



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA
DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN, ACTUALIZADA
A LA NORMA E-030”**

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

Autor:

Enriquez Porras Junior Rafael

Asesor:

Ing. Ovidio Serrano Zelada

Línea de Investigación:

Ingeniería Estructural y Sismoresistente

Pimentel – Perú

2018

**“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL EDIFICIO DE
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN, ACTUALIZADA A LA
NORMA E-030”**

Jurado Evaluador

Dr. Ing. Coronado Zuloeta Omar
Presidente del Jurado de Tesis

Mg. Ing. Chilón Muñoz Carmen
Secretario del Jurado de Tesis

Ing. Serrano Zelada Ovidio
Vocal del Jurado de Tesis

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Por ser el pilar fundamental de mi vida y mover cada uno de mis pasos con la fuerza de su bendito Espíritu Santo.

A mi familia.

*A mi padre **Rafael**, por darme la oportunidad de estudiar una carrera y haberme apoyado siempre a pesar de las dificultades y por haber estado al pendiente de todo lo que me sucede y por ser fuente de energía cuando más lo necesité.*

*A mi madre **Mirtha**, porque desde el cielo hace sentir su amor y sé que está velando por mi felicidad y celebrando cada uno de mis logros a mi lado.*

*A mis hermanos **Randy** y **Julissa** por estar ahí para mí siempre cuidándome.*

A mis primos, sobrino, tíos y abuelos por su apoyo, sus consejos y ser mi alegría cada día.

¡Gracias a ustedes!

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegad.

A mi familia que siempre me está apoyando y dando sustento en cada paso que doy en mi vida.

A mi asesor Ing. Ovidio Serrano Zelada por su invaluable apoyo para llevar adelante mi tesis.

A la Universidad Señor de Sipán por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

ÍNDICE

Dedicatoria	iii
Agradecimiento	ix
Índice de Figuras	vii
Índice de Tablas	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.1.1. A nivel internacional	12
1.1.2. A nivel nacional	13
1.1.3. A nivel local	15
1.2. Antecedentes Previos	15
1.2.1. A nivel internacional	15
1.2.2. A nivel nacional	16
1.2.3. A nivel local	17
1.3. Marco teórico	17
1.3.1. Bases teórico científicas	17
1.3.1.1. Teorías sobre la Generación de Sismos	17
1.3.1.2. Amenaza Sísmica en el Perú	20
1.3.1.3. Historia Sísmica del Norte del Perú	22
1.3.1.4. Escalas de magnitud e intensidad	30
1.3.1.5. Vulnerabilidad Sísmica en Edificaciones	32
1.3.1.6. Métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes	33
1.3.1.7. Definición de términos básicos	61
1.4. Formulación del problema	64
1.5. Justificación e importancia del Estudio	64
1.6. Hipótesis	65
1.7. Objetivos	65
1.7.1. Objetivo general	65
1.7.2. Objetivos específicos	65
II. MATERIAL Y MÉTODOS	65
2.1. Tipo y Diseño de Investigación	65
2.1.1. Tipo de investigación	65
2.1.2. Diseño de la investigación	66
2.2. Variables, Operacionalización	67
2.3. Población y Muestra	69
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	70
2.4.1. Técnicas de Investigación	70
2.4.2. Instrumentos utilizados	70
2.5. Métodos de Análisis de datos	71
2.5.1. Diagrama de flujo de procesos	71
2.5.2. Descripción de proceso	72
2.5.2.1. Recolección de la información	72
2.6. Plan de análisis estadístico de datos	73
2.6.1. Enfoque Cualitativo	73

2.6.2. Enfoque Cuantitativo	73
2.7. Aspectos éticos	73
2.7.1. Ética de la publicidad	73
2.7.2. Ética de la aplicación	73
III. RESULTADOS	74
3.1. EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL	75
3.1.1. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 154	75
3.1.1.1. PARAMTROS DE LA EVALUCACIÓN	75
3.1.1.2. FORMATOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	78
3.1.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 310	80
3.1.2.1. BLOQUES ANALIZADOS	80
3.1.2.2. RESULTADOS ENSAYO DE EXTRACCIÓN DE DIAMANTINAS	88
3.2. EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA NO ESTRUCTURAL	89
3.2.1. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 74	89
3.2.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 310	90
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	93
4.1. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 154	93
4.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 310	95
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
5.1. CONCLUSIONES	100
5.1.1. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	100
5.1.2. VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL	102
5.2. RECOMENDACIONES	103
5.2.1. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	103
5.2.2. VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL	103
VI. REFERENCIAS	104

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución del daño en zonas aledañas luego del sismo de México de 1985	14
Figura 2. Marco Tectónico del Perú	21
Figura 3. Esquema del Modelo de Subducción de la placa oceánica (Nazca) bajo la continental (Sudamericana) en la Región Norte y Centro del Perú	22
Figura 4. Distribución de los Sismos destructores 1555 – 1974	25
Figura 5. Mapa de Sismicidad del Perú: Lambayeque, Magnitud > 3Mb. Enero 1900 – Junio 2017	26
Figura 6. Mapa de la Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas	28
Figura 7. Zonificación Sísmica	29
Figura 8. Relación existente entre vulnerabilidad, amenaza y riesgo	32
Figura 9. Implementación de la secuencia de la Investigación Visual Rápida	36
Figura 10. Formulario de Inspección Rápida para una región de Sismicidad Alta	39
Figura 11. Ilustraciones de irregularidades verticales en edificaciones	43
Figura 12. Irregularidades en Planta en edificaciones	43
Figura 13. Proceso de Evaluación del Método FEMA 310	48
Figura 14. Colapso de elementos no estructurales en escuelas durante sismos	50
Figura 15. Ejemplo de Formato de inventario No Estructural	58
Figura 16. Lista de Verificación de Peligros Sísmicos No Estructurales	58
Figura 17. Diseño de Investigación	66
Figura 18. Diagrama de flujo de procesos	71
Figura 19. Espectro de Aceleraciones del suelo en la zona de estudio	76
Figura 20. Modelación 3D en ETABS 2016 - Bloque 1 del Edificio de Ingeniería USS.	82
Figura 21. Modelación 3D en SAP2000 V.2019 - Bloque 1 del Edificio de Ingeniería USS	83
Figura 22. Modelación 3D en ETABS V.2015 - Bloque 2 del Edificio de Ingeniería USS	84
Figura 23. Modelación 3D en SAP2000 V.19 - Bloque 2 del Edificio de Ingeniería USS	85
Figura 24. Modelación 3D en ETABS v.16 - Bloque 3 del Edificio de Ingeniería USS	86
Figura 25. Modelación 3D en SAP2000 V.19 - Bloque 2 del Edificio de Ingeniería USS	87

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Frecuencia de terremotos basados en observaciones desde 1900</i>	13
Tabla 2. <i>Distribución de terremotos y mortandad desde 1990 hasta 2010</i>	13
Tabla 3. <i>Historia Sísmica del Norte del Perú</i>	22
Tabla 4. <i>Últimos sismos que afectaron el norte del Perú con Magnitud >5.0 Mb</i>	27
Tabla 5. <i>Relación entre Intensidad y Magnitud según Richter</i>	31
Tabla 6. <i>Relación intensidad –Magnitud – aceleración</i>	32
Tabla 7. <i>Regiones de Sismicidad acorde con la aceleración espectral de respuesta</i>	38
Tabla 8. <i>Sistemas Resistentes a fuerzas laterales</i>	41
Tabla 9. <i>Modificadores del comportamiento sísmico según FEMA 154</i>	41
Tabla 10. <i>Significado de las nomenclaturas que aparecen en el formato FEMA 154</i>	44
Tabla 11. <i>Clasificación de daños según tipo de edificio</i>	45
Tabla 12. <i>Esperado nivel de daño en función de la puntuación de RVS</i>	46
Tabla 13. <i>Tipos de Edificaciones de acuerdo al sistema resistente a fuerza lateral</i>	49
Tabla 14. <i>Elementos No estructurales que deben ser considerados en la evaluación de la vulnerabilidad</i>	51
Tabla 15. <i>Elementos no Estructurales</i>	59
Tabla 16. <i>Operacionalización de Variables</i>	67
Tabla 17. <i>Sistema Estructural de los Bloques Inspeccionados en el Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán</i>	78
Tabla 18. <i>Irregularidad en Planta de los bloques inspeccionados en el Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán</i>	79
Tabla 19. <i>Irregularidad Vertical de los bloques inspeccionados en el Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán</i>	79
Tabla 20. <i>Bloques inspeccionados Pre- Código del Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán</i>	79
Tabla 21. <i>Bloques inspeccionados Post – Bench Mark en el Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán</i>	80
Tabla 22. <i>Derivas Resultantes del Bloque 1 - ETABS v.16</i>	82
Tabla 23. <i>Derivas Resultantes del Bloque 1 - SAP2000 v.19</i>	83
Tabla 24. <i>Derivas Resultantes del Bloque 2 - ETABS v.16</i>	84
Tabla 25. <i>Derivas Resultantes del Bloque 2 - SAP2000 v.19</i>	85
Tabla 26. <i>Derivas Resultantes del Bloque 3 - ETABS v.16</i>	86
Tabla 27. <i>Derivas Resultantes del Bloque 2 - SAP2000 V.19</i>	87
Tabla 28. <i>Ensayo de extracción de diamantinas</i>	88
Tabla 29. <i>Ensayo de rotura de núcleos a compresión</i>	88
Tabla 30. <i>Factores de corrección por esbeltez</i>	88
Tabla 31. <i>Inventario Priorizado - Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán</i>	90
Tabla 32. <i>Matriz resumen - Evaluación no estructural del Edificio de Ingeniería de Universidad Señor de Sipán FEMA 310</i>	91
Tabla 33. <i>Resumen de resultados de Puntuación “S” del Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán</i>	93
Tabla 34. <i>Rango de valores “S” de los Bloques del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán</i>	94
Tabla 35. <i>Daño Potencial de acuerdo a los valores “S” de los Bloques del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán</i>	95

Tabla 36. <i>Límites para la distorsión del entrepiso</i>	96
Tabla 37. <i>Derivas Máximas Admisibles en el Bloque 1</i>	96
Tabla 38. <i>Derivas Máximas Admisibles en el Bloque 2</i>	97
Tabla 39. <i>Derivas Máximas Admisibles en el Bloque 3</i>	97
Tabla 40. <i>Irregularidades Estructurales</i>	98
Tabla 42. <i>Resultados del Ensayo de rotura de núcleos a compresión</i>	99

RESUMEN

Los recientes estudios de vulnerabilidad sísmica se orientan a determinar la susceptibilidad de las edificaciones existentes a sufrir un categórico daño ante un eventual sismo, realizándose planes de mitigación y reducción en medida del daño que éstas puedan recibir. Figuran numerosas metodologías para poder realizar este tipo de evaluaciones, identificándose esencialmente aquellas del tipo analítico y por otro lado las subjetivas o cualitativas. La elección depende de la información disponible, del objeto de estudio, entre otros aspectos.

La presente tesis, tiene como objeto de estudio evaluar la vulnerabilidad sísmica del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán. Este tipo de edificación es considerada en la categoría de edificaciones esenciales tal como lo indica la norma Sismorresistente E.030 - 2016. Las universidades adquieren la categoría de esenciales, debido a que albergan a grandes grupos de personas durante tiempos prolongados, aparte de poder servir de resguardo después de un desastre. Para evaluar la vulnerabilidad sísmica de universidades se empleó la metodología de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA - USA).

Como primer paso se realizó la evaluación a todos los bloques del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán a través de la metodología que nos brinda la guía **FEMA 154**, mediante la cual se pudo conocer aquellos bloques que necesitaban una investigación más detallada. Luego se eligieron los bloques a ser evaluados con la metodología de la guía **FEMA 310** (tanto para elementos estructurales y no estructurales) y la guía **FEMA 74** (para la evaluación de los elementos no estructurales).

Los resultados de este trabajo demuestran que los tres bloques del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán tienen una alta probabilidad de sufrir daño grado 3; y una muy alta probabilidad de daño grado 2, de acuerdo con la escala macro sísmica europea.

Palabras clave: Amenaza sísmica, Riesgo sísmico, Vulnerabilidad Sísmica, edificaciones esenciales, elementos estructurales, elementos no estructurales, zona altamente sísmica, distorsión de entrepiso, Magnitud e intensidad sísmica.

ABSTRACT

Recent studies of seismic vulnerability are aimed at determining the susceptibility of existing buildings to suffer a categorical damage in the event of an earthquake, carrying out mitigation and reduction plans to the extent of the damage they may receive. There are numerous methodologies to be able to carry out this type of evaluation, essentially identifying those of the analytical type and on the other hand the subjective or qualitative ones. The choice depends on the information available, the object of study, among other aspects.

The present thesis, has as object of study to evaluate the seismic vulnerability of the Engineering Building of the Universidad Señor de Sipán. This type of building is considered in the category of essential buildings as indicated by the seismic rule E.030 - 2016. Universities acquire the category of essential, because they house large groups of people for long periods, apart from being able to serve of shelter after a disaster. The methodology of the Federal Agency for Emergency Management (FEMA - USA) was used to evaluate the university's vulnerability.

As a first step, the evaluation was carried out on all the blocks of the Engineering Building of the Universidad Señor de Sipán through the methodology provided by the FEMA 154 guide, through which it was possible to identify those blocks that needed a more detailed investigation. Then the blocks to be evaluated were chosen with the methodology of the FEMA 310 guide (both for structural and non-structural elements) and the FEMA guide 74 (for the evaluation of non-structural elements).

The results of this work show that the three blocks of the Engineering Building of the Universidad Señor de Sipán have a high probability of suffering grade 3 damage; and a very high probability of damage grade 2, according to the European seismic macro scale.

Keywords: Seismic threat, Seismic Hazard, Seismic Vulnerability, Essential Buildings, Structural Elements, Non-structural Elements, Highly Seismic Zone, Mezzanine Distortion, Magnitude and Seismic Intensity.

I. INTRODUCCIÓN

La destrucción que producen los sismos en las edificaciones, así como las pérdidas humanas que han provocado a lo largo de la historia, nos demuestra el potencial devastador que pueden tener. Por esta razón es importante incidir en la investigación del comportamiento de las estructuras frente a la acción sísmica.

Los últimos sismos severos en el Perú, han demostrado el mal funcionamiento de muchas estructuras existentes, así como la necesidad de intervenir aquellas edificaciones diseñadas con criterios de normativas antiguas e inadecuadas, o aquellas que incluso han sido diseñadas antes de que en nuestro país se implementaran estos códigos sismorresistentes. Es por ello que se hace necesario e indispensable identificar el grado de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

Las medidas preventivas que puedan implementarse van dirigidas especialmente a la categoría de edificaciones esenciales que son instalaciones de especial importancia que debido a la trascendente función que realizan en la vida social de una comunidad, y sobre todo en la atención de la emergencia asociada a un evento sísmico.

Las universidades pertenecen a este grupo de edificaciones esenciales, pues concentran altas densidades de personas por tiempos prolongados, así como su función de refugio post sismo. Es por eso que cobra mayor importancia el análisis en el área de estudio, sabiendo que no existe una investigación de este tipo para el Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán.

1.1. Realidad problemática

1.1.1. A nivel internacional

Una de los mayores problemas en el planeta son los sismos y sus desastrosas consecuencias como los acontecidos en Japón (1995), en Los Ángeles (Estados Unidos, 1994) y en la ciudad de México (1985), ya que han sido causa de fracaso para los involucrados, por las dramáticas sucesos ocurridos en diversos escenarios y se estropearon más de lo planeado, con miles de cifras en destrozos físicos y humanos y lo afectados de sus servicios vitales en las ciudades. “Durante la presencia de un sismo el nivel de daño de una estructura depende de su grado de desplazamiento, de tal manera que la vulnerabilidad aumenta en función del movimiento. (Mayorga, 2011)

Según lo acontecido en diversas partes del mundo la manera en que la sociedad reside con el riesgo frente a estos eventuales peligros y las medidas que adopta son los

problemas más significativos que afrontamos, incluyo mayores a la probabilidad de que ocurra el sismo en sí. Además el progreso y la mejora de los dispositivos de detección de sismos han permitido detectarlos a pesar de las grandes distancias o de magnitudes casi despreciables, lo que antes era imposible, así como hacer que la información llegue al instante a cualquier parte de la tierra con el avance tecnológico de las telecomunicaciones. (Marín, 2012)

Tabla 1.

Frecuencia de terremotos basados en observaciones desde 1900

Descripción	Magnitud	Promedio anual
Destructivo	> 8	1
Grande	7 - 7,9	15
Fuerte	6 - 6,9	134
Moderado	5 - 5,9	1319
Ligero	4 - 4,9	13000 (Estimado)
Menor	3 - 3,9	130000 (Estimado)
Muy pequeño	2 - 2,9	1300000 (Estimado)

Fuente: USGS - Servicio Geológico de los Estados Unidos

El número promedio anual de sismos a nivel mundial con magnitud en escala Richter entre 7 – 7,9; es alrededor de 15 y con magnitud superior a 8 es de 1. No obstante estos estudios no reflejan el número de víctimas mortales causadas por dichos sismos, pues estas se dan en función del riesgo sísmico de la zona.

Tabla 2.

Distribución de terremotos y mortandad desde 1990 hasta 2010

1990 - 1999		2000 - 2010	
Número de terremotos	Número de víctimas	Número de terremotos	Número de víctimas
1492	114646	1764	791174

Fuente: USGS - Servicio Geológico de los Estados Unidos

Los sismos originan daño en las edificaciones en función del el sistema estructural, tipo de suelo, su estado actual, la construcción, el diseño, etc. Como ejemplo en la **figura 1** se visualiza el daño originado en edificaciones de características similares ubicadas en zonas colindantes por el sismo de México en 1985 (Astorga y Aguilar, 2006).

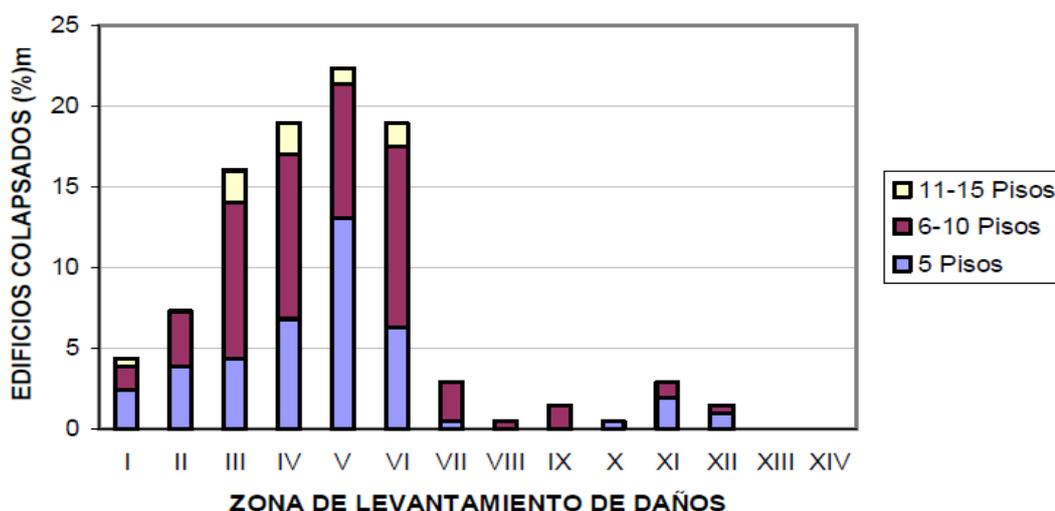


Figura 1. Distribución del daño en zonas aledañas luego del sismo de México de 1985.

Fuente: Astorga y Aguilar (2006)

1.1.2. A nivel nacional

Todos los países ubicados alrededor del Océano Pacífico, están expuestos a grandes sismos, en algunos casos con consecuencias tsunamigénicas, debido a que forman parte de una de las zonas más sísmicas a nivel mundial conocida como “Círculo de Fuego del Pacífico”. Dentro de este contexto, el Perú se encuentra en una zona altamente sísmica relacionado al proceso de subducción entre la placa de Nazca y la Sudamericana, produciendo terremotos con magnitudes altas con relativa frecuencia y generando en algunos casos grandes tsunamis. (Yauri, 2008)

En el Perú, el 15 de agosto del 2007, la zona de Pisco, Ica, Nazca, Chíncha y zonas aledañas, fueron azotadas por un sismo de magnitud 7 en la escala de Richter, causando la muerte de 595 personas, además de 318 desaparecidos y casi 320,000 damnificados y millones de dólares en pérdidas. Según la estación acelerográfica del CISMID ubicada en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, la aceleración pico fue de 334 gals. Por otro lado se reportaron más de 1000 réplicas y la longitud de la ruptura de la falla se estimó en casi 150 Km. (Marín, 2012)

Los efectos más desastrosos de un sismo se podrían generar producto de las grandes densidades poblacionales concurridas en determinadas zonas como en el caso de

Lima y el Callao, departamentos en los cuales residen más de 8 millones de personas, se centraliza parte importante movimiento económico y la toma de decisiones a nivel de todo el territorio nacional, lo cual lo vuelve muy vulnerable a que ocurran sismos de alta magnitud y/o tsunamis. Según el Instituto Geofísico del Perú (IGP), debido al largo silencio sísmico en esta región del país, existe una gran probabilidad de que acontezca un sismo de una gran magnitud aproximada de 8 en la escala de Richter, semejante al ocurrido en 2007 en Pisco.

En 1997 se desarrolló un estudio sobre la vulnerabilidad sísmica en hospitales, elaborada con apoyo de la OPS/OMS, como el del Hospital Nacional Edgardo Rebagliati. Aquí se evalúan de manera cualitativa sólo los componentes no estructurales. (INDECI, 2011)

1.1.3. A nivel local

La ciudad de Chiclayo ubicada en la región Lambayeque se localiza en una zona altamente sísmica, por lo cual se ejecutó una evaluación de vulnerabilidad realizada con el método del “Índice de Vulnerabilidad” que se efectuó en 2342 edificaciones dando como resultado que **del 100%** de las edificaciones evaluadas solo el 10,5% son de concreto armado, el 40% de albañilería y el 49,5% de adobe. Las viviendas de albañilería y concreto armado presentan generalmente vulnerabilidad media, con una importante participación de éstas con vulnerabilidad alta y las de adobe habitualmente presentan vulnerabilidad alta, ya que la ciudad de Chiclayo está pasando por un largo tiempo en silencio sísmico dejando de lado las medidas de mitigación necesarias en casos de emergencia. (Olarte, Julca y Orbegoso, 2008)

1.2. Antecedentes Previos

1.2.1. A nivel internacional

Quintero Cardona, Nayriuska Del Carmen y Rojas Sojo, Jonathan Alexander en su tesis “**Niveles de vulnerabilidad y riesgo sísmico en edificaciones de la Parroquia Catedral del Municipio Libertador de Caracas - (2011)**” con el objetivo de evaluar los niveles de vulnerabilidad y riesgo sísmico presentes en las edificaciones de la Parroquia Catedral, Municipio Bolivariano Libertador de Caracas.

