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el ministerio de salud.</p> <p>A2: edificaciones esenciales para el manejo de Las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio o después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones:</p> <p>Establecimientos de salud no comprendidos de la categoría A1.</p> <p>Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones.</p> <p>Estacionamiento de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía.</p> <p>Instalación de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua.</p> <p>Instituciones educativas, institutos superiores y tecnológicos.</p> <p>Edificios que almacenan archivos e información esencial del estado.</p>	<p>Nota 1</p> <p>1.5</p>
Edificaciones esenciales.		

Nota: MVCS (2017) - RNE E.030.

2.3. Definición de términos

Acabado: materiales que se encuentran integrados a una edificación, que no cumplen funciones estructurales, sino que acondicionan los ambientes donde se presentan (Onzueta, 2019).

Grieta: fracturas en la superficie del concreto producidas por la exposición a esfuerzos mayores a la capacidad resistente del material (Tapia & Paredes Chilcon, 2020).

Fisura: aberturas en la superficie de un elemento, teniendo poco o sin espacio aparente, que afecta principalmente los acabados (Cruz & Restrepo Duque, 2017).

Torsión en planta: desequilibrio causado por la no alineación entre el centro de gravedad y el centro de rigidez de la edificación, cuyo efecto produce un efecto de rotación al aplicar una fuerza lateral (Solórzano, 2019).

Centro de rigidez: centro geométrico de las rigideces de un nivel de la edificación, tal que, al aplicar una fuerza sobre él, se produce una traslación (Solórzano, 2019).

Centro de gravedad: centro geométrico donde se concentra la masa de un nivel de la edificación (Solórzano, 2019).

Arrostramiento: sistema de elementos que tienen como propósito aportar rigidez a la estructura, limitando los desplazamientos, principalmente los laterales (Infante, 2018).

Desempeño sísmico: análisis estructural no lineal capaz de simular con precisión el comportamiento de una construcción bajo condiciones extremas, con el fin de determinar el desempeño frente a un evento sísmico (Huamán, 2018).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Esta investigación se considera básica, de acuerdo a Carrasco (2017) es aquella que no tiene una finalidad práctica inmediata, sino que busca contribuir a la ampliación y profundización del conocimiento respecto a la relación que desde la teoría existe entre estas variables. Asimismo, su enfoque es cuantitativo, pues se recaban datos para probar hipótesis basadas en el cálculo numérico y el análisis estadístico, con el propósito de definir patrones de comportamiento y verificar teorías (Hernández et al, 2014). En este contexto, la presente investigación se orienta en determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de la edificación esencial en estudio, mediante el método de inspección visual, para el cual fue necesario realizar levantamiento de campo y evaluaciones a través de parámetros numéricos ya establecidos y descritos anteriormente (Díaz, 2006).

De esta manera, es de nivel descriptivo, propio de los estudios basados en la caracterización de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre éstos, en un momento determinado (Hernández et al, 2014).

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación se considera no experimental, pues no se manipula la variable independiente, ni se establecen grupos experimentales ni de control, las variables no son manipuladas, sino que son estudiadas en su contexto (Díaz, 2006). A su vez, es de tipo transeccional, debido a que se recolectan datos en un momento único, siendo su propósito describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado, siendo luego modelados para diseñar la propuesta (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población.

En lo que respecta a este caso de estudio, la población está conformada por un (01) edificio, que corresponde al hospital regional de Moquegua, ubicado en el departamento de Moquegua en la provincia de Mariscal Nieto, que se sitúa a 1410 msnm en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes, en el Valle costero del río de Moquegua.

3.3.2. Muestra.

Por la naturaleza de la población y por los objetivos planteados en el estudio, se tiene como muestra al edificio del hospital regional de Moquegua, comprendiendo toda la estructura del mismo, la cual será sujeto de observación por parte del autor. De esta manera, la muestra está compuesta por un (01) edificio.

3.4. Descripción de instrumentos para la recolección de datos

Como técnica se empleó la observación y el instrumento que se aplicó fue la ficha de recolección de datos, la cual consiste en el llenado de una serie de ítems

parametrizados a través de la observación directa (Carrasco, 2017). Para recabar la información los instrumentos que se emplearon fueron los correspondientes a cada una de las metodologías estudiadas, éstos se describen a continuación.