En este trabajo se aplicó la Metodología del Índice de Vulnerabilidad propuesta por tres organizaciones a) Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas

FUNVISIS, b) el método italiano (Benedetti y Petrini) y c) la metodología del ATC 21 (FEMA, 2002). Sin embargo, se consultaron otras metodologías para el análisis y desarrollo del trabajo.

Los resultados reportados por las tres metodologías se evidencia diferentes criterios de evaluación, por una parte en el Método Italiano se incorporaron simplificaciones en la evaluación de los parámetros, ajustándolos a la información recopilada en la base de datos y por otro lado en el Método FEMA (2002), se presentan puntajes bases para cada tipología estructural que no corresponden a la cultura constructiva y aspectos normativos de nuestro país. Los resultados conseguidos por el Método FUNVISIS y el Método Italiano para la estimación de los Índices de Vulnerabilidad son similares, ya que para ambas metodologías hay valores próximos al 30% y 60% en vulnerabilidad alta y moderada respectivamente. Lo cual no ocurre con el Método FEMA, en el que más del 60% de los edificios alcanzan una vulnerabilidad alta.

1.2.2. A nivel nacional

María Angela, Astorga Mendizábal y Rafael, Aguilar Vélez en su tesis “**Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas (2010)**” cuyo objetivo es encontrar los sistemas estructurales principales de los centros educativos públicos y privados desarrollando métodos que estimen las pérdidas con sismos de diferentes magnitudes..

La metodología para su desarrollo de tesis consistió en acudir al Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y Salud (INFES) para identificar principalmente a 5 sistemas estructurales. Para la recolección de datos se utilizó el método Delphi con el apoyo de la página web perfeccionada para dicha tesis: <http://www.pucp.edu.pe/secc/civil/dsrep/>.

La tesis concluyo en que de los aproximadamente 41000 centros educativos construidos en el país, sólo el 37% son construcciones de concreto armado y albañilería, mientras que el 48% son de tierra y 8% de madera. En departamentos de la costa y algunas provincias de la sierra las edificaciones son de mayor proporción las de concreto armado y albañilería siendo el 50% las de tierra. Como resultado de este proyecto se lograron desarrollar matrices de daño y curvas de fragilidad para los 5 tipos de edificaciones

registradas.

1.2.3. A nivel local

Según la Oficina de Defensa Civil - Lambayeque en su plan distrital de operaciones para sismos 2012 resalta que en Lambayeque, en los últimos 25 años, no se han registrado sismos mayores de 5 grados en la escala de Richter, denotándose un silencio sísmico que permite concluir que se viene produciendo una considerable acumulación de energía. Siendo muy importante prepararse para realizar acciones de atención y ayuda ante situaciones de emergencia o desastres generados por un sismo superior a 5 grados, que sin dudas ocasionaría pérdidas de vidas humanas en la población así como daños materiales en la infraestructura existente, creando con ello, incertidumbre, problemas de salubridad y migraciones de las poblaciones; obstaculizando el normal desenvolvimiento de la actividad socioeconómica en las zonas afectadas; por lo que se deben adoptar acciones que permitan garantizar la preservación de la vida de la población, que directa o indirectamente se encuentran involucrada con esta problemática, y el restablecimiento de la actividad socioeconómica de las zonas afectadas.

1.3. Marco teórico

1.3.1. Teorías sobre la Generación de Sismos

1.3.1.1. Teoría de la Deriva de los Continentes

Esta teoría fue propuesta por el meteorólogo alemán Alfred Wegener, especialista en Astronomía Planetaria, en 1912, quien sostenía que hace aproximadamente 200 millones de años los continentes formaban una gran masa única, al que llamo Pagnea. Más adelante, esta extensa área se fraccionaria hasta llegar a formar lo que actualmente son los diversos continentes, los cuales se mantienen a flote por tener una menor densidad que el magma. Es interesante señalar que los continentes casi no han cambiado de forma, en su contorno, en millones de años.

Wegener propuso su teoría fundamentándola, principalmente, en la continuidad biológica del pasado remoto, pues los restos fósiles encontrados en continentes muy alejados entre sí Y con climas diferentes en la actualidad indican que la vida animal y vegetal fue, en aquella época, muy similar en ambas partes de la tierra. Otro hecho que llamó notablemente su acción fue la semejanza de contorno de la costa occidental del África y la costa oriental de Sudamérica.

Resultados de estudios efectuados reforzar una propuesta de Wegener, al encontrar que efectivamente hay continuidad lógica entre África y Sudamérica.

La armada norteamericana, al efectuar el levantamiento de la topografía de los fondos oceánicos (batimetría) En la década del 60, encontró que lo dicho por Wegener es cierto y que se ajusta mucho mejor si se juntan los bordes de las bases de las plataformas continentales, en vender las líneas costeras actuales, que, por ser superficiales, pueden variar mucho en su contorno, por los cambios causados por hundimientos y levantamiento de la superficie terrestre y por la disminución o elevación del nivel del mar, está sucediendo actualmente.

Recordemos que el calentamiento global de la tierra está derritiendo los polos de los polos y donaciones y, como esto, el nivel del mar continúa subiendo. (CSUDO, Origen de los Sismos)

B. Teoría del Rebote Elástico

Esta teoría afirma que, cuando una parte de la superficie terrestre se desplaza horizontalmente de manera continua respecto de una zona adyacente, las masas de roca se deforman y acumulan energía, pero, al llegar a su límite de resistencia, se produce su ruptura, originándose un sismo.

La parte distorsionada recupera su posición original y el corrimiento de una zona con respecto a la vecina se pueden observar en la superficie porque se marca permanentemente en las carreteras, líneas de árboles y cercos de chacras, las cuales quedan “quebradas”, desfasadas y discontinuas.

En el sismo de Guatemala de 1976, el eje de una carretera quedó visiblemente desfasado. La causa fue el desplazamiento de la falla de Motagua, tal como se aprecia en la ilustración y foto.

Este desplazamiento es similar al conocido caso de la falla de San Andrés en California, EE.UU., Sin embargo, la teoría del Rebote elástico explica satisfactoriamente los sismos que ocurren en California, pero presenta dificultades cuando trata de aplicarse a sismos que suceden en otros lugares como la costa de Sudamérica, donde los sismos se generan en un plano inclinado.

Los fenómenos descritos, sumados a otros problemas, conformaban las piezas -sin aparente relación- de un rompecabezas que los sismólogos trataban de resolver. Esto se ha ido logrando progresivamente mediante investigaciones efectuadas con instrumentos de mejor tecnología y con nuevos inventos perfeccionados en los años 50 y 60.

Por eso la década de los 60, surge una nueva propuesta complementaria, con la cual se completa una trilogía de importantes teorías destinadas a esclarecer las causas de la generación de los desastres sísmicos, uno de los fenómenos naturales que mayores estragos de vidas y daños causa.

En 1963, a partir de la realización de pruebas científicas, se propuso la Teoría de la Expansión de los Fondos Oceánicos. Esta sostiene que las placas – conformadas por los fondos marinos, que también comprenden, parcialmente, a los continentes- se desplazan. Con esta explicación, la Teoría de la Deriva de Wegener quedaba brillantemente complementada y resuelta. (CSUDO, Origen de los Sismos)

C. Teoría de la Expansión de los Fondos Oceánicos

Investigaciones efectuadas en el océano Atlántico, en las cercanías de la cordillera Medio-atlántica, en el tramo donde se ubica Islandia, revelaron algo sorprendente: la corteza de los fondos oceánicos se incrementa, es decir, se continua generando, pero también se consume continuamente, mientras el otro extremo actúa como una gran faja transportadora que reemplaza el fondo marino por otro nuevo, lo que toma cientos de millones de años.

Hay evidencias de que el magma asciende desde las profundidades de la Tierra hacia los fondos marinos por debajo de los ejes de las grandes cadenas de montañas submarinas llamadas Dorsales Oceánicas, a través de enormes grietas que tienen decenas y hasta cientos de kilómetros de ancho. Puede inferirse entonces que las rocas que conforman los fondos marinos se formaron por el ascenso de magma a través de dichas grietas.

Cuando el magma se enfría, pasa por un punto denominado Curie. El magnetismo que se genera en ese instante queda permanentemente grabado en la roca y esta se convierte en un fósil magnético. Como la emisión de magma es de igual volumen

en ambos lados de la grieta, en esta se forman bandas magnéticas simétricas.

Como una de los resultados más significativos de la Teoría de la Deriva de los Continentes y su relación con la Teoría de la Expansión de los fondos oceánicos, los geofísicos estudiaron los mecanismos de generación de sismos a la luz de esta nueva concepción. De este modo surgió una teoría global, integradora de todos los aspectos validos de las teorías anteriores, mediante la cual se unen las piezas sueltas del rompecabezas. (CSUDO, Origen de los Sismos)

D. Nueva Teoría Tectónica Global

La nueva teoría tectónica global, se extiende a un conjunto de concepciones acerca de lo complejo que es el estudio de la corteza terrestre a través de las interacciones de placas litosféricas más o menos rígidas. La teoría está basada en ciertos hechos posibles de las teorías de la deriva continental y de la expansión del piso oceánico. (CSUDO, Origen de los Sismos)

1.3.1.2. Amenaza Sísmica en el Perú.

El Perú es un país potencialmente sísmico a nivel mundial ya que forma parte del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico. Los movimientos sísmicos son producto del proceso de subducción entre la placa de Nazca bajo la Sudamericana causando fricción entre ambas placas provocando movimientos sísmicos con mayor continuidad, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Marco Tectónico del Perú.

Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP).

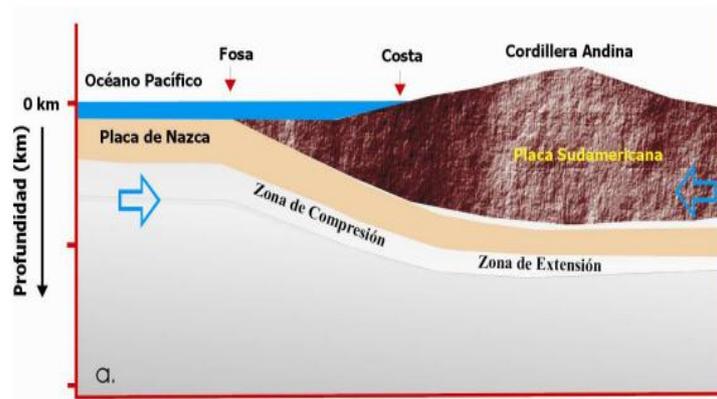


Figura 3. Esquema del Modelo de Subducción de la placa oceánica (Nazca) bajo la continental (Sudamericana) en la Región Norte y Centro del Perú.

Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP).

1.3.1.3. Historia Sísmica del Norte del Perú

Desde 1606 a la fecha la región de Lambayeque, ha sido afectada por terremotos, en su mayoría con epicentros localizados en el Océano Pacífico, generando intensidades en la Escala de Mercalli Modificada menores de VII grados en Lambayeque, Zaña y Chiclayo. Los movimientos sísmicos que afectaron la Zona Norte del país, anteriores al año de 1974 se conocen por relatos y apuntes de personajes que estuvieron en esos momentos. Los sismos más significativos en la zona norte del país se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3.
Historia Sísmica del Norte del Perú.

Fecha	Hora	Descripción
1606, marzo 23	15:00	Se estremeció violentamente la tierra en Zaña, Lambayeque.
1619, febrero 14	11:30	Terremoto en el Norte del Perú que arruinó los edificios de Trujillo y sus templos extendiéndose la destrucción a las Villas de Zaña y Santa.
1725, enero 07	23:25	Notable movimiento sísmico que ocasionó diversos daños en Trujillo. En los nevados de la Cordillera Blanca originó la rotura de una laguna glaciara, la cual arrasó un pueblo cercano a Yungay, muriendo 1500 personas.
1759, setiembre 02	23:15	Un gran temblor causó cinco víctimas en Trujillo y averió sus construcciones. Sentido a lo largo de la costa entre Lambayeque, hasta la villa de Santa.
1814, febrero 01	05:00	En Piura, fortísimo temblor que maltrató edificios y viviendas.

1857, agosto 20	07:00	Fuerte sismo en Piura, de cuarenta y cinco segundos de duración que destruyó muchos edificios. Se abrió la tierra, de la cual emanaron aguas negras. Daños menores en el Puerto de Paita.
1877, noviembre 26	-----	Chachapoyas sufrió los efectos de una recia sacudida de tierra.
1902, enero 02	09:08	Fuerte y prolongado movimiento de tierra en Casma y Chimbote donde causó alarma. Sentido moderadamente en Chiclayo y Paita. Leve en Lima. A las 10 horas se repitió en Casma, con menor intensidad
1905, abril 23	23:15	Movimiento Sísmico sentido a lo largo de la costa litoral entre Tumbes y el Valle de Santa.
1906, enero 09	05:00	Hubo temblor en el noroeste del país. Fuerte en Piura y Paita, mediado en Trujillo.
1907, junio 20	06:33	Sismo localizado por Sieberg (1930) a 7°S, 81°O. Grado IV de Mercalli en Chiclayo, Lambayeque y Éten. Grado IV en Olmos y en menor intensidad en Trujillo.
1907, noviembre 16	05:10	Temblor sentido en la Costa, entre Lambayeque y Casma en la región central en Tarma. Cerro de Pasco, Huancayo y en la selva entre Masissea y Puerto Bermúdez.
1912, julio 24	06:50	Terremoto en el Norte, arruinó la ciudad de Piura y poblaciones circunvecinas, ocasionando muertos y heridos. Se estimó una intensidad de X – XI en el área epicentral que parece hoy exagerados en vista del tipo, edad y calidad las construcciones que predominan en esa ciudad a comienzos del siglo.
1917, mayo 20	23:45	Fuerte temblor en Trujillo que agrietó paredes en edificios públicos, Palacio Arzobispal, local de la Beneficencia, hospitales, iglesias, monasterios y en muchas viviendas. El sismo fue fuerte en Zaña a 150 km al norte de Trujillo, en Chimbote y Casma.
1928, mayo 14	17:12	Notable conmoción sísmica que trajo devastación y muerte en varias poblaciones interandinas en el Norte del Perú. Sufrió casi total destrucción la ciudad de Chachapoyas (2318 msnm), capital de departamento de Amazonas, edificada en el valle de Utcubamba.
1928, julio 18	14:05	Una fuerte réplica del terremoto del 14 de mayo, causa en Chachapoyas el desplome de algunas casas que se encontraban ya desarticuladas con motivo de ese gran sismo.
1937, junio 21	10:13	Gran temblor sentido en la costa desde el paralelo 5° hasta 11° de latitud sur y hacia el interior unos 180 km. Área probable de percepción: 315.00 km. En la ciudad de Trujillo ocasionó caída de cornisas y rajaduras de paredes. En Lambayeque y en el puerto de Salaverry, derrumbes parciales de las torres de las iglesias.
1938, julio 06	23:50	Movimiento sísmico en el noroeste del Perú sentido fuertemente en Piura, Sullana, Chulucanas, lugares en los que causó alarma. Percibido con regular intensidad Chepén y Lambayeque.
1940, mayo 24	11:35	La ciudad de Lima y poblaciones cercanas fueron sacudidas por un terremoto, cuya intensidad apreciada por sus efectos sobre las construcciones urbanas se aproximó al Grado VII - VIII MM. Tuvo una vasta área de percepción, que comprendió casi todo el Perú.
1951, mayo 08	15:03	Movimiento sísmico regional sentido entre los paralelos 7° y 12° latitud S. En la ciudad Chiclayo tuvo el grado V de escala MM

1951, junio 23	20:44	Sismo originado en el océano, frente a las costas del litoral del Norte. En la ciudad de Trujillo y el puerto de Pacasmayo, se apreció una intensidad del grado V, de la escala de MM. Sentido en las poblaciones de Cajamarca y en el Callejón de Huaylas
1952, marzo 30	19:51	Fuerte movimiento sísmico en el Norte del Perú. Los moradores de la población andina de Cutervo, pernoctaron en carpas. Intensidad apreciada, alcanzó en Cajamarca y Chota (Grado V – VI MM).
1954, junio 15	08:30	La región nororiental fue conmovida por un fuerte sismo que causó ligeros daños materiales en las construcciones de las ciudades de Moyobamba, Celendín y Chachapoyas. El fenómeno se percibió en un área aproximada de 460,000 Km ² incluyendo Lima.
1955, agosto 19	02:45	Fuerte movimiento sísmico estremeció la zona norte del país. Ligeramente destructor en la Hacienda Cartavio (Trujillo) y en el puerto de Chimbote. Sentido desde Piura hasta el sur de Lima.
1959, febrero 07	04:38	La región costera del noroeste entre Tumbes y Chiclayo, fue sacudida por otro fuerte sismo que ocasionó ligeros deterioros en algunas viviendas de concreto en la ciudad de Talara. Intensidad grado VI MM.
1960, noviembre 20	17:02	Movimiento sísmico en el Norte. En Piura ocasionó dos muertos, varios heridos y daños a las construcciones, después un pequeño tsunami golpeaba las costas del departamento de Lambayeque, una ola de nueve metros de altura, causó daños en los puertos de Éten y Pimentel y en las caletas de Santa Rosa y San José.
1962, noviembre 15	18:25	Originado en la costa frente a Trujillo. Daños leves a las construcciones pobres. Sentido en Chiclayo, Trujillo y Chimbote.
1963, agosto 30	10:30	Intenso temblor en el noroeste. Rotura de objetos decorativos y menaje en Piura. Grado V MM. Alarma en Chiclayo y Trujillo.
1969, febrero 4	23:11	Las ciudades del norte del país especialmente Trujillo y Chiclayo, fueron sacudidas por un violento sismo. En Chiclayo causó gran alarma.
1970, mayo 31	-----	Un domingo por la tarde ocurrió uno de los más catastróficos terremotos en la historia del Perú y posiblemente del hemisferio occidental. Murieron ese día 50,000 personas, desaparecieron 20,000 y quedaron heridos 150,000, según el informe de la Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona Afectada (CRYRZA). La mayor mortalidad se debió a la gran avalancha que siguió al terremoto y que sepultó el pueblo de Yungay.
1970, diciembre 09	23:55	Un sismo de magnitud 7.2 sacudió y averió edificaciones de los poblados del noroeste del Perú. Murieron 48 personas. En Ecuador, hubo tantos otros muertos y daños materiales. La máxima intensidad fue de VIII grados en la Escala MM.
1971, julio 10	20:33	Un fuerte sismo en el noroeste del país, produjo en Sullana, la caída de dos viviendas antiguas ya dañadas por el terremoto de diciembre de 1970 y ligeros desperfectos en otras viviendas. Hubo alarma en Piura, Tumbes, Chiclayo y Trujillo.
1972, marzo 22	02:34	Juanjuí y Saposoa, edificadas a orillas del río Huallaga, fueron remecidas violentamente por un sismo que dejó 22 heridos y alrededor de quinientas viviendas inhabitables entre derrumbadas y semi destruidas.

Fuente: Silgado (1979)

El Catálogo Sísmico del Perú nos muestra registros de eventos sísmos entre los años 1471 – 1982.

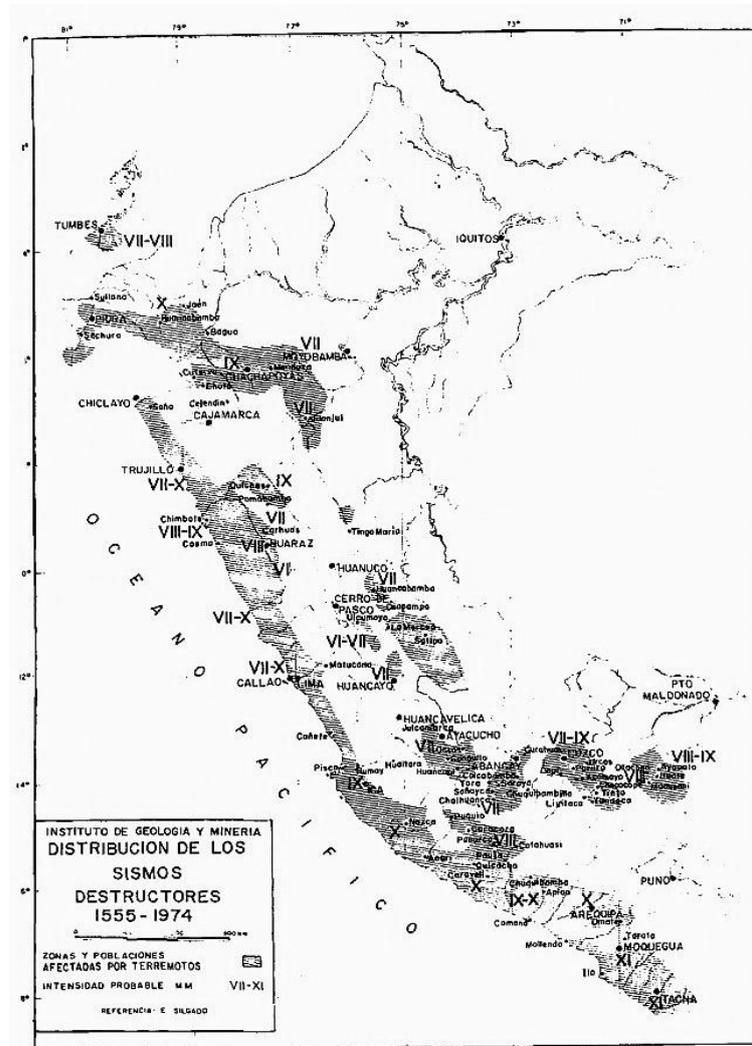


Figura 4. Distribución de los Sismos destructores 1555 – 1974.

Fuente: Silgado (1979)

En la Figura 4 podemos observar que el sur del país es la zona con mayor potencial a desencadenarse un evento sísmo de alta intensidad y con mayor continuidad. Sin embargo el norte está menos propenso, pero no libre de tener sísmos de intensidad significativa.