Plantilla ATC – 21: es un formato empleado en el procedimiento FEMA – 154, el cual se escoge en función de la amenaza sísmica de la zona: alta, moderada o baja, e incluye áreas para sustentar la información básica de la edificación, uso, altura, fotografía del edificio, bocetos y documentos vinculados al comportamiento sísmico, lo conlleva al cálculo de un Puntaje Final (Anexo 2).

Plantilla del índice de vulnerabilidad: es un formato que contempla los parámetros propios de la metodología citada (Anexo 2).

Para el análisis de los datos se propone el siguiente método:

1. Visualización rápida a través de la plantilla ATC – 21 FEMA 154.
2. Determinación del índice de vulnerabilidad.
3. Determinar los posibles daños a la estructura
4. Sugerir propuestas técnicas de mejoras basadas en los resultados encontrados

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Resultados de la evaluación visual rápida (RVS).

Primeramente, se empleó la guía de evaluación visual rápida basada en el método ATC 21 - FEMA 154 (Apéndice B), cuyos resultados se resumen a continuación en la tabla 12 para los 5 edificios que componen el Hospital Regional de Moquegua.

Tabla 12
Características generales de la edificación

Parámetro	Hospital Regional de Moquegua				
	Sector A	Sector B	Sector C	Sector D	Sector E
Nº de personas	101 - 1000	101 - 1000	+1000	101 - 1000	11 - 100
Nº de pisos	2	2	4	2	2
Altura de piso	5.65 m	4.00 m	4.25 m	4.25 m	4.25 m
Área de piso	654 m ²	1,289 m ²	2,887 m ²	2,370 m ²	697 m ²

Nota: Elaboración propia

El sector A del hospital corresponde a una capilla y un auditorio que se encuentran unidos por una sala central. En la parte posterior se encuentra un área denominada “Casa Materna”. Tanto el área de capilla como el auditorio permiten aforos mayores a 100 personas. Se observa que la fachada principal del auditorio está formada por paneles de vidrio, mientras que la entrada de la capilla está

decorada con una cruz (figura 11), elementos que pueden resultar perjudiciales al público si llegan a fallar tras sufrir los efectos de un sismo.

Figura 11
Área A del edificio hospitalario



El sector B corresponde al área de atención hospitalaria, posee una forma rectangular, como muestra la figura 12. Posee dos niveles, con una altura de 4 metros por piso. En este sector se ubica una gran cantidad de consultorios, almacenes, salas de enfermería, salas de triaje, entre otros.

Figura 12
Área B del edificio hospitalario



El sector C alberga almacenes de materiales, salas de esperas, área de ecografía, laboratorios, banco de sangre, habitaciones, y sirve además como sede administrativa del hospital, siendo el que mayor área ocupa entre los cinco sectores, con 4 niveles. Por ello, puede albergar una cantidad superior a 1,000 personas en su interior.

Figura 13
Área C del edificio hospitalario



El sector D posee igualmente una forma rectangular, aunque menos angosta que el sector B. Posee dos niveles como muestra la figura 14, y es la segunda con mayor área en planta. En este sector se ubica el área de ginecología, almacenes, y algunas oficinas administrativas.

Finalmente, el área E tiene el uso principal de oficinas administrativas, como muestra la figura 15, por lo que reúne un aforo máximo de 100 personas en su interior. Alberga almacenes de insumos médicos, salas de reuniones y habitaciones para pacientes.

Figura 14
Área D del edificio hospitalario



Figura 15
Área E del edificio hospitalario



Como resultado de la evaluación, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 13, indicando el nivel de vulnerabilidad según el método RVS.

Tabla 13
Resultados de la evaluación según ATC 21 – FEMA 154

Parámetro de evaluación	Sector A	Sector B	Sector C	Sector D	Sector E
Puntaje Básico	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Altura Mediana (4-7 pisos)	-	-	0.4	-	-
Gran Altura (> 7 pisos)	-	-	-	-	-
Irregularidad Vertical	-1.0	-	-1.0	-	-
Irregularidad en Planta	-0.5	-	-0.5	-0.5	-
Pre-Código	-	-	-	-	-
Post-Benchmark	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Suelo Tipo C	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Suelo Tipo D	-	-	-	-	-
Suelo Tipo E	-	-	-	-	-
Puntaje final RVS	3.3	4.8	3.7	4.3	4.8

A partir de lo anterior y según la metodología del ATC 21, se establece que no se requiere de una evaluación sísmica especializada, ya que el puntaje final recuperado es superior al punto de corte (2.0 puntos). Así mismo, en base a los criterios mostrados en la tabla 5, los edificios son propensos a sufrir daños de nivel 1 tras ser impactados por un evento sísmico, es decir, daños estructuralmente

despreciables, de magnitud ligera, predominantemente caracterizados por fisuras en elementos de concreto armado y el posible desprendimiento del recubrimiento en elementos de tabiquería.

4.1.2. Índice de vulnerabilidad estructural.

En esta fase de la investigación se procedió a determinar el índice de vulnerabilidad estructural para establecer una medida de probabilidad de sufrir los daños previstos al ser impactados por un evento sísmico, empleando los criterios mostrados en la tabla 7. Los datos se muestran en el apéndice C, cuyo resultado se resume en la tabla 14.

Tabla 14*Evaluación método de índice de vulnerabilidad – Sectores A - B- C*

Criterio	Sector A				Sector B				Sector C			
	Valor	Peso	W	Valor	Peso	W	Valor	Peso	W			
Organización sistema resistente	B	5	1	5	B	5	1	5	B	5	1	5
Calidad sistema resistente	B	5	0.25	1.25	B	5	0.25	1.25	B	5	0.25	1.25
Resistencia convencional	A	0	1.5	0	A	0	1.5	0	A	0	1.5	0
Posición del edificio y cimentación	B	5	0.75	3.75	A	0	0.75	0	A	0	0.75	0
Diafragma horizontal	B	5	1	5	A	0	1	0	B	5	1	5
Configuración en planta	C	25	0.5	12.5	A	0	0.5	0	D	45	0.5	22.5
Configuración en elevación	A	0	1	0	A	0	1	0	D	45	1	45
Distancia máxima entre muros	A	0	0.25	0	D	45	0.25	11.25	C	25	0.25	6.25
Tipo de cubierta	A	0	1	0	A	0	1	0	A	0	1	0
elementos no estructurales	B	0	0.25	0	B	0	0.25	0	B	0	0.25	0
Estado de conservación	A	0	1	0	A	0	1	0	A	0	1	0
Índice de vulnerabilidad Iv				27.5				17.5				85

Tabla 15*Evaluación método de índice de vulnerabilidad – Sectores D - E*

Criterio	Sector D				Sector E			
	Valor	Peso	W	Valor	Peso	W		
Organización sistema resistente	B	5	1	5	B	5	1	5
Calidad sistema resistente	B	5	0.25	1.25	B	5	0.25	1.25
Resistencia convencional	A	0	1.5	0	A	0	1.5	0
Posición del edificio y cimentación	A	0	0.75	0	A	0	0.75	0
Diafragma horizontal	A	0	1	0	A	0	1	0
Configuración en planta	D	45	0.5	22.5	B	5	0.5	2.5
Configuración en elevación	A	0	1	0	A	0	1	0
Distancia máxima entre muros	B	5	0.25	1.25	B	5	0.25	1.25
Tipo de cubierta	A	0	1	0	A	0	1	0
elementos no estructurales	B	0	0.25	0	B	0	0.25	0
Estado de conservación	A	0	1	0	A	0	1	0
Índice de vulnerabilidad Iv				30				10

En función de lo anterior, se observa que el parámetro de mayor peso en la evaluación ha sido la configuración en planta de los edificios, siendo desfavorable en el sector A (valor C según la escala) y muy desfavorable en los sectores C y D (valor D según la escala). Por su parte, de manera particular, el sector C presenta una irregularidad en su elevación, lo que se asocia a efectos torsionales desfavorables, lo que ha disparado su índice de vulnerabilidad, siendo el caso más crítico en el estudio.