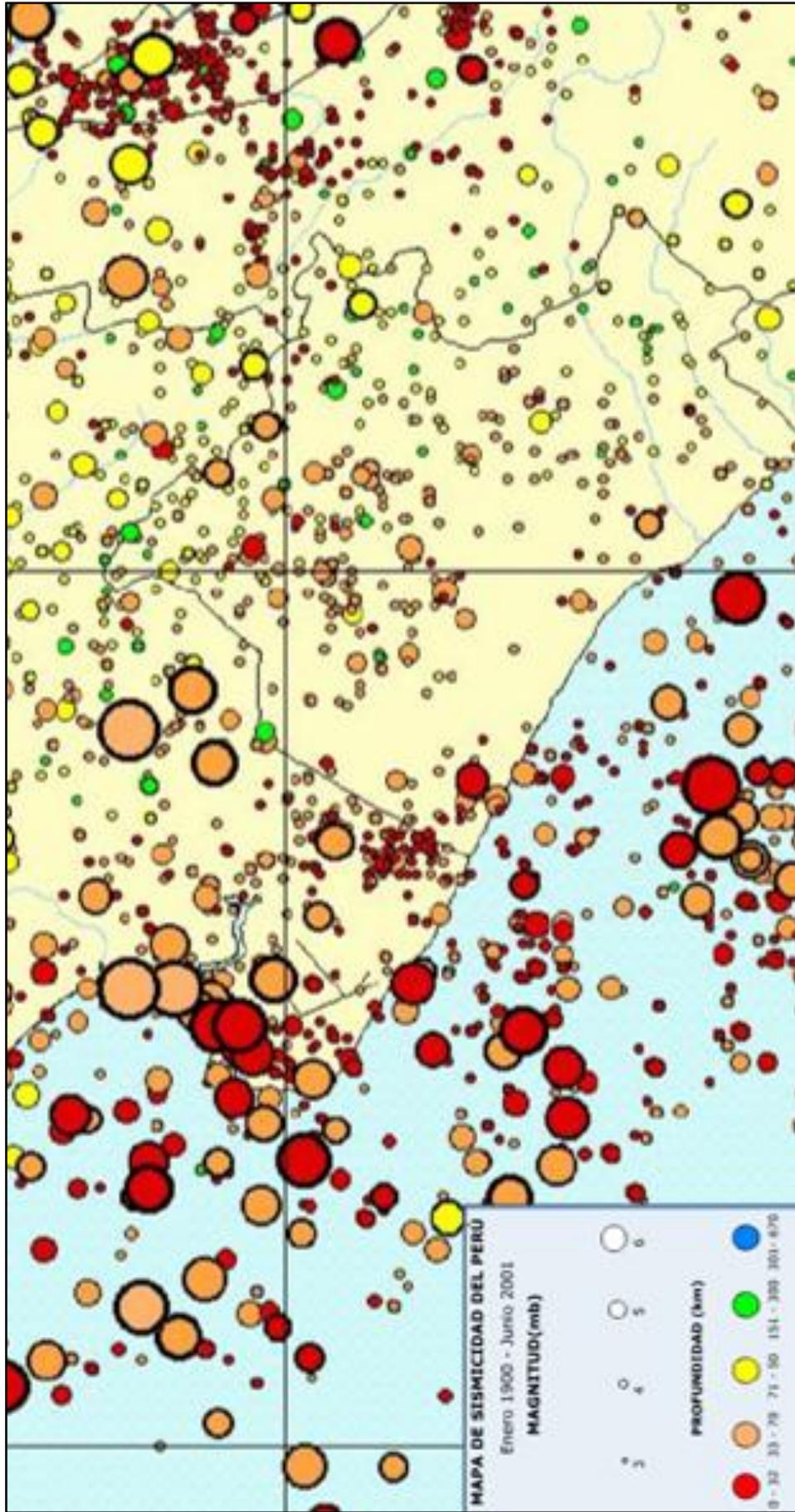


Figura 5. Mapa de Sismicidad del Perú: Lambayeque, Magnitud > 3Mb. Enero 1900 – Junio 2001.

Tabla 4.*Últimos sismos que afectaron el norte del Perú con Magnitud >5.0 Mb.*

FECHA	LONGITUD	LATITUD	PROFUNDIDAD	MAGNITUD
	OESTE	SUR	KM	
05/09/1932	-81.000	-6.000	50.000	6.0
21/06/1937	-80.000	-8.500	60.000	5.8
08/01/1942	-78.500	-6.000	110.000	5.6
06/11/1942	-77.000	-6.000	130.000	5.9
29/10/1956	-77.000	-8.500	60.000	6.4
20/11/1960	-81.000	-6.800	55.000	6.8
03/07/1961	-79.100	-8.700	57.000	5.5
08/07/1961	-77.100	-6.200	15.000	5.5
23/11/1961	-80.300	-5.600	61.000	5.9
29/11/1961	-76.400	-7.200	33.000	5.6
24/12/1961	-80.900	-5.700	33.000	5.7
13/04/1963	-76.700	-6.300	125.000	6.1
29/08/1963	-81.600	-7.100	23.000	6.1
03/08/1965	-81.270	-7.310	50.000	5.8
29/11/1965	-78.600	-6.000	39.000	5.5
09/05/1968	-81.790	-5.290	34.000	5.6
19/06/1968	-77.220	-5.550	33.000	6.4
20/06/1968	-77.300	-5.510	33.000	5.8
21/06/1968	-77.290	-5.640	22.000	5.6
07/07/1968	-77.180	-5.690	16.000	5.5
30/07/1968	-80.420	-6.860	36.000	5.8
31/03/1970	-80.130	-5.730	90.000	5.6
20/03/1972	-76.760	-6.790	52.000	6.1
09/06/1974	-81.000	-5.770	35.000	5.7
02/10/1974	-81.100	-5.880	6.000	5.7
20/05/1979	-77.390	-6.320	33.000	5.7
10/08/1982	-77.390	-5.340	3.000	5.5
11/10/1983	-79.360	-5.140	85.000	5.6
05/06/1984	-76.710	-7.830	25.000	5.7
05/02/1985	-78.100	-5.400	85.000	5.5
14/05/1987	-81.380	-5.640	26.000	5.7
09/09/1988	81.500	-7.130	35.000	5.7
04/04/1991	-77.130	-6.040	21.000	6.0
05/04/1991	-76.900	-5.950	20.000	6.5
05/04/1991	-77.090	-5.980	20.000	6.5
05/04/1991	-76.090	-5.810	24.000	5.5
11/04/2005	-76.998	-7.287	143.000	6.1
26/09/2005	-76.471	-5.564	118.000	6.7
04/02/2007	-80.330	-7.010	36.000	5.5
26/09/2007	-79.860	-3.960	124.000	5.6
04/07/2010	-80.471	-8.469	28.000	5.7
25/08/2011	-81.772	-5.962	35.000	5.1
12/08/2013	-81.873	-5.384	10.000	6.1
04/08/2014	-81.550	-6.910	19.000	5.4

Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP)

La **tabla 4** muestra el detalle de los sismos que afectaron el norte del Perú. Se puede deducir de ésta que, en Lambayeque han sido pocos los sismos con epicentro en el mismo. Según la **Figura 6** se puede apreciar que la región Lambayeque casi en su totalidad presenta una máxima intensidad sísmica de VI

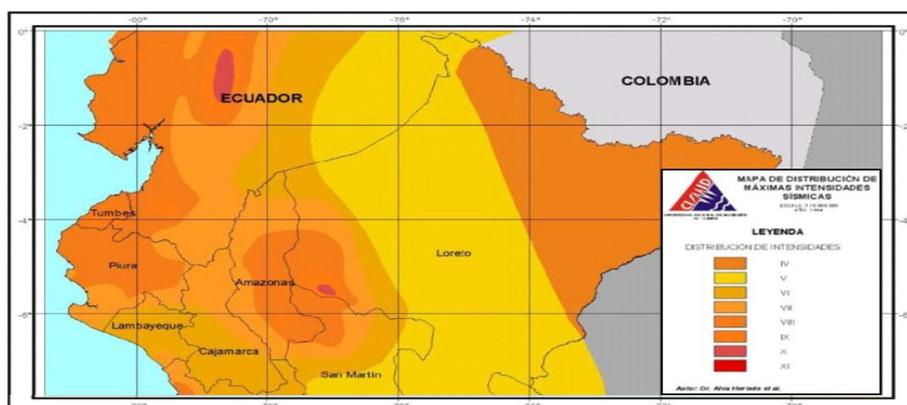


Figura 6. Mapa de la Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas.

Fuente: CISMID.

Estudios de Paleo Sismicidad sobre fallas activas del Perú; indican que en la Cordillera Blanca, los grandes sismos pueden tener períodos de retorno de 2000 años, además que existe una falla que no ha presentado actividad durante los últimos dos milenios, entonces lejos de considerarse una falla activa con escasa probabilidad de generar un sismo o de “bajo peligro” debería ser considerada muy peligrosa, por la cantidad de energía que debe estar acumulada en sus alrededores y que será liberada de alguna manera u otra. Es por esto que si tenemos en cuenta que han ocurrido sismos gran magnitud hace muchos años en la región, se puede inferir lógicamente que estamos refiriéndonos a una zona propensa a sufrir nuevamente un sismo de gran envergadura. A este fenómeno de ausencia de sismos de gran magnitud en una zona donde han ocurrido estos con anterioridad, se le conoce como “silencio sísmico”.

Esta tendencia de retorno de los sismos ha sido considerada importante para toda la zona costera, por lo que la Norma E.030 / 2016 califica a parte de la región Lambayeque como zona 4 (De alta sismicidad), por estar considerada como un lugar con alta probabilidad de ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

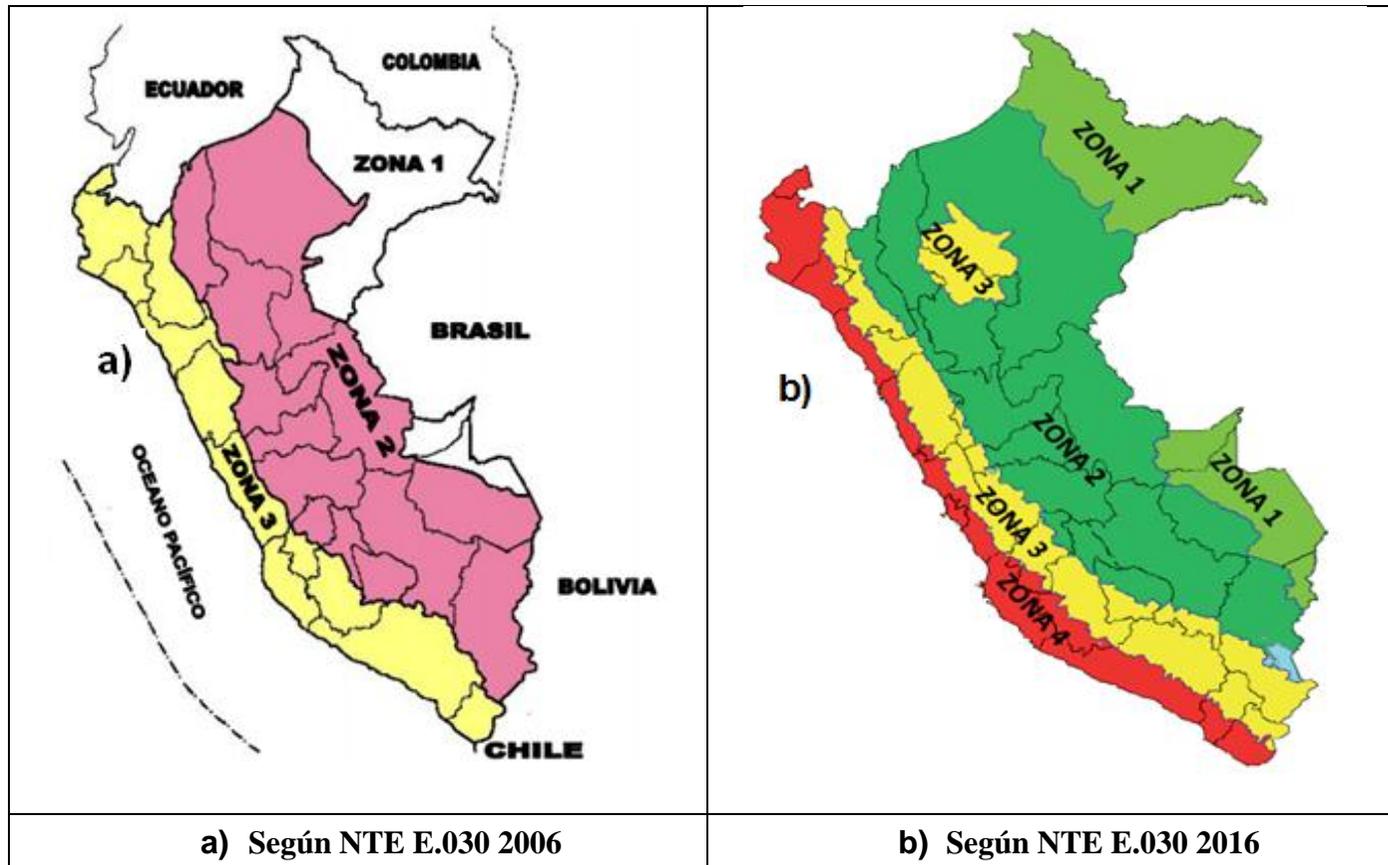


Figura 7. Zonificación Sísmica

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (2016)

1.3.1.4. Escalas de magnitud e intensidad

Según Bommer, (1994) Las escalas de magnitud e intensidad se utilizan para cuantificar o medir los terremotos. La escala de magnitud está relacionada con la energía liberada como ondas sísmicas a través del suelo y que es registrado por sismógrafos; la intensidad es la apreciación cualitativa del impacto del evento sísmico en la población, las construcciones y la naturaleza.

A. Intensidad Sísmica

Según el CSUDO - Centro de sismología de la Universidad de Oriente, (2012), La intensidad calcula cualitativamente los efectos de un terremoto y delimita las áreas con efectos similares. La intensidad se mide por el grado de daños a las construcciones realizadas por el hombre, la cantidad de perturbaciones en la superficie del suelo y el alcance de la reacción animal en la sacudida. La primera escala de intensidad en los tiempos modernos fue desarrollada por Rosi, de Italia, y Florel, de Suiza, en el año 1880. Esta escala que todavía es utilizada algunas veces para describir un terremoto tiene un intervalo de valores de I a X. Una escala más refinada, con 12 valores, fue construida en 1902 por el sismólogo y vulcanólogo italiano Mercalli, llamada escala de intensidad Mercalli modificada abreviada. La valoración de la intensidad sísmica es mediante una escala descriptiva, no depende de la medida del movimiento del suelo con instrumentos, sino que depende de las observaciones reales de los efectos en la zona macrosísmica

B. Magnitud Sísmica

Según el CSUDO, Centro de sismología de la Universidad de Oriente, (2012), para un sismo dado, la magnitud es una constante única que representa una medida cuantitativa del tamaño del sismo, independientemente del sitio de observación. La magnitud se determina midiendo la máxima amplitud de las ondas registradas en el sismograma correspondiente al evento. Una escala estrictamente cualitativa, que puede ser aplicada en sismos de regiones habitadas o no habitadas, fue ideada en 1931 por Wadati en Japón y desarrollada por Charles Richter en 1935 en California. Richter definió la magnitud de un evento local como el logaritmo en base a diez de la amplitud máxima de una onda sísmica registrada en un sismógrafo patrón (Wood – Anderson o su equivalente) a una distancia de 100 kilómetros del epicentro del terremoto. Esto significa que siempre

que la magnitud aumenta en una unidad, la amplitud de las ondas sísmicas aumenta 10 veces.

C. Relación entre intensidad y magnitud

Las intensidades son medidas de daños, y éstos están muy relacionados con las aceleraciones máximas causadas por las ondas sísmicas, es posible relacionarlos aproximadamente, las relaciones se muestran en la **tabla 5**.

Tabla 5.
Relación entre Intensidad y Magnitud según Richter

Intensidad MM	Magnitud Richter	Característica	Efectos
I	Hasta 2.5	Instrumental	No sentido excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables. Sismo registrado por instrumentos
II	De 2.5 a 3.1	Muy débil	Sentido solo por muy pocas personas en reposo, especialmente en pisos altos de edificaciones. Objetos suspendidos delicadamente pueden oscilar.
III	De 3.1 a 3.7	Ligero	Percibido en áreas densamente pobladas por una parte de la población. Sentido muy sensiblemente por personas dentro de edificaciones, especialmente las ubicadas en los pisos superiores. Muchas personas no se dan cuenta que se trata de un sismo. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como las producidas por el paso de un camión. Duración estimable.
IV	De 3.7 a 4.3	Moderado	Durante el día sentido en interiores por muchos, al aire libre por algunos. Por la noche algunos se despiertan. Platos, ventanas, puertas agitadas; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.
V	De 4.3 a 4.9	Algo fuerte	Sentido por casi todos, muchos se despiertan. Algunos platos, ventanas y similares rotos; grietas en el revestimiento de algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI	De 4.9 a 5.5	Fuerte	Percibido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Caminar inestable, árboles y materiales se agitan por efecto del sismo. Algunos muebles pesados se mueven; algunos casos de caída de revestimientos por lo general en las construcciones de tipo D se agrietan, chimeneas dañadas. Daño leve.
VII	De 5.5 a 6.1	Muy Fuerte	Todo el mundo corre al exterior. Notado por personas que conducen automóviles. Dificultad para mantenerse en pie, objetos colgantes se caen, se pueden producir pequeños derrumbes y deslizamientos. Daño significativo en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras corrientes bien construidas; considerable en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas edificios de tipo D ; se rompen algunas chimeneas aras del tejado, caída de cielo rasos, ladrillos, piedras, tejas, cornisas, también antepechos y ornamentos arquitectónicos no asegurados. Se presentan algunas grietas en edificios tipo C .
VII	De 6.1 a 6.7	Destructivo	La conducción de vehículos se dificulta, daños de consideración y colapso parcial de edificaciones tipo C , algunos daños en edificaciones tipo B , ningún daño en edificaciones tipo A , caída del repello y algunas paredes de mampostería, caída de chimeneas de fábricas, monumentos y tanques elevados, algunas ramas de árboles se quiebran, cambio de flujo o temperatura de pozos de agua, grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados, colapso parcial de estructuras, daños considerables en edificios ordinarios.
IX	De 6.7 a 7.3	Ruidoso	Pánico general. Construcciones de tipo D destruidas; daño severo en edificaciones y aún colapso de edificaciones tipo C , daño de consideración en edificaciones tipo B . Daños severos en estructuras tipo A . Daño general en cimientos. Armazones arruinadas. Daños Serios en embalses. Tuberías subterráneas rotas. Amplias grietas en el suelo. En áreas de aluvión, eyección de arena y barro; aparecen fuentes y cráteres de arena.

Intensidad MM	Magnitud Richter	Característica	Efectos
X	De 7.3 a 7.9	Desastroso	Destrucción de la mayoría de las edificaciones, derrumbe de puentes, daños serios en presas y embarcaderos
XI	De 7.9 a 8.4	Muy Desastroso	Pocas estructuras quedan en pie, fisuras en el terreno
XII	De 8.4 a 9	Catastrófico	Destrucción total, grandes masas de roca desplazadas, objetos lanzados al aire

Fuente: Bommer (1994)

Tabla 6.

Relación intensidad – Magnitud – aceleración.

Intensidad MM	Magnitud Richter	Aceleración/g
1	Hasta 2.5	0.001
2	De 2.5 a 3.1	0.001
3	De 3.1 a 3.7	0.003
4	De 3.7 a 4.3	0.007
5	De 4.3 a 4.9	0.015
6	De 4.9 a 5.5	0.032
7	De 5.5 a 6.1	0.07
8	De 6.1 a 6.7	0.15
9	De 6.7 a 7.3	0.323
10	De 7.3 a 7.9	0.695
11	De 7.9 a 8.4	1.498
12	De 8.4 a 9	3.227

Fuente: Nava (1998)

1.3.1.3. Vulnerabilidad Sísmica en Edificaciones

Según Peralta (2002) la vulnerabilidad sísmica se puede definir como el grado de susceptibilidad de una o un grupo de edificaciones, a sufrir daños parciales o totales, representados en bienes materiales y en vidas humanas, que pueden ocasionar la pérdida de funcionalidad, por la ocurrencia de movimientos sísmicos de una intensidad y magnitud dadas, en un periodo de tiempo y en un sitio determinado.

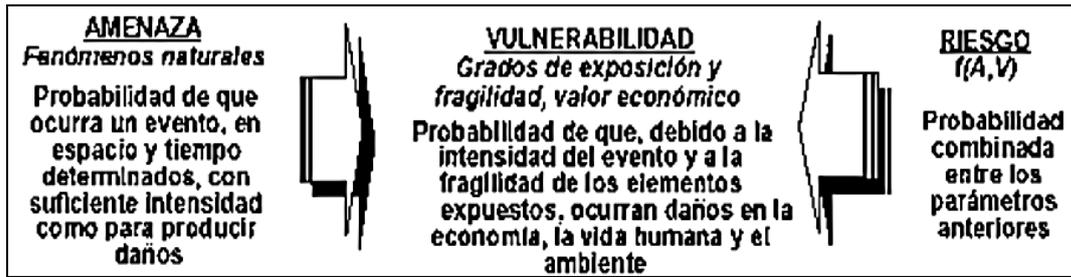


Figura 8. Relación existente entre vulnerabilidad, amenaza y riesgo.

Fuente: CEPAL (la Comisión Económica para América Latina y el Caribe) y BID (Banco Interamericano de Desarrollo) “Un tema de desarrollo: La Reducción de la Vulnerabilidad frente a los desastres”

1.3.1.6. Métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes

A. Vulnerabilidad Estructural

Existen muchas metodologías y técnicas que han sido propuestas por diferentes autores para evaluar la vulnerabilidad estructural. Elegir una metodología depende de algunos factores, por ejemplo: naturaleza y objetivo del estudio, información disponible, características del edificio estudiado, entre otras. Para la realización de un análisis de vulnerabilidad de una edificación se debe tener conocimiento de su demanda de carga y de su resistencia en servicio. Actualmente existen distintos tipos de evaluación de vulnerabilidad para diversas estructuras existentes.

A.1. Métodos cualitativos

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

Este tipo de métodos se caracterizan por ser: Métodos de evaluación rápida, los métodos cualitativos son diseñados para evaluar de manera rápida y sencilla un grupo de edificaciones. Entre estos métodos se encuentran: método del Ministerio de Construcción del Japón, el método Mexicano de evaluación diseñado por J.

Iglesias "Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la ciudad de México", El método ATC-21 (FEMA 154), método de Benedetti - Pretini.

A.2. Métodos cuantitativos

Para la evaluación de edificaciones esenciales, resulta necesaria la realización de un análisis más riguroso; para lo cual se dispone de los métodos cuantitativos. Los métodos cuantitativos o también llamados analíticos se basan típicamente en procedimientos de análisis y diseño antisísmico recomendados por las normas modernas; diferenciando el material constituyente de la estructura, ya que su objetivo principal es predecir su posible comportamiento, es así como se diferencian métodos de evaluación de estructuras de concreto reforzado, mampostería confinada, etc.

Así mismo, los métodos cuantitativos sirven para profundizar en los resultados obtenidos de los métodos cualitativos, cuando estos últimos no entreguen resultados determinantes sobre la seguridad de la estructura.

Para realizar un análisis de vulnerabilidad utilizando métodos cuantitativos, es preferible contar con cierta información como características de los materiales utilizados en la edificación, caracterización del suelo donde se encuentra emplazada la estructura y los planos estructurales entre otra información. Sin embargo, como se mencionó, el no contar con toda la información anterior no es impedimento, para aplicar estos métodos, lo que si implica es disminuir el grado de confiabilidad de los resultados.

Son métodos que en base a evaluaciones aproximadas estiman esfuerzos y deformaciones. Entre estos métodos se encuentran: Método Japonés de la norma sísmica, el método del Dr. Hirosawa, métodos de evaluación de la Energía, método del Dr. Akiyama, método ATC – 22.

A.3. Métodos Experimentales

Estos recurren a ensayos dinámicos para determinar las propiedades de las estructuras y /o sus componentes; en general están constituidos por ensayos “in situ” orientados a determinar las propiedades dinámicas y otras características y otras características esenciales de la estructura, involucrando de esta forma aspectos tan

importantes como la interacción suelo estructura, la incidencia de los elementos no estructurales, etc.

A pesar de que sus resultados no son determinantes, permiten en algunos casos orientar sobre el estado de la edificación y los posibles efectos que un sismo ha tenido sobre ella. Aplicar metodologías diferentes sobre una misma edificación puede dar el origen a importantes discrepancias en los resultados a veces difíciles de interpretar y conclusiones erradas. Es por esto que se recomienda complementar los métodos cuantitativos con los cualitativos, de esta manera elevar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

A.3.1. Método FEMA 154 (ATC-21)

Este manual fue preparado por el Consejo Aplicado de la Tecnología (ATC) por encargo de la Agencia Federal del Manejo de Emergencias (FEMA) y publicado en su Primera Edición en 1988 en los EE.UU. El Procedimiento de Investigación Visual Rápida (RVS, Rapid Visual Screening) ha sido desarrollado para una amplia audiencia con la finalidad de identificar, inventariar, y clasificar edificios que son potencialmente peligrosos ante un sismo. Desarrollado por un grupo multidisciplinario que incluye funcionarios e inspectores de edificios públicos, agencias de gobierno, profesionales de diseño, propietarios de edificios del sector privado, miembros de universidades quienes usan el Procedimiento RVS como herramienta de trabajo e investigación, miembros del público.

Este procedimiento puede ser implementado en forma relativamente rápida y económica para desarrollar una lista de edificios con peligro potencial ante un sismo sin un alto costo de análisis sísmico detallado de los edificios individuales. Aunque este procedimiento es aplicable a todas las edificaciones, su principal propósito es identificar:

Edificaciones existentes diseñadas y construidas antes de la adopción de adecuados requerimientos del diseño sísmico y detallado. Edificaciones en suelos suaves y pobres. Edificaciones que tienen características de desempeño que

influyen negativamente en sus respuestas sísmicas. Una vez identificadas, tales edificaciones deberían ser evaluadas más rigurosamente para determinar sus debilidades.

El RVS usa la metodología basada en una “investigación desde la acera” de una edificación y un Formato de Recolección de Datos, el cual es completado por la persona que dirige la investigación, basada en la observación de la edificación desde el exterior, y si es posible, también desde el interior. El formato de Recolección de Datos se elige de acuerdo a la amenaza sísmica de la zona: alta, moderada o baja, e incluye espacios para documentar la información que identifica la edificación, su uso y altura, una fotografía de la edificación, bosquejos y la documentación pertinente relacionada al comportamiento sísmico, lo que lleva al desarrollo de un Puntaje Final.

a. Implementación de la investigación

Hay diversos pasos en la planificación del procedimiento de Investigación Visual Rápida, la secuencia general se visualiza en la figura 11:

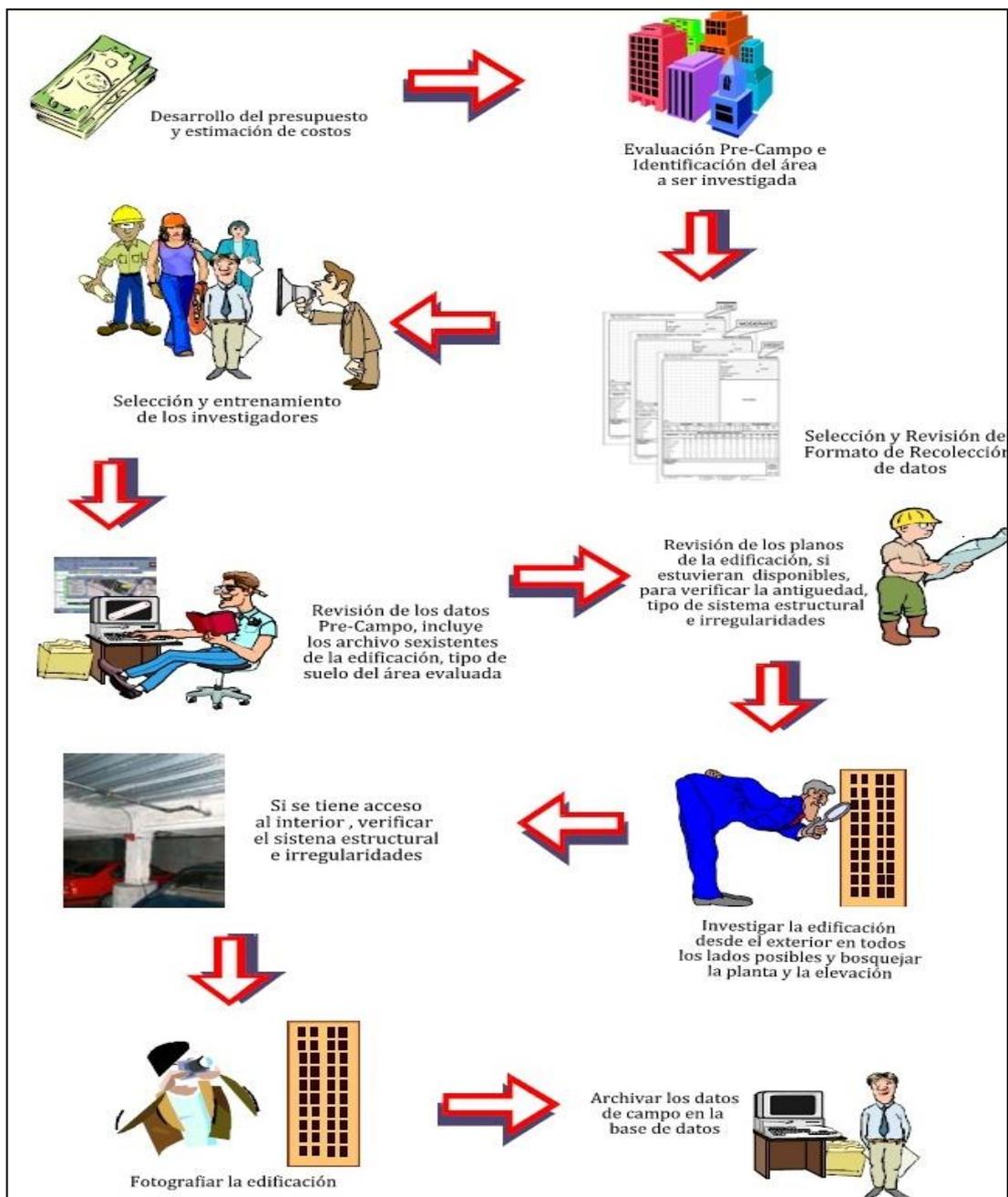


Figura 9. Implementación de la secuencia de la Investigación Visual Rápida
 Fuente: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (A Handbook – FEMA 154)

Así mismo es conveniente describir estos pasos para comprender el desarrollo de la secuencia y el alcance de la misma.

a.1. Desarrollo del presupuesto y estimación de costos

Muchas de las decisiones que se hacen acerca del nivel

de detalle documentado durante el procedimiento de RVS dependerán de las restricciones del presupuesto. Aunque el procedimiento está diseñado para evaluar en campo la edificación en 15 a 30 minutos (30 minutos a una hora cuando se tiene acceso al interior).

a.2. Planificación Pre – Campo

En esta etapa, se debe decidir las edificaciones con mayor prioridad a ser evaluadas, se pueden seleccionar aquellas que son más antiguas, con mayor densidad de ocupación, importancia que éstas tienen en su jurisdicción, ubicadas en una zona con amenaza sísmica, entre otras.

a.3. Selección y Revisión del Formato de Recolección de Datos

Hay tres Formatos de Recolección de Datos, uno por cada una de las tres regiones sísmicas propuestas: Baja (Low – L), Moderada (Moderate – M) y Alta (High – H). Cada formato provee espacios para registrar la información, bosquejos, fotografía, ocupación, tipo de suelo, elementos con riesgo de caer, desarrollar una Puntaje Final S para la edificación, indicar si se requiere una evaluación detallada y plasmar comentarios adicionales.

El Sistema de Puntaje Estructural consiste de una matriz de Puntajes Básicos Estructurales (uno por cada tipo edificación y sus sistemas resistentes a fuerzas laterales asociados) y Modificadores de Puntaje para tener en cuenta los atributos observados que modifican el comportamiento sísmico.

Tabla 7.

Regiones de Sismicidad acorde con la aceleración espectral de respuesta.

Región de Sismicidad	Aceleración espectral de respuesta (Período corto ó 0.2 seg)	Aceleración espectral de respuesta (Período largo ó 1 seg)
-----------------------------	---	---

Baja	Menos que 0.167g (en dirección horizontal)	Menos que 0.067g (en dirección horizontal)
Moderada	Mayor o igual que 0.167g pero menos que 0.500g (en dirección horizontal)	Mayor o igual que 0.067g pero menos que 0.200g (en dirección horizontal)
Alta	Mayor o igual que 0.500g (en dirección horizontal)	Mayor o igual que 0.200g (en dirección horizontal)

Nota g: aceleración de la gravedad

Fuente: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (A Handbook – FEMA 154).

El método maneja un formulario que contempla una descripción de la edificación que incluye diversos ítems, a continuación se presenta el formulario de recolección de datos para una región de sismicidad alta.

ESQUEMA PLANTA												Dirección:					
												Otras Identificaciones					
				N° de pisos:		Año de Construcción:											
Inspector:						Fecha:											
Área total de piso (m²):						Nombre del Edificio:											
Uso:						FOTOGRAFIA											
OCUPACION			TIPO DE SUELO						ELEMENTOS CON RIESGO DE CAER								
Sala Pública	Gobierno	N° Personas	A	B	C	D	E	F	<input type="checkbox"/> Chimenea no reforzada <input type="checkbox"/> Parapetos <input type="checkbox"/> Revestimiento <input type="checkbox"/> Otro:								
Oficina	Comercial	0-10	Roca	Roca	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo									
Historico	Industrial	11-100	Dura	Común	Denso	Rígido	Blando	Pobre									
Residencial	Colegio	101-1000															
	Serv. Emergencia	1000+															
PUNTAJE BÁSICO, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL S																	
TIPO DE EDIFICIO	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM		
Puntaje Básico	4.4	3.8	2.8	3.0	3.2	2.8	2.0	2.5	2.8	1.6	2.6	2.4	2.8	2.8	1.8		
Altura Mediana (4 -7 pisos)	N/A	N/A	0.2	0.4	N/A	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	N/A	0.2	0.4	0.4	0.0		
Gran Altura (> 7 pisos)	N/A	N/A	0.6	0.8	N/A	0.8	0.8	0.6	0.8	0.3	N/A	0.4	N/A	0.6	N/A		
Irregularidad Vertical	-2.5	-2.0	-1.0	-1.5	N/A	-1.0	-1.0	-1.5	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0		
Irregularidad en Planta	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5		
Pre-Código	0.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.8	-0.2	-1.2	-1.0	-0.2	-0.8	-0.8	-1.0	-0.8	-0.2		
Post-Benchmark	2.4	2.4	1.4	1.4	N/A	1.6	N/A	1.4	2.4	N/A	2.4	N/A	2.8	2.6	N/A		
Suelo Tipo C	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4		
Suelo Tipo D	0.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6		
Suelo Tipo E	0.0	-0.8	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-0.8	-1.2	-0.8	-0.8	-0.4	-1.2	-0.4	-0.6	-0.8		
PUNTAJE FINAL S																	
COMENTARIOS												REQUIERE EVALUACIÓN DETALLADA					
												SI	NO				

Figura 10. Formulario de Inspección Rápida para una región de Sismicidad Alta

Fuente: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (A Handbook – FEMA

Como puede observarse en el formato mostrado (Figura 12) se requiere de la siguiente información Localización y Nombre del edificio, Número de pisos, Año de construcción, Área total de pisos, Identificación de evaluador, Determinar y documentar el uso y la ocupación, Bosquejo de la Planta y Elevación, Identificar posibles peligros caídos no estructurales, Sistemas de resistencia a carga lateral, Modificadores de puntaje.

Una matriz de puntuación donde están los factores de ajuste del índice básicos con las características mostradas y explicadas la siguiente tabla da una explicación:

a.4. Selección y Entrenamiento de los Investigadores

Se requiere de un programa de entrenamiento, con el objeto de garantizar consistencia, gran calidad de datos y uniformidad de las decisiones entre los investigadores.

a.5. Revisión de los datos pre – Campo

Como fuentes suplementarias, pueden estar disponibles información de Sistema Estructural, antigüedad o uso. Estos datos y todos aquellos que tengan información acerca de la edificación que se encuentren disponibles (documentos de asesoría, mapas, inventario de edificaciones, documentos de construcción, datos municipales sobre edificaciones o estudios previos), deberían ser revisados y cotejados antes de comenzar la investigación de campo para el área a investigar.

Se debe buscar información referente sobre el tipo de suelo que predomina en el área de investigación. El tipo de suelo posee una gran influencia en la amplitud y duración de las vibraciones, por ello en el daño estructural.

a.6. Revisión de los Documentos de la Construcción

Los documentos de diseño y construcción deberían ser revisados antes de llevar cabo el trabajo de campo para ayudar al investigador a identificar el tipo de sistema resistente a fuerza lateral para cada edificación entre los sistemas

propuesto por el manual, esto enriquecería sustancialmente la confianza en esta determinación.

a.7. Investigación de la edificación en Campo

Deberá desarrollarse por equipos conformado por dos miembros. Se recomienda esto, con el fin de dar ocasión de discusión que requiera juicio propio y para facilitar el proceso de recolección de datos. Si fuera posible, uno de los integrantes deberá ser un profesional de diseño quien pueda identificar el sistema resistente a fuerza lateral. Esta metodología formula 15 tipos de sistemas estructurales que se distinguen por el sistema de resistencia a carga lateral.

Tabla 8.
Sistemas Resistentes a fuerzas laterales

Nº	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 pórticos de madera ligera con un área mayor a 5000 pies cuadrados (465m).
3	S1	Edificaciones con pórticos de acero resistentes a momento.
4	S2	Edificaciones con pórticos de acero arriostrados.
5	S3	Edificaciones con metal ligero.
6	S4	Edificaciones con pórticos de acero con muros de corte de concreto.
7	S5	Edificaciones con pórticos de acero rellenos de albañilería no reforzada.
8	C1	Edificaciones con pórticos de concreto
9	C2	Edificaciones con muros de corte de concreto.
10	C3	Edificaciones con pórticos de concreto rellenos con muros de albañilería no reforzada.
11	PC1	Edificaciones prefabricadas con estructuras aligeradas inclinadas en su parte superior.
12	PC2	Edificaciones con pórticos de concreto prefabricado.
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.

Fuente: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (A Handbook – FEMA 154)

Tabla 9.
Modificadores del comportamiento sísmico según FEMA 154

MODIFICADOR	DESCRIPCIÓN
Mediana Altura	Edificios entre 4 a 7 pisos
Gran altura	Edificios de 8 o más pisos

Irregularidad vertical	Pasos en elevación, muros inclinados, discontinuidades de ruta de la carga, edificio sobre una cuesta, piso blando (por ejemplo casa sobre un garaje), edificios con columnas cortas.
Irregularidad en planta	Edificios en forma de L, T, U, E u otra forma irregular de edificación en planta, edificios con buena resistencia lateral en una dirección pero no en la otra dirección, rigidez excéntrica en planta.
Pre - Código	Este modificador de puntuación se aplica para los edificios en las regiones de sismicidad moderada y alta. Es aplicable para edificios diseñados y construidos anteriormente al año en los cuales los códigos de diseño fueron adoptados y convertidos en normas en su jurisdicción.
Post – Benchmark (Referencia posterior).	Edificios diseñados y construidos después de mejoras significativas en los requerimientos del código sísmico (por ejemplo detalles de ductilidad) fueron adoptados y convertidos en normas en su jurisdicción.
Suelo Tipo C	Roca suave o suelo muy denso; velocidad de onda S entre 1200-2500ft/s; conteo de golpes 50; o resistencia al corte no drenada > 2000 psf.
Suelo Tipo D	Suelo rígido; velocidad de onda S entre 600 - 1200 ft/s; conteo de golpes 15 -50; o resistencia al corte no drenada 1000 - 2000 psf.
Suelo Tipo E	Suelo suave; velocidad de onda S < 600 ft/s; o más de 100ft del suelo con índice de plasticidad > 20; contenido de humedad > 40%; y una resistencia al corte no drenada <500psf

Fuente: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (A Handbook – FEMA 154)

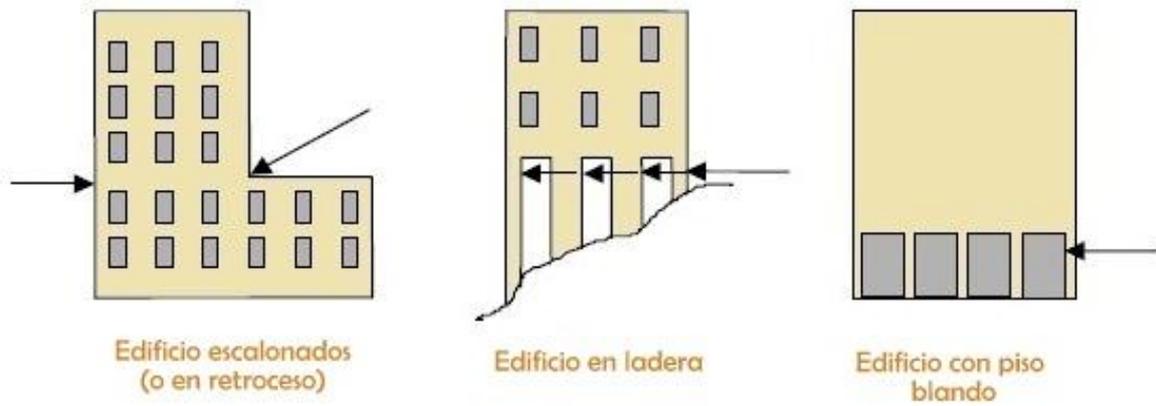


Figura 11. Ilustraciones de irregularidades verticales en edificaciones

Fuente: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (A Handbook – FEMA 154)

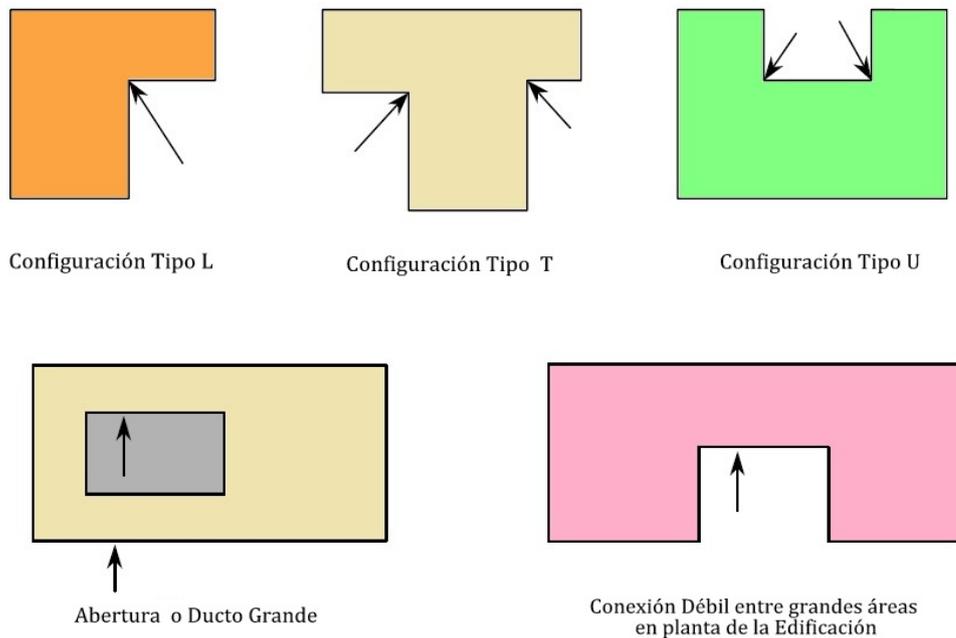


Figura 12. Irregularidades en Planta en edificaciones

Fuente: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (A Handbook – FEMA 154)

La puntuación Final estructural, S, se determina para un edificio determinado mediante la adición (o restando) los Modificadores de puntuación para el edificio a la puntuación de riesgo estructural básica para el edificio.

El resultado está documentado en la sección del formulario titulado puntuación Final. Basado en esta información, así como la calificación de "corte" seleccionada durante el proceso de planificación previa, el evaluador entonces decidirá si una evaluación detallada es necesaria para la construcción y de los círculos "Sí" o "NO" en el cuadro inferior derecho del formulario.

Tabla 10.
Significado de las nomenclaturas que aparecen en el formato FEMA 154

Nomenclatura	Nombre en Inglés	Nombre en español
BR	<i>Braced frame</i>	Estructura de acero arriostrado
FD	<i>Flexible diaphragm</i>	Diafragma flexible
LM	<i>Light metal</i>	Metal ligero
MRF	<i>Moment-resisting frame</i>	Estructura resistente a momento (pórtico)
RC	<i>Reinforced concrete</i>	Concreto Reforzado
RD	<i>Rigid diaphragm</i>	Diafragma rígido
SW	<i>Shear Wall</i>	Muro de corte
TU	<i>Tilt up</i>	Estructura prefabricada hecha en el suelo y levantada con equipos
URM	<i>Unreinforced masonry infill</i>	Mampostería de relleno no reforzada.

Fuente: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (A Handbook – FEMA 154)

Tabla 11.*Clasificación de daños según tipo de edificio*

Grados	Clasificación de los daños en edificios de mampostería	Clasificación de los daños en edificios de concreto armado
Grado 1: Daños de despreciables a ligeros	Fisuras en muy pocos muros.	Fisuras en el revestimiento de pórticos o en la base de los muros.
	Caída sólo de pequeños trozos de revestimiento.	
	Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.	Fisuras en tabiques y particiones.
Grado 2: Daños moderados	Grietas en muchos muros.	Grietas en vigas y columnas de pórticos y en muros estructurales.
	Caída de trozos bastante grandes de revestimiento.	Grietas en tabiques y particiones; caídas de enlucidos y revestimientos frágiles.
	Colapso parcial de chimeneas.	Caída de mortero de las juntas de paneles prefabricados.
Grado 3: Daños de importantes a graves	Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros.	Grietas en pilares y en juntas viga/columna en la base de los pórticos y en las juntas de los muros acoplados. Desprendimiento de revocos de hormigón, pandeo de la armadura de refuerzo.
	Se sueltan tejas del tejado.	
	Rotura de chimeneas por la línea del tejado.	Grandes grietas en tabiques y particiones; se dañan paneles de particiones aislados.
Grado 4: Daños muy graves	Se dañan elementos individuales no-estructurales.	Grandes grietas en elementos estructurales con daños en el concreto por compresión y rotura de armaduras; fallos en la trabazón de la armadura de las vigas; ladeo de columnas.
	Se dañan seriamente los muros.	
Grado 5: Destrucción	Se dañan parcialmente los tejados y forjados.	Colapso de algunas columnas o de una planta alta.
	Colapso total o casi total.	Colapso de la planta baja o de partes del edificio.