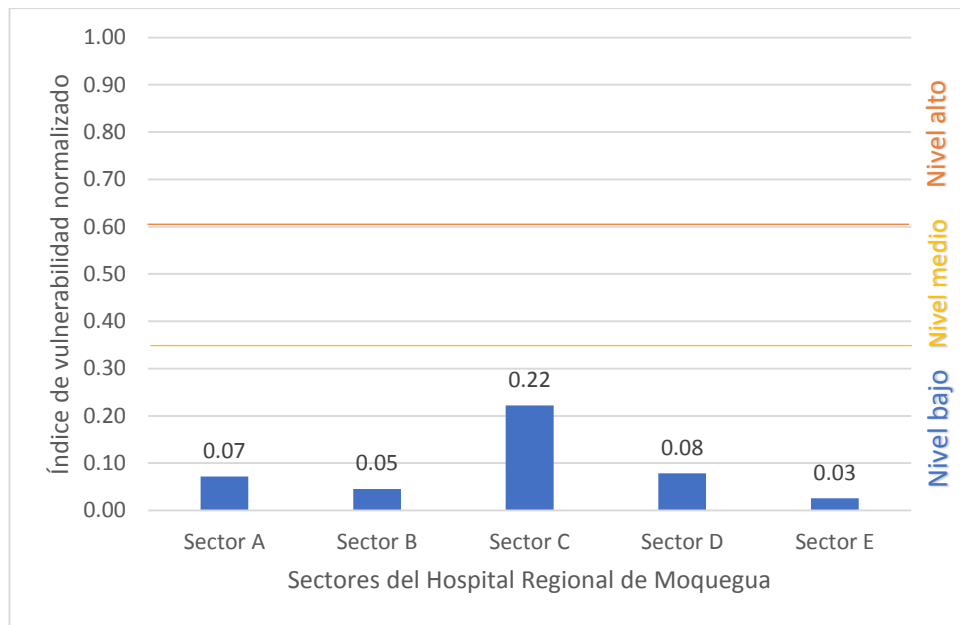
Siendo que la escala de valores del índice de vulnerabilidad tiene un límite superior de 382.5 puntos, el Iv calculado se debe normalizar de manera porcentual para contemplar mejor el nivel recuperado, dividiendo el valor recuperado entre 382.5, lo que se muestra en la tabla 16.

Tabla 16
Índice de vulnerabilidad normalizado

Sector	Iv	Iv normalizado
Sector A	27.5	0.07
Sector B	17.5	0.05
Sector C	85	0.22
Sector D	30	0.08
Sector E	10	0.03

Finalmente, la figura 16 presenta el resultado de todos los sectores analizados, teniendo como referencia la escala mostrada en la tabla 8, donde todos los sectores resultaron tener un nivel de vulnerabilidad estructural bajo.

Figura 16
Niveles de vulnerabilidad estructural recuperados



4.1.3. Daños estructurales.

Tal como se mencionó anteriormente, es posible estimar el nivel de daño sufrido en la estructura a partir de la vulnerabilidad sísmica, empleando las ecuaciones mostradas en la tabla 9. Para ello, se procede a emplear los valores máximos de aceleración (PGA) estimados por el Instituto Geofísico del Perú (2014) para el departamento de Moquegua, para distintos periodos de retorno e intensidad de sismo con una probabilidad de excedencia del 10% (Apéndice C), tales que se resumen en la tabla 17.

Tabla 17
Aceleraciones según tipo de sismo – Departamento de Moquegua

Parámetro	Sismo leve	Sismo moderado	Sismo fuerte	Sismo severo
	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 475	Tr = 975
Aceleración (Gal)	188.69	238.96	426.17	499.97
Aa	0.19g	0.24g	0.43g	0.51g

Nota: Instituto Geofísico del Perú (2014)

Partiendo de estos valores, en la tabla 18 se muestran los valores del índice de daño calculado para cada sector del Hospital.

Tabla 18
Índice de daño calculado para cada sector

Sector	Iv	Índice de daños			
		Sismo leve Aa = 0.19g	Sismo moderado Aa = 0.24g	Sismo fuerte Aa = 0.43g	Sismo severo Aa = 0.51g
Sector A	0.07	-	-	10.00	19.40
Sector B	0.05	-	-	9.49	18.67
Sector C	0.22	-	-	19.52	32.28
Sector D	0.08	-	-	10.26	19.76
Sector E	0.03	-	-	8.97	17.95

Nota. Los espacios vacíos indican que se obtuvo un índice de daño negativo; es decir, partiendo del nivel de vulnerabilidad, la estructura no es propensa a sufrir daños durante un sismo de dicha magnitud. Fuente: Elaboración propia

Como resultado, y considerando los criterios de la tabla 10, se aprecia que la edificación de los sectores A, B, D y E sufrirían daños moderados durante un sismo de intensidad fuerte o de intensidad severa, pudiendo aparecer grietas en los elementos estructurales, sin que ello signifique el colapso de la estructura. Por su parte, el sector C presentaría daños de moderados durante un sismo fuerte y daños severos frente a un evento sísmico de mayor intensidad, pudiendo requerir la evacuación del edificio y realización de obras de rehabilitación de la estructura.