Fuente: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (A Handbook – FEMA 154)

Tabla 12.

Esperado nivel de daño en función de la puntuación de RVS

Puntuación de RVS	Daños Potenciales
S < 0.3	Alta probabilidad de daño de grado 5 Muy alta probabilidad de daño de grado 4.
0.3 < S < 0.7	Alta probabilidad de daño de grado 4 Muy alta probabilidad de daño de grado 3.
0.7 < S < 2.0	Alta probabilidad de daño de grado 3 Muy alta probabilidad de daño de grado 2.
2.0 < S < 3.0	Alta probabilidad de daño de grado 2 Muy alta probabilidad de daño de grado 1.
S > 3.0	Probabilidad de daño de grado 1.

Fuente: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (A Handbook – FEMA 154)

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el daño real dependerá de un número de factores que no están incluidos en el procedimiento de RVS. Como resultado, esta tabla sólo se debe utilizar como un indicador para determinar la necesidad de llevar a cabo la evaluación de la vulnerabilidad simplificada de los edificios.

Estos resultados también se pueden utilizar para determinar la necesidad de la rehabilitación de edificios eran evaluación más completa de la vulnerabilidad puede no ser factible

A.3.2. Método FEMA 310 (ATC -22)

La metodología FEMA 310 provee el proceso para la evaluación sísmica en tres niveles para edificaciones existentes en cualquier región de sismicidad. Las edificaciones son evaluadas para los niveles de desempeño de Seguridad de Vida y Ocupación inmediata. Otro de los propósitos del manual es instruir en el diseño

de la evaluación profesional en como determinar si un edificio esta adecuadamente diseñado y construido para resistir fuerzas sísmicas. Todos los aspectos de desempeño del edificio están considerados y definidos en términos estructurales, no estructurales y problemas de riesgo de cimentación/geológicos.

Se recomienda emplear previamente la investigación visual rápida de la edificación a través de la metodología FEMA 154 (Investigación Visual rápida para edificaciones con Riesgo Sísmico Potencial)

Este manual está basado en el manual para evaluaciones sísmicas de edificaciones existentes FEMA 178. El cual sumado a las experiencias que dejaron sismos significativos como el de Michoacán 1985 (México), Loma Prieta 1989 (Bahía de San Francisco EEUU), Northridge 1994 (Los Ángeles EEUU) y Kobe 1995 (Japón), se pudieron validar supuestos fundamentales presentados en la FEMA 178, cada uno de ellos también ofreció nuevos conocimientos sobre debilidades potenciales en determinados sistemas que deberían ser mitigados.

Existen investigadores que han basado la evaluación sísmica edificaciones existentes en las disposiciones de nuevas edificaciones. Mientras esto puede ser apropiado, debe ser hecho con un total conocimiento de las suposiciones inherentes. Los códigos para nuevas edificaciones contienen tres tipos básicos de requerimientos que incluyen: resistencia, rigidez y detallado. La resistencia y rigidez son fácilmente transferidos a edificaciones existentes; las suposiciones del detallado no. Si los elementos resistentes a fuerza lateral de una edificación existente no tienen el apropiado detalle de construcción, las expectativas básicas de las otras suposiciones de resistencias y rigidez no se reunirán. Los elementos resistentes a fuerza lateral que no estén apropiadamente detallados deberían ser omitidos durante una evaluación usando un código para nuevas edificaciones. Ante esto la metodología FEMA 310, nos proporciona el uso de factores de reducción R, para ajustar la evaluación por la falta de un adecuado detallado.

El proceso de evaluación consiste en tres niveles. Nivel 1: Fase de investigación, Nivel 2: Fase de Evaluación, y Nivel 3: Fase de Evaluación detallada (Figura 15). Como se indicara más adelante, el evaluador podría elegir entre reportar las deficiencias y medidas de mitigación recomendadas o conducir a un nivel de evaluación más detallado en cualquier nivel del proceso de evaluación que se encuentre.

La fase de Evaluación, nivel 1, consiste en 3 conjuntos de listas de verificación que permiten una rápida evaluación de los elementos estructurales, no estructurales y cimentación/geológicos de la edificación y condiciones de sitio, que son completadas en acorde con el manual.

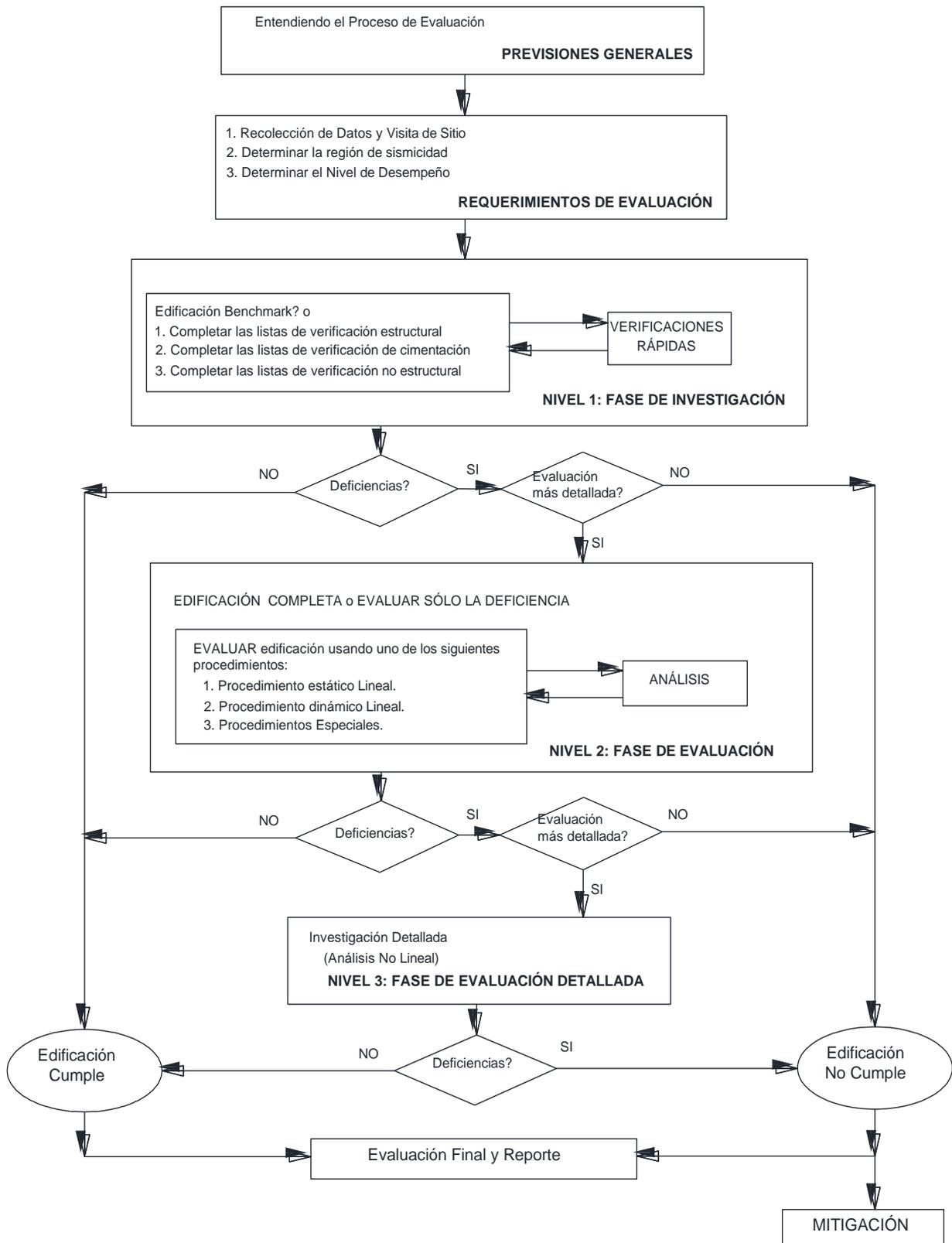


Figura 13. Proceso de Evaluación del Método FEMA 310.

Fuente: FEMA 310

La finalidad de la evaluación del Nivel 1 es reconocer si la edificación cumple con las suposiciones del manual o identificar velozmente las carencias potenciales. Si existen deficiencias identificadas durante el nivel 1 de evaluación, el evaluador podría elegir entre proceder con un nivel 2 de evaluación y conducir a una evaluación más detallada de la edificación o concluir la evaluación y reportar las deficiencias potenciales que fueron identificadas.

Para la Fase de Evaluación Nivel 2, un análisis completo de la edificación que incluyen todas las carencias identificadas en el Nivel 1 debe ser preparado. El análisis en el nivel 2 está condicionado a métodos de análisis lineal simplificado. Al igual que cuando se concluye en Nivel 1, si existen deficiencias identificadas durante un Nivel 2 de evaluación, el evaluador podría optar entre proceder con un nivel 3 de evaluación y conducir a una evaluación más detallada de la edificación o concluir la evaluación y reportar las edificaciones potenciales que fueron identificadas.

Cabe resaltar que en el manual se explica que según investigaciones realizadas en estructuras complejas han mostrado ser adecuadas usando procedimientos de análisis no lineal aun cuando con otros procedimientos comunes no lo son. El uso de procedimientos de un nivel 3 debe estar limitado para casos apropiados.

Tabla 13.
Tipos de Edificaciones de acuerdo al sistema resistente a fuerza lateral

Tipo de Edificación	Descripción	Nomenclatura
Tipo 1	Pórticos de madera liviana.	W1 – W1A
Tipo 2	Pórticos de madera para uso comercial e industrial.	W2
Tipo 3	Pórticos de acero resistente a momento.	S1 – S1A
Tipo 4	Pórticos de acero con elementos diagonales de arriostre.	S2 – S2A
Tipo 5	Pórticos de acero liviano.	S3
Tipo 6	Pórticos de acero con muros cortantes de concreto.	S4
Tipo 7	Pórticos de acero con muros cortantes de albañilería de relleno.	S5 – S5A
Tipo 8	Pórticos de concreto resistente a momento.	C1
Tipo 9	Edificios de muros de corte de concreto.	C2 – C2A
Tipo 10	Pórticos de concreto con muros de albañilería de corte de relleno.	C3 – C3A
Tipo 11	Prefabricados. Edificios de muros de concreto de corte.	PC1 – PC1A
Tipo 12	Pórticos de concreto prefabricados.	PC2 – PC2A
Tipo 13	Edificios de muros portantes de albañilería reforzada con diafragmas flexibles.	RM1
Tipo 14	Edificios de muros portantes de albañilería reforzada con diafragmas de concreto rígido.	RM2
Tipo 15	Edificios con muros portantes de albañilería no reforzada.	URM - URMA

Fuente: Manual FEMA – 310

B. Vulnerabilidad No Estructural.

Una edificación ubicada en zona sísmica debe contar con una estructura capaz de resistir las fuerzas promedio generadas por un sismo, formada por columnas, vigas, muros estructurales, cimentaciones. Adicionalmente están presentes una infinidad de elementos y contenidos que pueden interactuar con el sistema estructural o que simplemente pueden ser afectados por las aceleraciones generadas por un sismo, estos elementos llamados no estructurales.

Normalmente el comportamiento sísmico de los elementos no estructurales no es considerado por los ingenieros en el diseño y ejecución de un edificio, razón por la cual aun cuando el comportamiento estructural de un edificio sea satisfactorio, los elementos no estructurales pueden generar daños a sus ocupantes, a los que circulan por sus alrededores, a los bienes contenidos y a los que se encuentren en las cercanías de la edificación. Por otra parte, debe tenerse presente que la excitación de los elementos no estructurales, dada por dichos movimientos de la estructura, es en general mayor que la excitación en la base, por lo cual puede decirse que la seguridad de los elementos no estructurales se encuentra más comprometida en muchos casos que la de la estructura misma.

La experiencia frente a eventos sísmicos recientes muestra, en muchos casos, un excelente comportamiento de la estructura diseñada de acuerdo a los modernos criterios de sismo-resistencia, acompañado por desgracia de una deficiente respuesta de los elementos no estructurales, incluso el colapso de los mismos (Figura 14).



Figura 14. Colapso de elementos no estructurales en escuelas durante sismos

Fuente: CIGIR - Centro de investigación en gestión integral de riesgos, 2009

Por consiguiente, los elementos no estructurales, son elementos complementarios de una estructura; y además influyen notablemente en su vulnerabilidad. Si no se les da un buen mantenimiento, o se encuentran mal ubicados, representan una amenaza para la comunidad escolar.

B.1. Tipos de componentes no estructurales

Los elementos no estructurales se agrupan en tres tipos: Arquitectónicos, de Equipamiento y Mobiliario y las Instalaciones Básicas cumpliendo funciones esenciales en el edificio relacionados con el propósito y la función de la escuela formando parte del patrimonio de la institución, tal como se muestra en la Tabla 12.

B.1.1. Elementos Arquitectónicos: Este grupo está conformado por todos aquellos elementos arquitectónicos que forman parte del edificio.

B.1.2. Equipamiento y mobiliario: Este grupo incluye todos aquellos componentes que no son parte de la edificación, pero que se encuentran distribuidos en su interior apoyando las funciones que se realizan en cada ambiente.

B.1.3. Instalaciones Básicas: Incluye a todas las instalaciones fijas, las cuales en caso de mal funcionamiento dejarán inoperativa a la edificación.

Tabla 14.

Elementos No estructurales que deben ser considerados en la evaluación de la vulnerabilidad

ARQUITECTÓNICOS	EQUIPAMIENTO Y MOBILIARIO	INSTALACIONES BÁSICAS
Paredes de fachadas o divisiones interiores. Techos, cubiertas, cielos rasos.	Equipos de laboratorios.	Equipos de ventilación.
Recubrimientos.	Equipos deportivos.	Aire acondicionado, calefacción.
Ventanas, vidrios.	Equipos médicos. Mobiliario.	Electricidad.
Antenas, letreros. Ornamentos, cuadros. Lámparas, iluminación.	Equipos de oficina.	Redes y equipos de comunicaciones.
Puertas, rutas de escape.		Instalaciones de agua potable y alcantarillado.
Barandas.		Sistemas de evacuación,

Fuente: Vulnerabilidad de la estructura física de las escuelas. CIGIR 2009

B.2. Tipos de daños que pueden generar los elementos no estructurales

Los daños pueden ser clasificados como sigue:

B.2.1. Daños personales

Heridas, lesiones y hasta la muerte de los ocupantes o los transeúntes próximos al edificio ocasionados por los elementos no estructurales durante un sismo. Dentro de este daño podemos incluir las dificultades de evacuación de un edificio que puede resultar como consecuencia de los daños en los elementos no estructurales ocasionados por un sismo.

B.2.2. Daños a la propiedad

En muchas estructuras los componentes, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos son más costosos que la estructura principal, de modo que los daños a la propiedad suelen ser costosos. Los daños a la propiedad pueden ser directos, aquellos que resultan de reponer los elementos no estructurales a su estado original, e indirectos, todos aquellos costos y trabajos que son necesario para restituir la información que se pueda perder.

B.2.3. Pérdida de funcionalidad

Adicional a los daños personales y a la propiedad, también la estructura puede perder su operatividad después del sismo. En el caso de las escuelas esto es importante no solo por el importante papel que éstas desempeñan en la sociedad, sino por el uso como estructura de emergencia para atención médica o para damnificados

que se suele dar a estas edificaciones.

B.3. Causas del daño en los elementos no estructurales

Los sismos pueden generar sobre los elementos no estructurales:

B.3.1. Fuerzas inerciales: Cuando actúa un movimiento sísmico mueve una estructura su base se desplaza y acelera, mientras que el resto de la estructura experimenta fuerzas inerciales.

Estas fuerzas inerciales afectarán tanto a la estructura, como a los elementos no estructurales y serán más grande en la medida en que la masa sea mayor o si la aceleración se incrementa.

La fuerza inercial sobre los elementos no estructurales puede hacer que estos oscilen, se deslicen, volteen o golpeen entre sí.

Entre los elementos sensibles a estas fuerzas podemos mencionar: Cielo raso, estantes, equipos de oficina, muebles, maquinarias, productos almacenados, entre otros.

B.3.2. Distorsión interna del edificio: Como respuestas a las fuerzas inerciales, la estructura del edificio se deforma, la distorsión entre la altura de un piso (deriva) puede ser responsable de los daños a elementos no estructurales que se encuentren conectados entre dos pisos consecutivos, entre ellos paredes, ventanas, tuberías entre otros.

B.3.3. Distorsión entre juntas del edificio: Una junta es una separación que se planifica entre dos edificios que están próximos pero distintos en cuanto a su comportamiento sísmico. La junta permite que las estructuras se comporten de manera independiente. Todos los elementos no estructurales que pasen de un edificio a otro a través de esta junta pueden sufrir daños, estos pueden ser, tuberías, mampostería, entre otros.

B.4. Método FEMA 74

El manual FEMA 74, “Reduciendo el riesgo del daño sísmico No estructural – Una guía práctica”, explica las fuentes del daño sísmico que pueden ocurrir en

componentes no estructurales y brinda información en métodos efectivos para reducir el riesgo asociado con daños sísmicos no estructurales.

B.4.1. Componentes no estructurales

a. Componentes Arquitectónicos: como divisiones, cielos rasos, vitrinas, vidrios, revestimientos, chimenea, cercas y adornos arquitectónicos.

b. Componentes mecánicos, eléctricos, y de plomería (MEP): tales como bombas, enfriadores, ventiladores, unidades de tratamiento de aire, centros de control de motor, tableros de distribución, transformadores, y sistemas de distribución incluyendo tuberías y conductos.

c. Muebles, accesorios y equipos (FF&E) y contenidos: tales como estanterías, y libreros, estantes de almacenamiento industrial, libros registros médicos, computadoras y equipos de escritorio, televisores y monitores montados en paredes o cielos rasos, gabinetes de archivos, cocina, taller de maquinaria u otros equipos de la especialidad, productos químicos industriales o materiales peligrosos, piezas de museo y objetos de colección.

B.4.2. Daño sísmico no estructural

Muchos tipos de componentes no estructurales pueden ser dañados durante sismos, pero aquellos que son más vulnerables y más susceptibles a ocasionar heridas, pérdidas significativas a la propiedad, e interrupciones serán descritos aquí en términos de riesgo para la seguridad de vida, propiedad y funcionalidad.

a. Seguridad de Vida (LS)

a.1. Revestimiento exterior pesado: El revestimiento es un elemento arquitectónico que se utiliza para proporcionar la cáscara de la edificación. A menudo construido de paneles prefabricados de concreto, por lo general tienen 4 puntos de soporte, dos en la parte superior y dos en la parte inferior.

a.2. Muros interiores pesados: Muros no estructurales en edificaciones antiguas son a menudo construidos de materiales de albañilería pesada y no reforzada como ladrillo o bloque de concreto.

a.3. Parapetos de mampostería: Los parapetos son muros cortos alrededor el perímetro del piso. Si estos parapetos no se encuentran arriostrados son propensos a caer ante un sismo, representando una amenaza para los transeúntes que caminan por la calle.

a.4. Iluminación suspendida: Las iluminaciones suspendidas son propensas a sufrir daños en los terremotos, especialmente si las luces están soportadas únicamente por falso cielo rasos no arriostrados.

a.5. Techos, grandes y pesados: Techos pesados suspendidos (falso cielo rasos) pueden ser dañados durante los sismos, algunas veces resultando un material pesado y peligroso que puede caer y lastimar a las personas que se encuentran de bajo.

a.6. Muebles altos, delgados y pesados, como libreros y archiveros: Estantes altos y delgados, libreros o archivadores frecuentemente se voltean durante sismos si no están anclados o mal anclados. Estos elementos son particularmente peligrosos si están localizados junto a escritorios o localizados donde puedan atascar puertas o bloquear corredores o salidas.

a.7. Contenidos pesados no anclados: Contenidos pesados situados sobre el nivel de piso incluyen una amplia gama de artículos que podrían convertirse en una amenaza al caer durante un sismo, como televisores, y monitores de computadoras, etc.

a.8. Vidrios: La rotura de los vidrios durante un sismo representa una amenaza para la vida, especialmente si estos se rompen desde medianas alturas

b. Pérdida de Propiedad (PL)

b.1. Tuberías suspendidas de agua o residuos: Las fallas en las tuberías suspendidas han llevado a pérdidas costosas en la propiedad en los anteriores sismos. Mientras que la falla por lo general no está asociada con el tratamiento de heridas, por lo general resultan en pérdidas costosas a la propiedad: ambos el costo de reemplazar el sistema dañado y el costo de reparar el daño causado por limpieza.

b.2. Tabiques: Existen los tabiques de placas de yeso, por lo general están conectados en la parte superior con el techo y en la parte inferior con

el suelo, debido a esto ante un movimiento sísmico pueden agrietarse o soltarse de los puntos de fijación. Las tabiquerías construidas de unidades de concreto o de ladrillo se dañan a menudo en los terremotos y son costosos de reparar.

b.3. Techos: Sistemas de techo suspendidos (falso cielo raso) han fallado en muchos terremotos resultando en reparaciones mayores o costos de reemplazo por el falso cielo raso y las conexiones con las luces.

c. Pérdida de Función (FL)

c.1. Tuberías suspendidas de agua o desperdicio: Como se hizo notar anteriormente, el daño a estos sistemas resultan no sólo al sistema de tuberías, si no que pueden resultar en interrupciones costosas resultado de los líquidos liberados en el lugar que ocupan.

c.2. Estudio y evaluación - Procedimiento para edificaciones existentes: Para realizar la evaluación no estructural el manual nos proporciona listas de verificaciones y formatos que se encuentran como apéndices C, D, y E en el manual de esta metodología.

B.4.3. Apéndices FEMA 74

a. Apéndice C

El apéndice C, “Formato de Inventario No estructural”, nos proporciona espacios los cuales iremos llenando mientras se hace un recorrido por la instalación que se está inspeccionando y conforme se van revisando las preguntas en las listas de verificación del apéndice D.

Si uno de los ítems de la lista de verificación del apéndice D, no cumple, éste debe ser ingresado como un ítem dentro del formato de inventario no estructural. El formato de inventario no estructural también contiene un espacio para agregar los índices de riesgo del apéndice E, de acuerdo con la intensidad de agitación. Esto puede ser llenado durante la inspección de campo o después durante el procesamiento de información.

El espacio provisto para notas puede ser usado para identificar el tipo de problema observado, como “no anclado” o pernos/tonillos de tamaño insuficiente, entre otros. La metodología recomienda ser conservador y sobreestimar las vulnerabilidades que ser optimista.

b. Apéndice D

El apéndice D, “Lista de Verificación de Peligros Sísmicos No Estructurales”, es una lista de verificación con preguntas diseñadas a ayudar a identificar elementos no estructurales vulnerables y potenciales peligros asociados a ellos.

Las preguntas en la lista de verificación están planteadas de tal manera que la respuesta “No Cumple (NC)” indica un potencial problema. Cada componente no estructural con un problema potencial debe ser puesto en la lista del formato de inventario No Estructural, mostrando la ubicación y cantidad del elemento con cualquier comentario importante.

c. Apéndice E

El apéndice E, “índices de riesgo sísmico no estructural”, resume los índices de riesgo como bajo, medio y alto para varios componentes comunes basados en su exposición Baja, Moderada o Alta de la intensidad de agitación.

Como se vio anteriormente la FEMA en sus metodologías 154 y 310, nos permiten indicar que la zona de estudio es de alta sismicidad, por lo cual se seleccionará como Alta, la intensidad de agitación.

Existe una casilla denominada “**Tipo de detalle**”, el cual hace referencia a cómo pueden ser realizadas las alternativas de solución. Puede indicarse como **No ingenieril (NE** - Hace referencia a detalles generales o medidas comunes que pueden ser implementadas por personal de mantenimiento usando elementos estándar de cualquier ferretería), **Prescriptiva (PR** - Los detalles de diseño prescriptivos, están disponibles al público. Son medidas que han sido basadas en algún código y que pueden ser usadas en varias situaciones de manera directa. Por ejemplo detalles de anclajes en tuberías, etc.) e **Ingeniero Requerido (ER** - Estos son detalles de anclajes no estructurales específicamente desarrollados por un profesional. Se seleccionan métodos de diseños y

coeficientes de diseño en base al nivel de desempeño deseado).

PRIORITIZED INVENTORY									
ID	Description	Location	Quantity	Units	LS	PL	LF	Detail Type	Notes
					"H", "M", or "L"			NE, PR, ER	
1	Bookcase in the south east corner	Room 13	2	each	H	M	M	NE	The two wooden bookcases are unanchored and could tip over during an earthquake blocking egress. Relocate the bookcases away from the doorway or anchor them to the supporting floor or adjacent wall.
6	Computer monitor	04-N3	1	each	H	H	L	NE	Equipment stored less than four feet above the floor, like this computer monitor, is not a significant life safety hazard. However consideration should be made to securing these types of equipment to the desk top or adjacent wall.
82	Bookcase	02-12 South Elevation	3	each	H	M	M	NE	Tall shelving or bookcases that have width to height ratios greater than four should be attached to the supporting floor or adjacent wall.
182	Unreinforced Masonry parapet		50	LF	H	H	L	ER	
13	File cabinets	04-W4	3	each	M	M	M	NE	These flat files are three individual units stacked on top of each other. Without lateral restraints, they can easily slide off each other.
16	Hot water heater	04-W7	1	each	M	H	L	PR	Gas hot water heaters should be anchored to the floor or adjacent wall to prevent tipping and damage to water and gas lines.
65	Vending machine	02-15	1	each	M	M	L	NE	
83	Suspended ceiling	02-12	150	SF	M	M	M	PR	The suspended ceiling tiles are supported vertically to the roof structure. There are no lateral tie wires to compensate for lateral loads due to seismicity.
85	Natural gas supply line	02 North Elevation	200	each	M	M	M	ER	Each gas line that enters the building should have an automatic shutoff valve to prevent escaping gas from feeding a potential fire.
138	Credenza	04-N4	1	each	M	M	L	NE	The credenza should be anchored to the desk top or adjacent wall to prevent a potential falling hazard.
63	Computer cabinet	02-14a	1	each	L	H	M	NE	Computer hub should be anchored to the floor or adjacent wall to limit potential damage.
86	Communication hub	04-W8	1	each	L	L	L	NE	The communication equipment should be stored inside of protective cabinets to prevent potential damage from falling debris.
178	Desktop computer with monitor	04-E110	2	each	L	M	L	NE	Computers could be placed on the floor to limit potential damage to stored data or the computer's electrical components. The monitor should also be anchored to the desk.

Figura 15. Ejemplo de Formato de inventario No Estructural

6.3 Architectural Components							
Item No.	Component Name	Principal Concerns	Example	C	NC	NA	Checklist Questions (Yes=Compliance; No or Unknown=Noncompliance; NA=Not Applicable)
6.3.1	Exterior Wall Components						[Exterior falling hazards are a primary concern, especially items situated above 10 feet and items that may fall over exits, walkways, or sidewalks.]
	Adhered veneer	Falling hazard	6.3.1.1				Is the adhered veneer adequately attached to the structure? [This includes relatively thin sections of tile, masonry, stone, terra cotta, ceramic tile, glass mosaic units, stucco, or similar materials attached to a structural wall or framework by means of an adhesive].
							Based on visual observations and/or tapping, is the veneer free of cracked or loose sections that may fall during an earthquake?
	Anchored veneer	Falling hazard	6.3.1.2				Is the anchored veneer adequately attached to the structure? [This includes thicker masonry, stone, or stone slab units that are attached to the structure by mechanical anchors].
							Is the masonry or other veneer supported by shelf angles or other elements at each floor?
							Is the masonry or other veneer connected to a structural back-up wall at adequate spacing?
							Has the veneer been adequately maintained? Are the anchors in good condition, free of significant corrosion, and inspected regularly?

Figura 16. Lista de Verificación de Peligros Sísmicos No Estructurales

B.4.4. MÉTODO FEMA 310 (ATC-22)

Este manual provee un proceso para la evaluación sísmica

de edificaciones existentes, dentro del cual, al igual que para los elementos estructurales, trata de instruir en como determinar si los elementos no estructurales de una edificación están en una disposición adecuada para resistir fuerzas sísmicas, además de no ocasionar daños a la estructura o el funcionamiento del establecimiento.

El análisis de elementos no estructurales involucra las siguientes categorías para la evaluación de una edificación:

Tabla 15
Elementos no Estructurales

Item	Elemento No Estructural
1	Paredes Divisorias
2	Sistemas de Cielorraso
3	Accesorios de Iluminación
4	Revestimiento y Vidrios
5	Fachada de Albañilería
6	Perfiles Metálicos Desmontables
7	Bloque de Concreto y Mampostería Desmontables
8	Parapetos, Cornisas Ornamentales y Apéndices
9	Chimeneas de Albañilería
10	Escaleras
11	Contenido del Edificio y Mobiliario
12	Equipo Mecánico y Eléctrico
13	Tuberías
14	Ductos
15	Almacenamiento y Distribución de Materiales Peligrosos
16	Elevadores

C

omo ya se mencionó en la sección 2.3.4.1. el proceso de evaluación de este manual consiste en los siguientes tres niveles:

a. La Fase de Investigación, Nivel 1

Consiste en dos listas de verificación que permiten una rápida evaluación de los elementos no estructurales de una edificación, que son completadas acorde con el manual. Se emplean los siguientes formatos:

a.1. Lista de Verificación No Estructural Básica:

Conjunto de enunciados evaluativos que deben ser completados como parte de este nivel. Cada ítem representa una deficiencia no estructural potencial basada en su rendimiento en terremotos pasados.

a.2. Lista de Verificación No Estructural

Suplementaria: Conjunto de enunciados evaluativos también que deben ser completados como parte del nivel 1. Se emplea en la evaluación de los edificios en las regiones de sismicidad moderada o alta, para un nivel de desempeño de Ocupación Inmediata.

Varios diferentes tipos de deficiencias pueden ser identificadas por el profesional de diseño en la evaluación de Nivel 1. Algunas de ellas, como la no existencia de anclaje o apuntalamiento son claramente no conformes y cualquier otra evaluación no es necesario. En otros casos, cuando se proporciona algunos refuerzos, o el material se deteriora o de corrosión, más evaluación y juicio es necesario para determinar el alcance de la deficiencia y las consecuencias de la misma. Algunos cálculos simples de pesos, las proporciones y las fuerzas dimensionales se utilizan en este nivel de evaluación.

El propósito de la evaluación del Nivel 1 es chequear si la edificación obedece con las suposiciones del manual o identificar rápidamente las deficiencias potenciales. Si existen deficiencias identificadas durante un Nivel 1, el evaluador podrá elegir entre proceder con un Nivel 2 de evaluación y conducir a una evaluación más detallada de la edificación o concluir la evaluación y reportar las deficiencias potenciales que fueron identificadas.

b. La Fase de Evaluación, Nivel 2

Se provee de un procedimiento más detallado para los elementos no estructurales los cuales en la primera fase se han presentado deficientes.

El análisis en el Nivel 2, está limitado a métodos de análisis basados en la teoría de resistencia de materiales, y tiene en cuenta además criterios del comportamiento dinámico de la estructura principal del edificio y la manera en que afecta a los componentes no estructurales.

Al igual que cuando se concluye el Nivel 1, si existen deficiencias identificadas durante un Nivel 2 de evaluación, el evaluador podrá elegir entre proceder con un Nivel 3 de evaluación y concluir a una evaluación y reportar las deficiencias potenciales que fueron identificadas.

c. La Fase de Evaluación, Nivel 3

El uso de procedimientos de un Nivel 3 debe estar limitado para casos apropiados. Unos componentes críticos, tales como revestimiento pesado, pueden justificar un análisis completo (una evaluación de nivel 3) para la capacidad de soportar fuerzas y derivas y los logros del nivel de rendimiento deseado.

Para las edificaciones con muros portantes de albañilería no reforzada y con diafragma flexible se usará un Nivel 2 de Evaluación, pero siguiendo un procedimiento especial el cual se encuentra en el manual, mientras que para la evaluación de los elementos no estructurales y de cimentación siguen permaneciendo aplicable el Nivel 1 de Evaluación. Esta metodología antes de ser aplicada requiere que el investigador tenga en cuenta los aspectos mencionados en el Capítulo 6, y de acuerdo a ellos los resultados tendrán cierta confiabilidad.

1.3.1.7. Definición de términos básicos

A. Amenaza: Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado.

B. Carga sísmica: Acciones que un sismo provoca sobre la estructura de un edificio y que deben ser soportadas por esta. Se transmiten a través del suelo, las estructuras adyacentes o el impacto de las olas de los maremotos.

C. Desempeño sísmico: Describe en términos cualitativos el comportamiento esperado de una edificación durante movimientos sísmicos de diferentes intensidades. Luego esto se cuantifica en términos de la cantidad de daño sufrido por el edificio afectado por el movimiento sísmico y el impacto que tiene estos daños en las actividades posteriores al evento sísmico. Es decir, en qué condiciones de funcionalidad se encuentra una edificación, luego de ocurrido un sismo con características predeterminadas, y como afecta esto en otras actividades.

D. Edificación Benchmark: Se denomina así a las edificaciones que han sido diseñadas y / construidas teniendo criterios de las actuales filosofías sismo resistentes.

E. Edificaciones Esenciales: Aquellas edificaciones que albergan instalaciones y/o dependencias cuyo financiamiento en condiciones de emergencia debidas a una crisis sísmica, es crítica y vital para afrontar las consecuencias inherentes del desastre natural.

F. Elementos estructurales: Se refiere a aquellas partes de una edificación que forman parte de su sistema resistente, es decir todos los elementos que trabajando en conjunto logran que la edificación se mantenga en pie. Entre estos elementos podemos mencionar: cimentación, columnas, muros portantes, vigas y diafragmas.

G. Elementos no estructurales: Se refiere a aquellos componentes del edificio que están unidos a las partes estructurales, que cumplen funciones esenciales en el edificio o que simplemente están dentro de las edificaciones, por ejemplo: Tabiques, ventanas, techos, puertas, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, equipos electro mecánicos, equipos médicos, muebles, etc. Pueden ser agrupados en tres categorías: componentes arquitectónicos, instalaciones y equipos.

H. Escalas de intensidades macrosísmicas: Parámetros que clasifican los sismos en grados discretos de acuerdo a los efectos observables en un sitio. Las escalas vigentes son la internacional MSK y la MM (Mercalli Modificada) de 12 grados, Rossi-Forel de 10 grados, JMA (Japón), entre otras.

I. Escalas de magnitudes sísmicas: Parámetros que clasifican los sismos de acuerdo a las amplitudes y períodos, y duración de las ondas registradas en los sismógrafos. Son escalas de valores continuos sin límites superior e inferior. Los valores extremos dependen del fenómeno y la naturaleza. Este parámetro da una idea del tamaño del sismo: Dimensión de la zona de ruptura y la cantidad de energía liberada en la zona hipocentral. Las escalas más comunes son la de Richter (ML), ondas corpóreas (mb), ondas superficiales (Ms), momento sísmico (Mw) y duración (Md).

J. Intensidad sísmica: Es la medida o estimación empírica de la vibración del suelo, a través de cómo el hombre percibe las vibraciones sísmicas en el ambiente en que vive, el grado de daños que causan en las construcciones y los efectos que tiene sobre la naturaleza.

K. Magnitud sísmica: Es la medida indirecta de la cantidad total de energía que se libera, por medio de las ondas sísmicas, durante el evento sísmico, la que puede estimarse de las amplitudes de las ondas sísmicas registradas en los sismógrafos, que son instrumentos muy sensibles.

L. Peligro o Amenaza Sísmica: Es el factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o medio ambiente, expresado matemáticamente como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en un cierto periodo de tiempo.

M. Riesgo Sísmico: Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un sismo y está en función de la amenaza y la vulnerabilidad.

N. Sismo: es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas.

O. Vulnerabilidad: La UNDRO (Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas en caso de Desastre) define a vulnerabilidad como la propiedad de las cosas a ser dañadas o afectadas por una amenaza. Así también se define como el grado o porcentaje de pérdida causado en un elemento o conjunto de elementos, determinado en riesgo resultante de una amenaza a nivel de una gravedad, ambos determinados.

P. Vulnerabilidad estructural: El término estructural, o componentes estructurales, se refiere a aquellas partes de una edificación que la mantienen en equilibrio estable. Esto incluye cimentación, vigas, columnas, muros portantes, diafragmas (entendidos estos como los pisos y techos diseñados para transmitir fuerzas horizontales, como las de sismos, a través de las vigas y columnas hacia la cimentación). Por consiguiente, la vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad que la estructura presenta frente a posibles daños en aquellas partes que la mantienen en pies ante un sismo severo.

Q. Vulnerabilidad no estructural: El término no estructural se refiere a aquellos componentes de la edificación que están unidas a las partes estructurales (tabiques, ventanas, techos, puertas, cerramientos, cielos rasos, etc.), que cumplen funciones esenciales en el edificio (gasfitería, calefacción, aire acondicionado, conexiones eléctricas, etc.), o que simplemente están dentro de las edificaciones (equipos mecánicos muebles, etc.); pudiendo así agruparlas en tres categorías: arquitectónicas, instalaciones y equipos. La vulnerabilidad no estructural es la susceptibilidad a daños que presentan estos elementos, los cuales pueden verse afectados por sismos moderados y por tanto más frecuentes durante la vida útil de la edificación.

R. Vulnerabilidad sísmica: Es la predisposición o propiedad intrínseca de elemento o grupo de elementos miembros de una estructura, expuestos o susceptibles a sufrir daño mediante la ley de causa – efecto; donde la causa es sismo y el efecto es el daño. Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica es necesario enfocarse en un estudio cuyo desarrollo permita identificar la susceptibilidad de la edificación existente de sufrir un determinado daño por evento sísmico.

1.4. Formulación del problema

¿De qué manera se puede evaluar la vulnerabilidad sísmica del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán?

1.4.1. Objeto de estudio

Vulnerabilidad sísmica del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán.

1.5. Justificación e importancia del Estudio

Esta investigación tiene como importancia, demostrar el grado de vulnerabilidad sísmica en el que se encuentra el Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán, categorizado según el Reglamento Nacional de Edificaciones como edificación esencial (Centros Educativos) cuya función no debería interrumpirse frente a la presencia de un sismo severo, porque son una pieza clave frente a una emergencia por un eventual sismo, pues estas instituciones cuentan con la infraestructura necesaria que puede utilizarse como albergue para significativas sumas de damnificados. Este tipo de edificaciones, están también expuestos a un alto riesgo ya que alcanzan grandes densidades de ocupación por extensos periodos de tiempo, a diferencia de otros inmuebles como tiendas, teatros, cines, templos, etc. que no son menos trascendentes en el riesgo que pueden tener, pero que igual pueden contar con grandes agrupaciones de personas pero en cortos periodos de tiempo.

Ejecutar este proyecto no sólo involucra la vulnerabilidad estructural sino también la vulnerabilidad no estructural de este tipo de edificaciones con el objetivo de intervenir y reforzarla, mejorando su comportamiento estructural y operativo; evitando así su daño parcial o colapso total de la estructura, asegurando la integridad física de los estudiantes y las personas que laboran en dicha institución.

El costo de reposición de daños es normalmente mayor que el de edificaciones convencionales por lo que con esta investigación se busca evitar los costos de su futura reparación o de ser el caso su demolición total y la construcción de una nueva edificación.

1.6. Hipótesis

Si aplicamos una evaluación sísmica al edificio de Ingeniería de la universidad Señor de Sipán entonces se verificara que tan vulnerable es la estructura frente a un sismo severo.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Realizar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán frente a la presencia de un sismo severo.

1.7.2. Objetivos específicos

1. Aplicar el “Método FEMA” para evaluar el desempeño sísmico del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán.
2. Determinar el grado de vulnerabilidad estructural.
3. Determinar el grado de vulnerabilidad no estructural.
4. Verificar los parámetros sísmicos de la edificación.
5. Identificar puntos débiles, estructurales y no estructurales, que fallarían al ocurrir un evento sísmico.
6. Plantear alternativas para mejorar el comportamiento, estructural y no estructural de dicho establecimiento.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

2.1.1. Tipo de investigación:

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación de tipo cuantitativo cuasi experimental, ya que en ésta se observan y se describen tal como se presentan en su ambiente natural. Su metodología es fundamentalmente descriptiva, aunque puede valerse de elementos cuantitativos y cualitativos.

2.1.2. Diseño de la investigación:

La investigación tiene como objetivo determinar índices de vulnerabilidad sísmica de una edificación, por lo que se prueba una variable real, sin ningún tipo de selección aleatoria o proceso de pre-selección, este diseño de investigación es usualmente integrado a estudios de casos individuales; las cifras y resultados generados con frecuencia refuerzan los hallazgos de un estudio de caso, y permiten que tenga lugar algún tipo de análisis estadístico. (Hernández y Baptista, 2003)



Figura 17. Diseño de Investigación

2.2. Variables, Operacionalización

Tabla 16

Operacionalización de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	SUB INDICADORES	ÍNDICES	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
EVALUACIÓN SÍSMICA	Método FEMA	Resistencia convencional		Kg/cm ²	OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	ENSAYO NUCLEOS DIAMANTINOS
		Configuración en planta		Regularidad	OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	Etabs V.16 Sap2000 V.19
		Configuración en elevación		Regularidad	OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	Etabs V.16 Sap2000 V.19
		Sistema estructural	Tipos de sistema	Configuración	OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	Etabs V.16 Sap2000 V.19
		Tipo de losa		Configuración	OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	SUB INDICADORES	ÍNDICES	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
		Elementos no estructurales	Tipo de elemento	Configuración	OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	
		Mantenimiento		Estado de conservación	OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	
	Sismo	Fuerza sísmica	Cortante basal	Tn	OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	Etabs V.16 Sap2000 V.19 Excel
			Fuerza por piso	Tn	OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	Etabs V.16 Sap2000 V.19 Excel
	Deriva de entrepiso	Desplazamientos		cm	OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	Etabs V.16 Sap2000 V.19 Excel
Variable Independiente:	E.020	Cargas	Las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto.		OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	
NORMATIVIDAD	E.030	Diseño Sismoresistente	Esta norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas según sus		OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO	

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	SUB INDICADORES	ÍNDICES	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
			requerimientos tengan un comportamiento sísmico acorde con los principios señalados.		DOCUMENTOS	GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	
	E.050	Suelos y cimentaciones	El objetivo de esta norma es establecer los requisitos para la ejecución de Estudios de Mecánica de Suelos con fines de cimentación, de edificaciones y otras obras indicadas en esta norma.		OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	
	E.060	Concreto armado	Esta Norma fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la supervisión de estructuras de concreto armado, Pre esforzado y simple.		OBSERVACIÓN ENTREVISTA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE OBSERVACIÓN CUESTIONARIO GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	

2.3. Población y Muestra

Estructura del edificio de Ingeniería de la universidad Señor de Sipán.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.4.1. Técnicas de Investigación

Observación donde se realizaron ensayos de extracción núcleos diamantinos con la finalidad de verificar la resistencia de los elementos estructurales principales como columnas vigas y muros de corte. En el **Análisis de documentos** se efectuó la revisión de normas, textos y formatos concernientes a la investigación tratada.

2.4.1.1. Instrumentos utilizados

A. Guías de observación.

Mediante este instrumento se recopiló los datos que se obtuvieron de los diferentes ensayos que se realizaron para obtener datos necesarios relacionados con el análisis de la vulnerabilidad sísmica del edificio de Ingeniería de la universidad Señor de Sipán con la finalidad de cuantificar los diferentes aspectos que hacen vulnerable a la estructura.

Mediante este instrumento se tomó en cuenta los artículos mencionados para ser revisados, ajustando la investigación al reglamento nacional de edificaciones.