4.1.4. Propuestas técnicas de mejora estructural.

Vistos los resultados de la evaluación de vulnerabilidad y posibles daños esperados durante un evento sísmico, se deduce que el Hospital Regional de Moquegua presenta bajas probabilidades de sufrir daños de magnitud significativa, lo que equivale a decir que su estructura pudiera tener un comportamiento adecuado, sin llegar al colapso. Sin embargo, al medir los posibles daños sufridos, se encuentra que estos se concentrarían mayormente en los elementos no estructurales.

Considerando que el Hospital es un lugar de reunión de un gran número de personas, contabilizando ocupaciones posibles de más de 1,000 individuos como el caso del sector C, y que, por su función implícita como centro de atención médica, este debe seguir operando luego de un desastre, por lo que se recomienda considerar las siguientes acciones:

Se observó que los mayores criterios desfavorables giran en torno a la configuración en planta y en elevación del edificio, lo cual, según la literatura técnica, incide predominantemente en el comportamiento torsional en planta durante la aplicación de fuerzas laterales, dado que no coinciden los centros de gravedad y de rigidez, siendo que, a mayor distancia concéntrica entre ambos puntos, el efecto torsional es mayor. Siguiendo el caso del sector C, como se muestra en la figura 13, este posee una mayor área construida en el segundo nivel, a lo que se suma que en el primer nivel se presenta un entrepiso débil. Se recomienda entonces la colocación de refuerzos que ayuden a arriostrar esa parte de la edificación, pudiendo emplear arrostramientos diagonales metálicos, a fin de conservar en lo posible la funcionalidad y estética actual de la edificación.

Tal como se observó en la figura 11, la fachada del sector A está conformada por paneles de vidrio, que deberían ser remplazados para evitar daños a las personas en caso este se fracture durante el sismo. Aunado a ello, se recomienda la remoción de la cruz en la fachada de la capilla, ya que ese elemento no estructural puede desprenderse y afectar a las personas que se encuentren en las inmediaciones.

Realizar jornadas de inspección y mantenimiento luego de cada evento sísmico, ya que, como se ha comentado, la mayoría de daños esperados son de baja intensidad, caracterizados principalmente por fisuras y grietas, sin embargo, luego

de su aparición, la resistencia del elemento se ve disminuida, por lo que deben ser atendidas prontamente para evitar mayores daños en eventos siguientes.

4.2. Contrastación de hipótesis

El índice de vulnerabilidad estructural del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B es bajo, Moquegua 2020.

Respecto a la primera hipótesis planteada, se encontró que los cinco sectores del hospital presentan un índice de vulnerabilidad que oscila entre 0.03 a 0.22, cuyo mayor exponente se evidencia en el sector C. No obstante, tal como se ilustra en la figura 16, este nivel de vulnerabilidad se encuentra dentro del límite teórico establecido para la vulnerabilidad de nivel bajo, por lo tanto, se toma como cierta la hipótesis planteada.

El estado de daños de la estructura mediante el comportamiento de las funciones de vulnerabilidad sísmica del Hospital Regional de Moquegua Tipo 2B es severo.

En cuanto a la segunda hipótesis planteada, se encontró que los daños probables a la edificación no son probables frente a sismos de intensidad leve o moderada, los cuales ocurren con menor periodo de retorno. En cuanto a los sismos fuertes, todas las edificaciones estarían propensas a sufrir daños moderados frente a un sismo de intensidad fuerte, y únicamente el sector C estaría expuesto a daños de nivel severo cuando el sismo sea también de intensidad severa. Considerando que esta apreciación se presenta en solo uno de los cinco sectores, y también que este tipo de sismos tiene el mayor periodo de retorno probable, se rechaza la hipótesis, siendo que, en promedio, los componentes estructurales del hospital no

serían afectados de severidad frente a un evento sísmico, tal como se observó en la tabla 18.

Las propuestas técnicas de mejoras permitirán optimizar los parámetros estructurales más vulnerables del Hospital Regional de Moquegua, orientados al cumplimiento de los requisitos técnicos normados (E.030, 2017).

Vistas las características estructurales del hospital, se evidenció la presencia de irregularidades en planta y en altura, tales que se presentan de forma acentuada en el sector C, tales que se encuentran descritas dentro de la norma E.030. Es por ello que se recomienda tomar acciones preventivas a fin de evitar posibles fallas estructurales tras la ocurrencia de un sismo.