2.5. Métodos de Análisis de datos

2.5.1. Diagrama de flujo de procesos

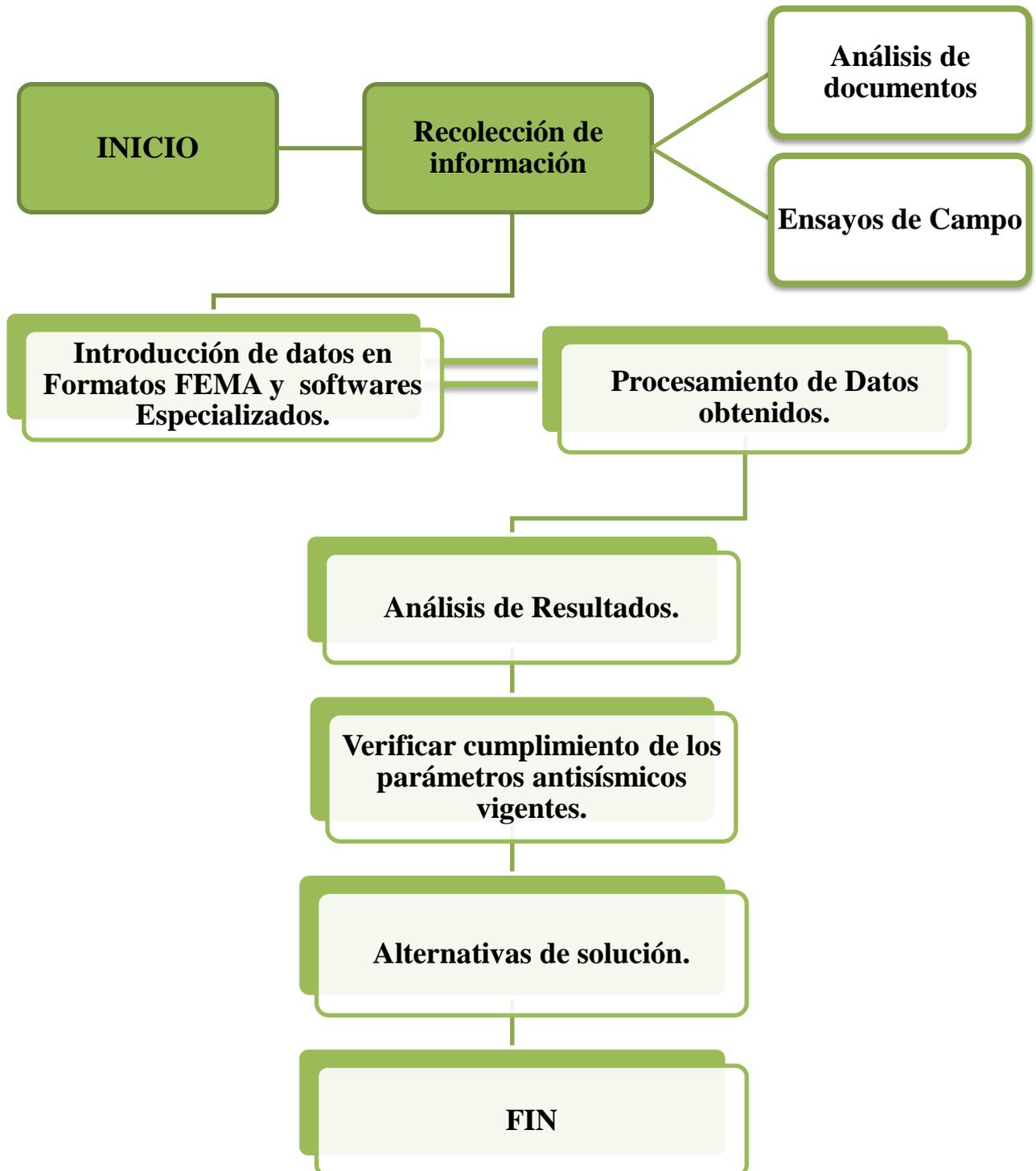


Figura 18. Diagrama de flujo de procesos

2.5.2. Descripción de proceso

2.5.2.1. Recolección de la información

A. Análisis de Documentos

Se acopió toda la información que fue relevante para la presente tesis, la cual fue obtenida mediante instrumentos de recolección de información como son las guías de observación, formatos de evaluación normados en la metodología FEMA y normativa vigente que fueron verificados como primer paso para la realización de esta tesis, y cuyas fuentes fueron escogidas prevaleciendo el nivel de calidad y especialización que se requirió para elaborar un correcto acopio de información fundamental y de calidad.

B. Ensayos de Campo

Los ensayos que se realizaron en esta tesis estuvieron vinculados a obtener datos objetivos acerca de la calidad del concreto en los diferentes elementos estructurales del Edificio de Ingeniería de la universidad Señor de Sipán. Estos ensayos se realizaron en las columnas y vigas que constityen los porticos principales de la estructura y se realizó mediante el análisis de una muestra del elemento obtenido mediante el ensayo de diamantina.

B.1. Ensayo de Extracción de Núcleos diamantinos

B.1.1. Objetivos

Los ensayos de diamantina nos permitieron determinar la condición actual de las estructuras. Para el caso nuestro los ensayos se utilizaron en la evaluación de las estructuras principales de la estructura como las columnas, vigas y muros de corte, para determinar la resistencia a la compresion (f^c).

B.1.2. Principio teórico

La resistencia a la compresion obtenido es la característica principal de los elementos estructurales (columnas, vigas y muros de corte), depende de esta característica para el comportamiento dinámico de la estructura.

C. Introducción de datos en formatos FEMA y software especializados

Después de haber obtenido los datos suficientes de acuerdo a la

muestra representativa de la estructura, se procede a procesar los datos al programa ETABS y SAP2000 para que estos lo analicen y nos permita saber el comportamiento dinámico de la estructura y poder comparar con los parámetros que nos exige el reglamento nacional de edificaciones en particular los datos por la norma E-0.30 para el diseño sismo resistente de estructuras, analizando la estructura para verificar sus desplazamientos (**derivadas de entrepiso**) y deformaciones.

2.6. Plan de análisis estadístico de datos

2.6.1. Enfoque Cualitativo.

Se realizaron ensayos, guías de observación cuyos datos se apuntarán de acuerdo a las necesidades de la evaluación. Se examinarán las guías de análisis de documentos obtenidos de la Escuela de Ingeniería civil, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, y entidades que brinden datos.

2.6.2. Enfoque Cuantitativo.

Se utilizará un software para ayudar a procesar los datos obtenidos tanto en campo como en laboratorio, programas como el Etabs, Sap2000, Autocad 2014 Microsoft office Excel y el SPSS. 5ta versión.

2.7. Aspectos éticos

2.7.1. Ética de la publicidad

En esta investigación titulada: Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán, no hay necesidad de publicidades, ya que el objetivo de esta investigación es proveer datos reales y significativos que se puedan tener en cuenta para la decisión del reforzamiento de esta edificación, y sobre todo el asegurar la integridad física de los estudiantes y el personal que labora en dicha institución.

2.7.2. Ética de la aplicación.

Del Código Deontológico del Colegio de Ingenieros del Perú:

2.7.2.1. De las faltas contra la ética.

Artículo 57.- Es de aplicación para las personas naturales que como profesionales de la ingeniería ejerzan actividades inherentes a la ingeniería, en cualquier forma, para cualquier especialidad y bajo cualquier modalidad de relación laboral

y/o contractual. Las normas de este Código rigen el ejercicio de la ingeniería en toda su extensión y en todo el territorio nacional y ninguna circunstancia puede impedir su cumplimiento.

Artículo 58.- Ningún convenio que celebre un ingeniero tendrá el efecto de enervar los alcances de este Código o de excusar obligaciones y responsabilidades profesionales, aunque los clientes hubieran renunciado al derecho de exigir su cumplimiento.

2.7.2.2. De las faltas contra el ejercicio de la actividad profesional.

En esta investigación titulada: Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán, el ingeniero civil se encuentra en la capacidad suficiente de poder dirigir y hacer cumplir la buena construcción de una estructura sin estar usurpando funciones de otros profesionales.

III. RESULTADOS

El procedimiento de evaluación se ejecutó en dos partes, la primera en evaluar los tres bloques del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán usando la metodología FEMA 154. Se pudo conseguir conocer los datos estructurales como no estructurales de la edificación.

En la segunda parte se analizaron los resultados alcanzados, y teniendo como base las características que presentaban los bloques se establecieron aquellas, que serían evaluadas por la metodología FEMA 310.

Antes de realizar la evaluación de las edificaciones se trató de recolectar la mayor cantidad de información posible acerca de ellas, se envió solicitudes a la Oficina de Infraestructura y Obras de la Universidad señor de Sipán a cargo del Arquitecto Juan Carlos Jimenez Zuloeta para el requerimiento de los planos de Arquitectura y Estructuras, así como la de poder realizar los ensayos respectivos de Extracción de Núcleos Diamantinos y Estudio de Suelos, recibiendo satisfactorios resultados con los documentos y autorizaciones solicitadas, también se le solicitó a la Oficina de Seguridad de la universidad a cargo del Director Romero paredes Juan Miguel la autorización para

realizar tomas fotográficas a los ambientes del edificio (aulas, laboratorios, oficinas, etc.) un día fuera del horario de clases con la finalidad que en los días de semana no sean interrumpidas las clases.

3.1. EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL

3.1.1. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 154

En la inspección se realizó un recorrido por el perímetro e interiores de cada uno de los bloques de la edificación, tomando medidas así como fotografías de cada ambiente del edificio de ingeniería. A continuación se describen cada uno de los criterios que interviene en esta parte de la evaluación.

3.1.1.1. PARAMTROS DE LA EVALUCACIÓN

A. Región de Sismicidad

Conocer la región de sismicidad es uno de los primeros parámetros que deben definirse, pues esto nos permite seleccionar uno de los tres formatos que nos brinda la metodología (sismicidad baja, moderada o alta) y así poder comenzar con la evaluación.

Para determinar la zona de sismicidad se hace uso de la aceleración espectral SA para un periodo de 0.2 segundos (periodo corto) y para un periodo de 1.0 segundo (periodo largo), estos valores deben multiplicarse por $\frac{2}{3}$ en caso de usar el MCE – Maximum Considered Earthquake. En nuestro caso emplearemos el espectro de aceleración de respuesta de la Norma de Diseño Sismorresistente E-030 2014, el cual corresponde a un periodo de retorno de 475 años.

Es importante mencionar que el espectro de respuesta que estamos empleando contempla la máxima aceleración del suelo con una probabilidad de ser excedida del 10% en 50 años (periodo de retorno de 475 años), mientras que el MCE representa la aceleración máxima con probabilidad de ser excedida del 2% en 50 años (periodo de retorno de 2500). Es por ello que no será necesario multiplicar por $\frac{2}{3}$ los

valores para 0.2 y 1.0 segundo, sino que usaremos la tabla 6 de manera directa.

No se consideraran los factores externos a la respuesta del suelo, es decir: Factor de uso, Categoría de Edificación y sistema estructural sólo se tendrán en cuenta los factores que corresponden la respuesta del suelo en la región como: factor de zona, factor de suelo y periodo predominante del suelo sobre el cual se encuentran las edificaciones educativas.

$$S_a = Z * C * S$$

Donde:

Z= 0.45g (Tabla N°01 de la Norma Peruana E-030 2016)

S= 1.1 (Tabla N°03 de la Norma Peruana E-030 2016)

T_p=1.0 (Tabla N°03 de la Norma Peruana E-030 2016)

T_L=1.6 (Tabla N°03 de la Norma Peruana E-030 2016).

El valor de C, calculado de la siguiente manera:

$$T < T_p \dots \dots \dots C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \dots \dots \dots C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_L \dots \dots \dots C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right)$$

C: Coeficiente de amplificación Sísmica.

T: Periodo fundamental de la estructura.

T_p: Periodo que define la plataforma del espectro.

T_L: Periodo que define el inicio de la zona del espectro de desplazamiento constante.

S: Factor de Suelo.

S_a: Aceleración Espectral.

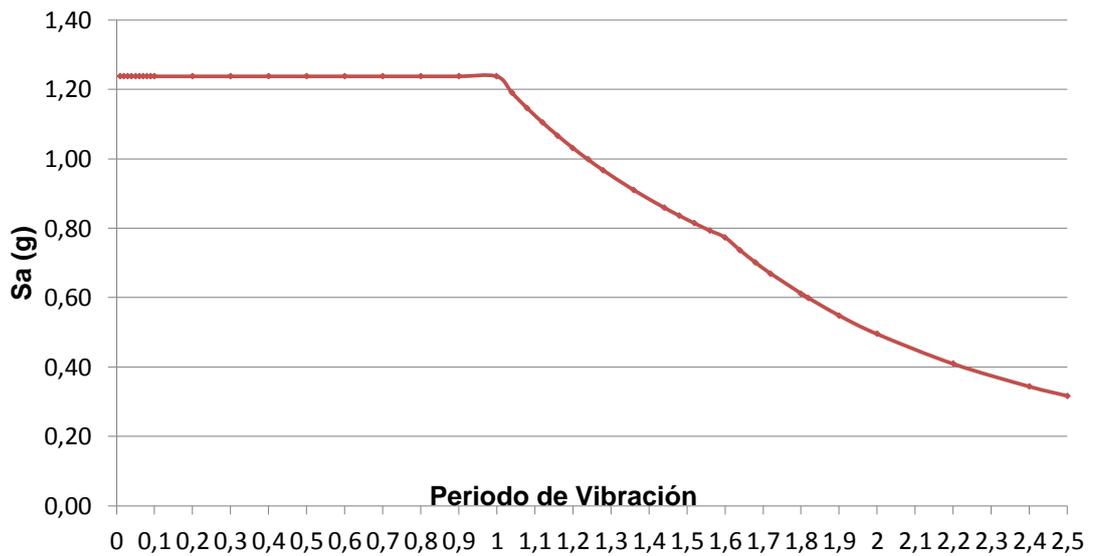


Figura 19. Espectro de Aceleraciones del suelo en la zona de estudio.

Del espectro de respuesta se tomarán los valores para el período corto (0.2 s) y para el período largo (1s), siendo el valor para ambos casos 1.238g. Con este valor accedemos a la tabla 12 donde podemos determinar que el área de estudio corresponde a una **región de alta sismicidad**.

B. Tipo de Suelo

Con respecto al estudio de suelos, se tomó como referencia el factor de amplificación del suelo $S = 1.40$ del cuadro de parámetros sísmicos del plano de cimentaciones del edificio de Ingeniería de la Universidad señor de Sipán del año 2006, cuyo valor es referido a Suelos blandos (S_3), pero en la nueva norma de diseño sismorresistente 2014 especifica que este parámetro para el mismo tipo de suelo en una zona altamente sísmica (Z_4) es de $S = 1.10$, donde podemos definir al tipo de suelo sobre el cual se encuentra el área de estudio. Esto según la metodología, corresponde a un suelo tipo E (suelo blando).

Es así que este tipo de suelo corresponde con la **clase E** de la metodología la cual lo señala como cualquier perfil con más de 3 metros de arcilla blanda definida como un suelo con un índice de plasticidad $IP > 20$, o contenido de agua $> 40 \%$, y $S_u < 0.244 \text{ Kg/cm}^2$ o un perfil de suelo con $V_s < 183 \text{ m/seg}$.

C. Ocupación

El número de personas que ocupan cada uno de los bloques de la edificación fue determinado estimando la cantidad máxima de 40 personas por ambiente.

D. Año de Construcción

El año de construcción de los tres bloques fue en el 2006, mientras que la del ascensor en el 2013; estos datos se determinaron de acuerdo a las fechas que se encuentran en los planos de estructuras, arquitectura y el plano de detalles del ascensor, proporcionados por el director de infraestructura de la Universidad Señor de Sipán.

D. Sistema Estructural

El sistema estructural se determinó durante las visitas de campo constatando la información encontrada en los planos de estructuras. En éstas se pudieron identificar que el bloque medio posee un sistema estructural compuesto con pórticos de concreto armado resistentes a momentos (tipo C1). En los otros dos bloques se identificó un sistema estructural Dual compuesto por pórticos y muros de corte de concreto (tipo CI/C2).

E. Pre Código y Post Bench Mark

El pre código hace referencia al año en el cual por primera vez se adoptaron medidas de diseño sismo resistente en el país. El Post Bench Mark, señala el año en el que hubo mejora significativa de estas medidas acorde con las previsiones actuales de diseño sismo resistente. El año tomado como Pre-código es el año de 1970, y el año como Post Bench Mark el año 2014.

3.1.1.2. FORMATOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

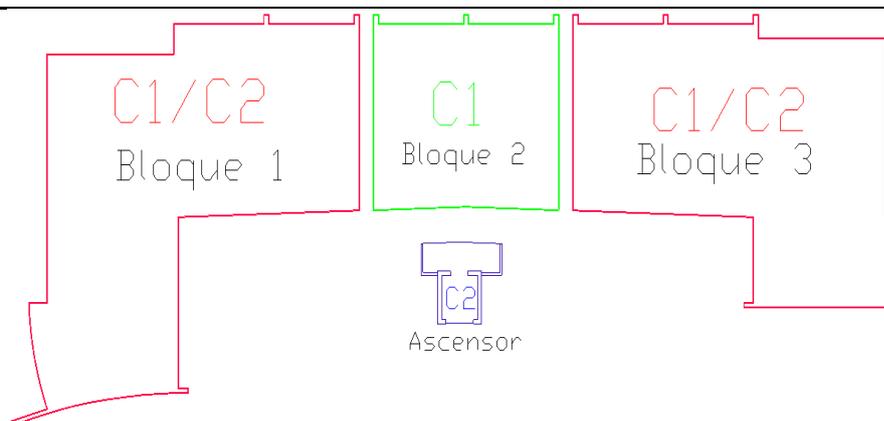
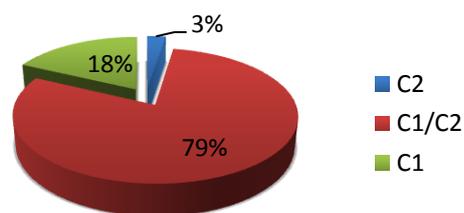
A continuación se mostrarán las características que recopila ésta metodología, tales como sistema estructural, edad estimada en años, tipo de suelo, irregularidad en planta, irregularidad vertical, edificaciones pre-código y edificaciones post - Benchmark, así como la probable concepción de diseño de cada bloque.

Tabla 17

Sistema Estructural de los Bloques Inspeccionados en el Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán

Nombre de Bloque	Sistema Estructural	Área m ²	%	N° de Bloques Inspeccionados
Bloque 1	C1/C2	348	79	2
Bloque 3		342		
Bloque 2	C1	146	18	1
Ascensor	C2	21	3	1
TOTAL			100	4

Sistema Estructural



- ✓ **C1/C2:** Edificaciones con pórticos de concreto resistentes a momentos / Edificaciones con muros de corte de concreto. Posee dos sistemas estructurales, y en cada dirección.
- ✓ **C1:** Edificaciones con pórticos de concreto resistentes a momento.

Tabla 18

Irregularidad en Planta de los bloques inspeccionados en el Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán

Nombre de Bloque	Irregularidad en Planta (TOTAL)	Números de Bloques Inspeccionados
Bloque 1	SI PRESENTA	2
Bloque 3	IRREGULARIDAD	
Bloque 2	NO PRESENTA	2
Ascensor	IRREGULARIDAD	
TOTAL		4

Tabla 19

Irregularidad Vertical de los bloques inspeccionados en el Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán

Nombre de Bloque	Irregularidad Vertical (TOTAL)	Números de Bloques Inspeccionados
------------------	--------------------------------	-----------------------------------

Bloque 1	SI PRESENTA	0
Bloque 3	IRREGULARIDAD	
Bloque 2	NO PRESENTA	4
Ascensor	IRREGULARIDAD	
TOTAL		4

Tabla 20

Bloques inspeccionados Pre- Código del Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán

Nombre de Bloque	EDIFICACIONES PRE - CÓDIGO	Números de Bloques Inspeccionados
	EDIFICACIONES CONSTRUÍDAS ANTES DE 1970	0
Bloque 1	EDIFICACIONES CONSTRUÍDAS DESPUÉS DE 1970	4
Bloque 3		
Bloque 2		
Ascensor		
TOTAL		4

Tabla 21

Bloques inspeccionados Post – Bench Mark en el Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán

Nombre de Bloque	EDIFICACIONES POST BENCH MARK	Números de Bloques Inspeccionados
Bloque 1	EDIFICACIONES CONSTRUÍDAS ANTES DEL 2014	4
Bloque 3		
Bloque 2		
Ascensor		
	EDIFICACIONES CONSTRUÍDAS DESPUÉS DEL 2014	0
TOTAL		4

3.1.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 310

En este primer nivel de evaluación de la metodología FEMA 310, se deben evaluar los bloques usando listas de verificación que vienen establecidas en el manual; estas listas deben ser seleccionadas de acuerdo a la región de sismicidad y nivel de desempeño.

Establecida anteriormente de acuerdo al espectro de respuesta de aceleraciones

del suelo, teniendo en cuenta los factores de sitio; se determinó como una *región de sismicidad alta*.

Las edificaciones que están siendo evaluadas pertenecen a centros educativos, los cuales son considerados como edificaciones esenciales. Por tal motivo se ha considerado que estas edificaciones deben presentar un *nivel de desempeño de ocupación inmediata*. Como se ha descrito anteriormente, estas edificaciones concentran altas densidades de personas por tiempos prolongados, además de la importancia social y funcional que cumplen en la sociedad, y si a esto sumamos que éstas edificaciones pueden servir de refugio post-sismo, entenderemos por qué estas edificaciones, deben seguir funcionando y sin daño significativo después de un sismo.

3.1.2.1. BLOQUES ANALIZADOS

De los resultados mostrados en la evaluación de la Metodología FEMA 154 se ha obtenido que 3 de los 4 bloques analizados deben ser evaluados con mayor detalle. Además dentro de ellos, se pueden apreciar distintos resultados, con los bloques 1, 2 y 3 que tienen muy alta probabilidad de sufrir daño de grado 2, el ascensor con una alta probabilidad de sufrir daño de grado 1.

Como se indicó anteriormente, corresponde que cada bloque que se analizó con la metodología FEMA 310, se sometió a 05 listas de verificación.

Bloques analizados con la metodología FEMA 310: Bloque 1, Bloque 2, Bloque 3 y Ascensor del Edificio de Ingeniería USS

Como se mencionó en este capítulo la metodología FEMA 310 cuenta con tres niveles de evaluación, y para cada nivel se necesita tener cierta información de la estructura.

En el **Nivel 1 (Fase de Investigación)** para realizar la evaluación de los bloques anteriormente mencionados se ha hecho uso de las expresiones indicadas en la figura 15 y se ha seguido las pautas que indica la metodología para la evaluación FEMA 310 – Estructural.

A continuación mostramos la descripción de las características de los elementos estructurales, también se muestra una imagen de la modelación en el programa **ETABS** y **SAP2000**, esto para cada bloque educativo que se analizará con la metodología FEMA 310 – estructural. Los Planos tanto de estructuras como de arquitectura se encuentran en los anexos al final de esta investigación.

A. Bloque 1 (Izquierdo)

A.1. Descripción de la Estructura Existente

Este bloque presenta irregularidad en planta, tiene 348 m². En ambas direcciones el sistema resistente a fuerzas laterales son pórticos y muros de concreto armado. Las columnas son de 0.40 x 0.80 m, de 2.00 x 0.40 m y de 1.10 x 0.40 m mientras que las vigas son de 0.25x0.70 m y las vigas de borde de 0.15 x 0.70 m. Tiene una placa curva de 10 m de longitud con un espesor de 0.25 m. La escalera es de concreto armado y se encuentra sujeta a la estructura. Los diafragmas están constituidos por losas aligeradas de 0.25 m de espesor en una dirección entre los ejes B y D, y entre los eje A y B la losa es en dos direcciones.

A.2. Estado de la Estructura Existente

La estructura se encuentra en buen estado. Durante la inspección se pudo apreciar que las vigas, columnas, losas y tabiquería, no presentan fisuras. El bloque tiene una antigüedad de 10 años. El uso de los ambientes se distribuye entre aulas, oficinas y laboratorios.