4.3. Discusión de resultados

En el presente estudio se llevó a cabo la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del Hospital Regional de Moquegua, la cual se realizó por medio de la metodología de inspección visual rápida contenida en la norma ATC 21, así como una valoración de los parámetros estructurales y posibles daños esperados tras eventos sísmicos de diferente intensidad. Cabe mencionar que, al ser una edificación hospitalaria, esta no solo recibe en su interior a una gran cantidad de personas, sino también que debe de mantenerse operativa luego de cualquier desastre, por lo que es importante señalar las deficiencias y oportunidades de mejora encontradas.

En este particular, se encontró la presencia de irregularidades descritas en la norma por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de diseño sismo resistente E.030 aprobada por el D.S. 003-2016-Vivienda, tales como irregularidad en altura y en planta, aun cuando solo sea en uno de los sectores

analizados. No obstante, este sector coincide con ser el de mayor área, con unos 2,887 m², pudiendo albergar hasta más de 1,000 personas en su interior y concentrar también parte de las instalaciones administrativas, todo lo cual evidencia su importancia. Sin embargo, resalta que el conjunto estructural presenta más características favorables que desfavorables, razón por la cual no fue necesario emplear un análisis de mayor rigurosidad, como el análisis por desempeño sísmico empleando algún software especializado, ya que en todos los casos el índice RVS fue mayor 2 puntos, según la metodología empleada (Saneamiento, 2016).

Al igual que señala López (2019), las anomalías en planta y en altura son los principales factores que causan la vulnerabilidad estructural. A ello se suma que el presente caso de estudio se encuentra ubicado en una zona sísmica 4, el nivel más alto según la norma E.030. Ello refuerza la necesidad de implementar mejoras en los elementos estructurales, considerando que se pone en peligro a las personas dentro de la edificación y más aún cuando se trata de un centro hospitalario, que también posee el mayor nivel de importancia según la referida norma sismo resistente. Así, se coincide también con Arana (2018), quien realizó un estudio similar en la misma localidad y recomienda igualmente la incorporación de refuerzos para combatir irregularidades de rigidez.

Por su parte, el caso de estudio se diferencia del presentado por Calle (2017), siendo que no se encontraron signos de deformaciones presentes actualmente en los elementos estructurales. Así mismo, Gómez y Loayza (2014) plantean que para aceleraciones del orden de 0.37g las edificaciones sufrirían daños de magnitud considerable, siendo que, en comparación, para aceleraciones de 0.43g

se pronostican daños leves, y solo con aceleraciones de 0.51g se obtendrían daños severos, pero solo en uno de los cinco sectores del hospital.

Entre tanto, resalta lo mencionado por Alzate, Osorio y Osorio (2017), quienes encontraron que un gran número de edificaciones indispensables presentan irregularidades en planta y problemas de rigidez, así como lo encontrado por Álvarez y Pulgar (2019), para quienes el 60% de las edificaciones evaluadas presentaron problemas por torsión, siendo que también eran edificaciones de uso esencial. Ello pone en manifiesto que los diseños empleados no toman en consideración las recomendaciones establecidas por las normas de diseño sismorresistente, aumentando la vulnerabilidad de las edificaciones por criterios inadecuados al momento de conceptualizar la edificación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primero. Se encontró que las edificaciones de los 5 sectores que conforman el Hospital Regional de Moquegua presentan una vulnerabilidad estructural baja, con índices normalizados de 0.07, 0.05, 0.22, 0.08 y 0.03 en los sectores A, B, C, D y E, respectivamente. El factor asociado a la vulnerabilidad con mayor peso fue la configuración en planta y altura, de lo que se infiere que los efectos de torsión en planta es el principal peligro al que está expuesta la estructura.

Segundo. Los principales daños que se pueden esperar son del tipo leve, caracterizados por fisuras y grietas en los elementos de concreto y desprendimiento de recubrimientos en elementos de albañilería. Tales efectos tienen de poca a nula probabilidad de ocurrir bajo los efectos de sismos de baja y moderada intensidad (periodos de retorno de hasta 100 años), apareciendo únicamente para sismos fuertes y severos. De las edificaciones, los sectores A, B, D y E presentarían daños moderados incluso para sismos de intensidad

elevada, mientras que el sector C presentaría daños moderados durante un sismo fuerte y daños severos frente a un evento sísmico de mayor intensidad.

Tercero. Se recomienda reforzamientos estructurales en el sector C, dado que, de todos los sectores, es el que presenta mayor vulnerabilidad y probabilidad de daños, debiendo contrarrestar las irregularidades en planta y altura encontradas, en especial, los efectos generados por un piso débil.

Cuarto. Las anomalías en planta y en altura son los principales factores que causan la vulnerabilidad estructural. Además, el hospital se encuentra ubicado en una zona sísmica 4, el nivel más alto según la norma E.030, lo que refuerza la necesidad de implementar mejoras en los elementos estructurales.

5.2. Recomendaciones

Primero. Se recomienda a las autoridades correspondientes, encargadas de la supervisión en la construcción de edificaciones públicas de importancia, velar por el cumplimiento de todos los parámetros normativos.

Segundo. Se recomienda emplear el análisis por desempeño sísmico como método alternativo de evaluación estructural, ya que así se puede evaluar con mayor precisión el comportamiento de la estructura y encontrar aquellos puntos que requieren refuerzos adicionales, no detectables por las metodológicas de inspección visual.

Tercero. Se recomienda que el método de evaluación visual para el análisis de la vulnerabilidad sísmica forme parte integral de la gestión de mantenimiento del hospital, como herramienta que permita hacer seguimiento de la condición estructural luego de cualquier evento sísmico, incluso los de baja intensidad, a fin de poder detectar la aparición de grietas y fisuras en la estructura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almanza, J. R. (2018). *Propuesta de Reforzamiento Estructural para devolverle la Funcionalidad del Pabellón p-3 nde la Institución santa fortunata en el distrito de Moquegua* (Tesis de pregrado). Moquegua: Universidad Jose Carlos Mareategui.
- Álvarez, J., & Pulgar, X. (2019). *Análisis de vulnerabilidad sísmica de los módulos escolares públicos en el distrito de Villa María del Triunfo mediante el método Índice de vulnerabilidad (Fema p-154) y su validación mediante cálculo de distorsiones laterales* (Tesis de pregrado). Lima, Perú.
- Alzate, A., Cardona, C., Medina, G., & Serna, D. (2016). Proyecto de Grado. *Evaluación de la Vulnerabilidad Estructural de las Edificaciones Indispensables del Sector Educación del Grupo III en el Municipio de Dosquebradas, Risaralda* (Tesis de pregrado). Pereira, Colombia.
- Barbat, A. (1998). Revista Calidad siderúrgica. *El riesgo sísmico en el diseño de edificios*. Madrid: Calidad siderúrgica.
- Benedetti, D. y Petrini, V. (1984) *A Method For Evaluating The Seismic Vulnerability Of Masonry Buildings*. Italia: Edición tdx.cat
- Calle, C. (2017). *Vulnerabilidad Estructural de la I.E. N° 10024 “Nuestra Señora de Fátima* (Tesis de pregrado). Pimentel, Perú.
- Carrasco, S. (2017).. Lima: Editorial San Marcos.
- Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. (1994). *Vulnerabilidad Sísmica de Edificios*. Obtenido de España: Edificio CI, Campus Norte UPC:
https://www.researchgate.net/publication/271586451_Vulnerabilidad_sismica_de_edificios

- Cruz, M. Á., & Restrepo Duque, D. (2017). *Análisis de Patologías Estructurales en la Institución Educativa Luis carlos Gonzáles Mejía de Educación Básica Primaria y Secundaria del barrio gamma del municipio de Pereira* (Tesis de Pregrado). Pereira: Universidad Nacional Autónoma de México.
- D'Ayala, D. (2013). *Assessing the Seismic Vulnerability of Masonry Buildings*. Obtenido de United Kingdom: University College London: https://www.researchgate.net/publication/257930977_Assessing_the_seismic_vulnerability_of_masonry_buildings
- Emergencias, A. F. (04 de Setiembre de 2021). <https://www.fema.gov>. Obtenido de <https://www.fema.gov>: <https://www.fema.gov/es/press-release/20210904/federal-response-recovery-efforts-continue-after-ida>
- Enríquez, J. (2018). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán, Actualizada a la Norma E-030 2016*. (Tesis de pregrado) Pimentel, Perú.
- Farfán, J., & Díaz, A. (2009). *Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural en un Sector de la Zona 12 de la Ciudad de Guatemala* (Tesis de Pregrado). Guatemala, Guatemala.
- Federal Emergency Management Agency. (2015). Handbook - *FEMA 154. Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards*. EE. UU.
- Gómez, W., & Loayza, A. (2014). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Centros de Salud del Distrito de Ayacucho* (Tesis de Pregrado). Ayacucho, Perú.

- Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti. (1993). Rischio sismico di edificio pubblici. *Rilevamento dell' Esposizione e Della Vulnerabilità degli edifici. Istruzioni per la compilazione della Schela di 1° livello.*
- Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación Científica.* México: Mc GRAW-HILL.
- Huamán, J. A. (2018). *Diseño estructural por desempeño sísmico de un edificio de 5 pisos en el distrito de Ascensión, provincia de Huancavelica* (Tesis de Pregrado). Huancayo: Universidad Continental.
- Infante, F. C. (2018). *Comportamiento estructural del edificio de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca con diferentes tipos de arriostres, 2017* (Tesis de Pregrado). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Instituto Geofísico del Perú. (2014). *Evaluación del Peligro Sísmico en Perú.* http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/IGP/Mapa_Peligro_Sismico_Peru_2015_Version_Preliminar.pdf.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006). Guía. *Programa de Capacitación para la Estimación de Riesgo - PCER.* Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2011). Proyecto - *Estudio SIRAD. Recursos de respuesta inmediata y de recuperación temprana ante la ocurrencia de un sismo y/o tsunami en Lima Metropolitana y Callao.* Lima, Perú.
- Lopez, C. (2019). *“Evaluación del Nivel de Vulnerabilidad Sísmica para edificaciones inspeccionadas con la plantilla ATC-21 sometidas a una Sollicitación Sísmica en la Urb. Las Gardenias del Distrito de Ate”* (Tesis de Pregrado). Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.

- Maldonado, E., Gómez, I., & Chio, G. (2008). DYNA - Vol 75. *Funciones de Vulnerabilidad y Matrices de Probabilidad de Daño Sísmico para Edificaciones de Mampostería Utilizando Técnicas de Simulación*, 63 -76.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones. *E.070 - Albañilería Confinada*. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS). (2017). Reglamenta Nacional de Edificaciones. *Norma E030 Diseño Sismo Resistente*. Lima, Perú.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (1980). *Terremotos Evaluación y Mitigación de su Peligrosidad*. Barcelona.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2000). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. Washintong, D.C.
- Organización Panamericana de la Salud. (2010). *Plan de Índice de Seguridad Hospitalaria. Guía para la evaluación de establecimientos de la salud de mediana y baja complejidad*. Washington DC.
- Porras, J. R. (2018). *"Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Edificio de Ingeniería de la Universidad señor de Sipan, actualizada a la Norma E-030 2016"* (Tesis de Pregrado). Pimentel: Universidad Señor de Sipan.
- Prado, W. G., & Loayza Yañez, A. (2014). *"Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Centros de Salud del Distrito de Ayacucho"*(Tesis de Pregrado). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Saneamiento, M. d. (24 de 01 de 2016). <https://museos.cultura.pe>. Obtenido de <https://museos.cultura.pe>:

<https://museos.cultura.pe/sites/default/files/item/archivo/Norma%20t%C3%A9cnica%20E.030%20Dis%C3%B1o%20sismorresistente.pdf>

SEAO. (22 de Marzo de 2017). <https://www.tdx.cat>. Obtenido de <https://www.tdx.cat>:

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6226/15CAPITULO6.pdf>

Solórzano, R. P. (2019). *Análisis de la Asimetría Estructural de un Edificio y su influencia en el efecto Torcional* (Tesis de Pregrado). Huancayo: Universidad Nacional los Andes.

Structural Engineers Association of California. (1995). *Committee Vision 2000 - Código Técnico. A Framework For Performance Based Structural Engineering*. California, Estados Unidos.

Tapia, M. P., & Paredes Chilcon, J. R. (2020). "*análisis de patologías y su relación con la calidad de las edificaciones de concreto armado en la ciudad de tarapoto, provincia y departamento de san martín 2019*" (Tesis de pregrado). Tarapoto: UCP.

Wong, D., & Gaspar, L. (1993). *Determinación de la vulnerabilidad y Estimación de Daño ante los Desastres Naturales en Las Instalaciones Hospitalarias en Panamá*. Centro de Proyectos - Universidad Tecnológica de Panamá.

Yepez, F. (1996). *Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras aplicando técnicas de simulación* (Tesis de pos Grado). Barcelona, España.