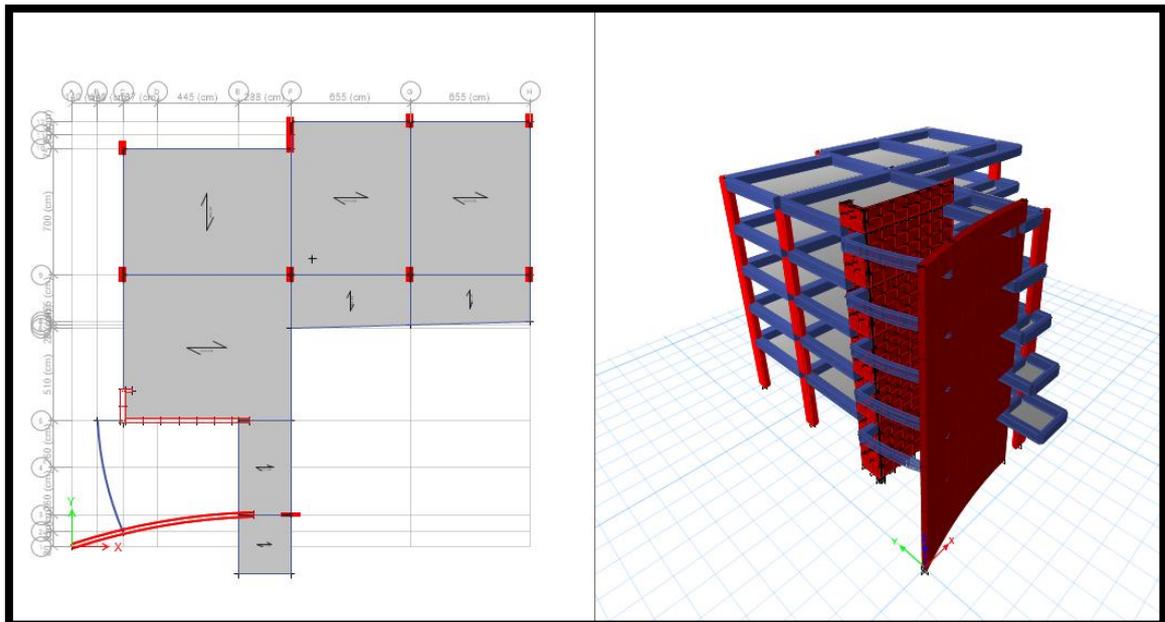


Figura 20. Modelación 3D en ETABS v.16 - Bloque 1 del Edificio de Ingeniería USS.

Tabla 22

Derivas Resultantes del Bloque 1 - ETABS v.16

Piso	Tipo de Análisis	Eje	Deriva de Entrepiso	Deriva de Entrepiso
			F'c = 210 kg/cm2	F'c =151 kg/cm2
1	Dinámico Modal Espectral	Eje X	0.0109	0.0166
2			0.0128	0.0204
3			0.0112	0.0188
4			0.0089	0.0152
5			0.0062	0.0107
1	Dinámico Modal Espectral	Eje Y	0.0134	0.0159
2			0.0192	0.0230
3			0.0184	0.0221
4			0.0155	0.0188
5			0.0121	0.0147

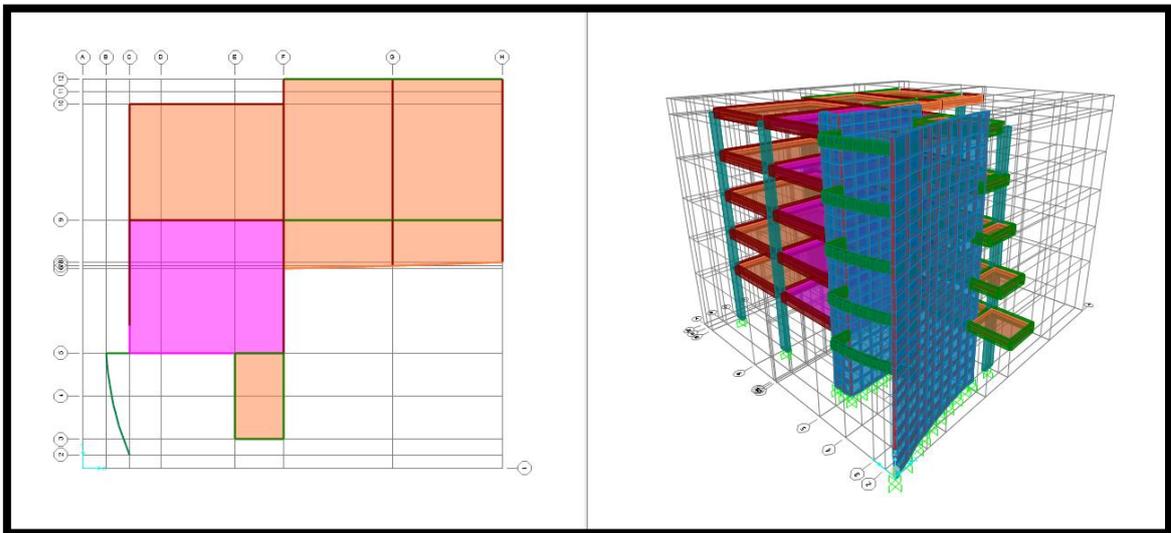


Figura 21. Modelación 3D en SAP2000 v.19 - Bloque 1 del Edificio de Ingeniería USS

Tabla 23

Derivas Resultantes del Bloque 1 - SAP2000 v.19

Piso	Tipo de Análisis	Eje	Deriva de Entrepiso	Deriva de Entrepiso
			F'c = 210 kg/cm2	F'c =151 kg/cm2
1	Dinámico Modal Espectral	Eje X	0.0098	0.0150
2			0.0116	0.0186
3			0.0109	0.0178
4			0.0092	0.0137

5			0.0059	0.0097
1			0.0129	0.0167
2	Dinámico Modal Espectral	Eje Y	0.0190	0.0244
3			0.0178	0.0229
4			0.0149	0.0193
5			0.0098	0.0132

B. Bloque 2 (Central)

B.1. Descripción de la Estructura Existente

Es un bloque regular tanto en planta como en elevación, tiene 146 m². En ambas direcciones el sistema resistente a fuerzas laterales son pórticos de concreto armado. Las columnas son de 0.40 x 0.80, mientras que las vigas son de 0.25x0.70 y vigas de borde de 0.15 x 0.70. La escalera es de concreto armado y se encuentra sujeta a la estructura. Los diafragmas están constituidos por losas aligeradas en una dirección, de 0.25 m de espesor.

B.2. Estado de la Estructura Existente

La estructura se encuentra en buen estado. Durante la inspección se pudo apreciar que las vigas, columnas, losas y tabiquería, no presentan fisuras. El bloque tiene una antigüedad de 10 años. El uso de los ambientes se distribuye entre aulas y laboratorios.

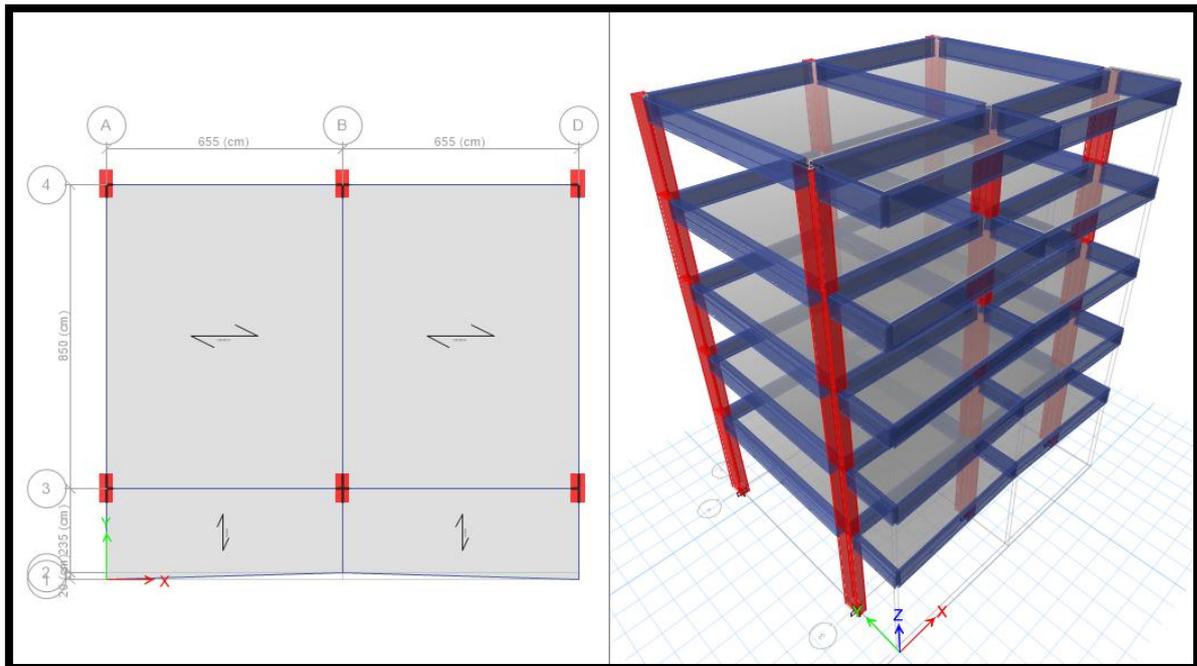


Figura 22. Modelación 3D en ETABS V.2016 - Bloque 2 del Edificio de Ingeniería USS.

Tabla 24

Derivas Resultantes del Bloque 2 - ETABS V.2016

Piso	Tipo de Análisis	Eje	Deriva de	Deriva de
			Entrepiso $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Entrepiso $F'c = 135 \text{ kg/cm}^2$
1	Dinámico Modal Espectral	Eje X	0.0459	0.0529
2			0.0342	0.0390
3			0.0258	0.0293
4			0.0173	0.0196
5			0.0087	0.0099
1	Dinámico Modal Espectral	Eje Y	0.0211	0.0268
2			0.0256	0.0325
3			0.0216	0.0274
4			0.0158	0.0200
5			0.0099	0.0125

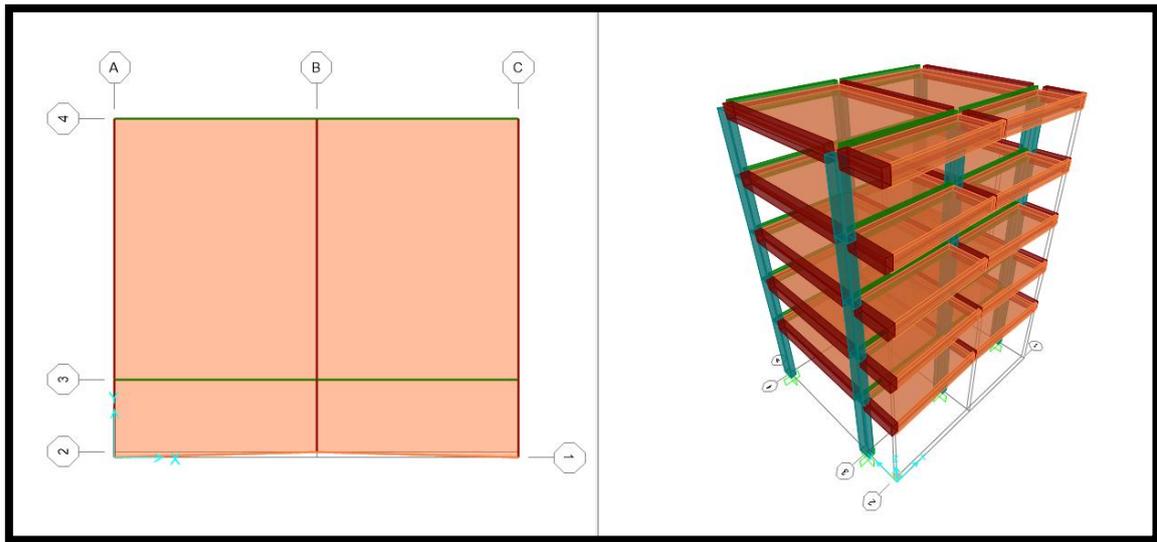


Figura 23. Modelación 3D en SAP2000 V.19 - Bloque 2 del Edificio de Ingeniería USS.

Tabla 25

Derivas Resultantes del Bloque 2 - SAP2000 v.19

Piso	Tipo de Análisis	Eje	Deriva de Entrepiso $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Deriva de Entrepiso $F'c = 135 \text{ kg/cm}^2$
1	Dinámico Modal Espectral	Eje X	0.0412	0.0497
2			0.0298	0.0362
3			0.0241	0.0289
4			0.0164	0.0196
5			0.0077	0.0096
1	Dinámico Modal Espectral	Eje Y	0.0201	0.0258
2			0.0238	0.0307
3			0.0223	0.0281
4			0.0164	0.0206
5			0.0089	0.0115

C. BLOQUE 3 – DERECHA

C.1. Descripción de la Estructura Existente

Este bloque presenta irregularidad en planta, tiene 302 m². En ambas direcciones el sistema resistente a fuerzas laterales son pórticos y muros de concreto armado. Las columnas son de 0.40 x 0.80 m, de 2.00 x 0.40 m y de 1.10 x 0.40 m mientras que las vigas son de 0.25x0.70 m y las vigas de borde de 0.15 x 0.70 m y las placas tienen un espesor de .025 m La escalera es de concreto armado y se encuentra sujeta a la estructura.

Los diafragmas están constituidos por losas aligeradas de 0.25 m de espesor, entre los ejes H y J en una dirección, y entre los ejes J y K la losa es en dos direcciones.

C.2. Estado de la Estructura Existente

La estructura se encuentra en buen estado. Durante la inspección se pudo apreciar que las vigas, columnas, losas y tabiquería, no presentan fisuras. El bloque tiene una antigüedad de 10 años. El uso de los ambientes se distribuye entre aulas y laboratorios.

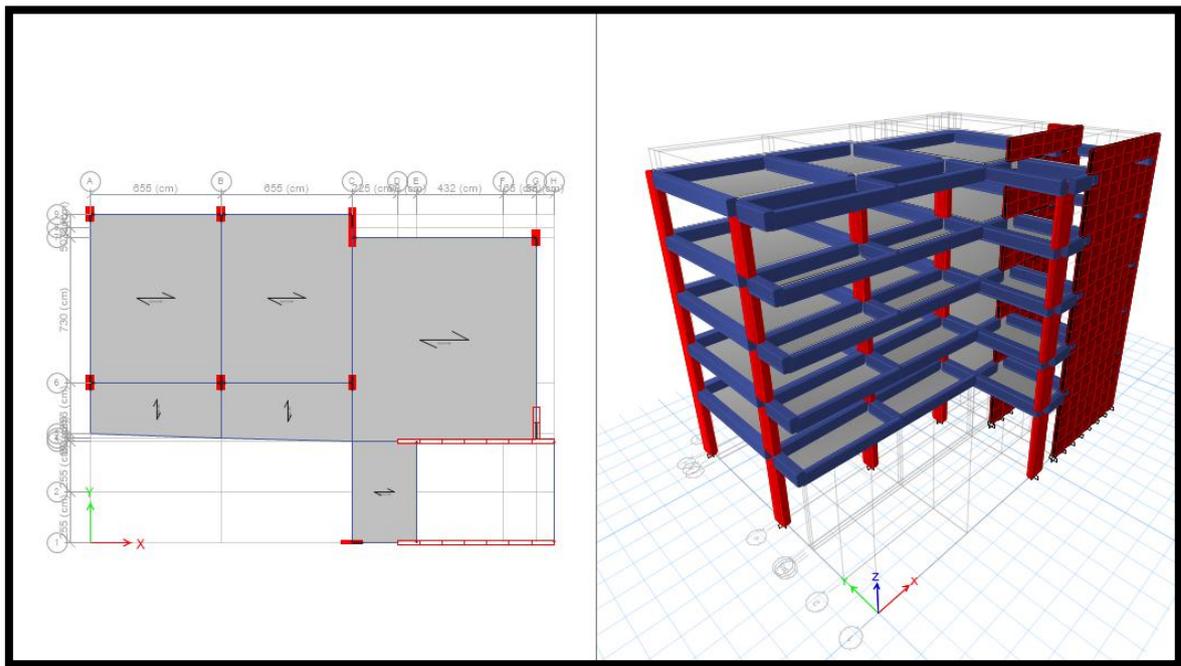


Figura 24. Modelación 3D en ETABS v.16 - Bloque 3 del Edificio de Ingeniería USS.

Tabla 26
Derivas Resultantes del Bloque 3

Piso	Tipo de Análisis	Eje	Deriva de	Deriva de
			Entrepiso	Entrepiso
			$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	$F'c = 254 \text{ kg/cm}^2$
1	Dinámico Modal Espectral	Eje X	0.0081	0.0071
2			0.0108	0.0096
3			0.0106	0.0094
4			0.0092	0.0082
5			0.0073	0.0064
1	Dinámico Modal Espectral	Eje Y	0.0203	0.0132
2			0.0291	0.0189
3			0.0278	0.0180
4			0.0233	0.0151
5			0.0178	0.0115

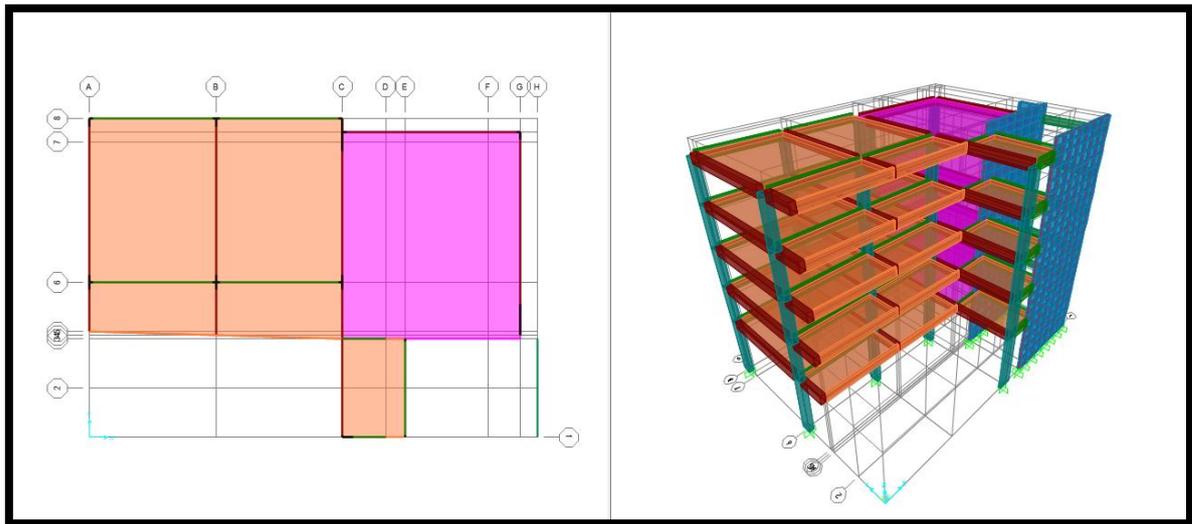


Figura 25. Modelación 3D en SAP2000 V.19 - Bloque 2 del Edificio de Ingeniería USS.

Tabla 27
Derivas Resultantes del Bloque 3 - SAP2000 V.19

Piso	Tipo de Análisis	Eje	Deriva de	Deriva de
			Entrepiso	Entrepiso
			$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	$F'c = 254 \text{ kg/cm}^2$
1	Dinámico Modal Espectral	Eje X	0.0094	0.0086
2			0.0121	0.0112
3			0.0116	0.0106
4			0.0104	0.0096
5			0.0071	0.0059
1	Dinámico Modal Espectral	Eje Y	0.0194	0.0176
2			0.0274	0.0248
3			0.0281	0.0256
4			0.0214	0.0193
5			0.0140	0.0124

3.1.1.2. RESULTADOS ENSAYO DE EXTRACCIÓN DE DIAMANTINAS

Tabla 28

Ensayo de extracción de diamantinas

Diamantina		Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (Kg)
Bloque 1	Placa 1	9.3	14.6	2.317
	Columna 1	7.4	13.4	1.363
Bloque 2	Columna 1	7.4	9.4	0.96
	Columna 2	7.4	16.2	1.654
Bloque 3	Placa 1	9.3	18	2.845
	Columna 1	7.4	16.1	1.65

Tabla 29

Ensayo de rotura de núcleos a compresión.

Diamantina		Carga Máxima (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Relación de Esbeltez	Factor de Corrección	Esfuerzo Corregido (Kg/cm ²)
Bloque 1	Placa 1	12035.7	67.93	177.18	1.57	0.9657	171.10
	Columna 1	5719.8	43.01	132.99	1.81	0.9848	130.97
Bloque 2	Columna 1	5997.1	43.01	139.44	1.27	0.9324	130.01
	Columna 2	5992.3	43.01	139.33	2.19	1.0000	139.33
Bloque 3	Placa 1	22574.6	67.93	332.33	1.94	0.9952	330.73
	Columna 1	7586.9	43.01	176.41	2.18	1.0000	176.41

Tabla 30

Factores de corrección por esbeltez

1	0.87
1.25	0.93
1.5	0.96
1.75	0.98
2	1

Fuente: Villegas, C (2010)

3.2. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA NO ESTRUCTURAL

3.2.1. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 74

Se realizó la evaluación de la vulnerabilidad no estructural utilizando este método cualitativo. Empleando como base los anexos D y E del Manual FEMA 74, se ha realizado un inventario priorizado para cada centro educativo estudiado.

En cada inventario se detalla:

- El ítem de evaluación y descripción de los objetos evaluados (extraídos del cuestionario o encuesta, anexo D del Manual FEMA 74).
- La Ubicación de los objetos no estructurales.
- La cantidad de objetos no estructurales existentes con su respectiva unidad.
- El nivel o grado de vulnerabilidad ya sea bajo (L), medio (M), alto (H) para cada tipo de Riesgo existente ya sea Seguridad para la Vida (LS), Pérdida de Propiedad (PL) y Pérdida de la función (FL).
- El tipo de detalle a emplear, relacionándolo con el anexo E, escogiendo entre No ingenieril, Prescriptiva o Ingeniero Requerido.
- Finalmente unas notas, donde se ha dispuesto colocar en descripción fotografías relacionadas (contenidas en el anexo F de esta investigación) con el ítem de evaluación no estructural.

Bloques evaluados con la metodología FEMA 74: Bloque 1 – Bloque 2 – Bloque 3 del Edificio de Ingeniería USS.

Cabe señalar que los resultados indican que existen puntos no estructurales en riesgo, los más resaltantes son los vidrios de ventanas, estantes de contenidos altos y equipos sin anclajes, que podrían obstruir la salida en caso de algún sismo severo.

A continuación se presenta el inventario priorizado para cada bloque mencionado, basado en el manual FEMA 74.

Tabla 31

INVENTARIO PRIORIZADO - Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán

INVENTARIO PRIORIZADO - Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán									
Ítem	Descripción	Ubicación	Cantidad	Unidad	Seguridad de Vida (LS)	Pérdida de Propiedades (PL)	Pérdida Funcional (LF)	Tipo de Detalle No Ingenieril (NE) / Prescriptiva (PR) / Ingeniero Requerido (ER)	Notas
					Alto (H) / Mediano (M) / Bajo (L)				
6.3.1.4	Los vidrios exteriores no han sido diseñados para soportar las distorsiones sísmicas.	Fachadas exteriores de B 1,2 y 3; y Secretarías	85	VANO	H	M	M	ER	Ver fotografía 02, 22 - Anexo F
6.5.2.1	Los estantes (altura mayor de 1.50m) para libros y/o documentos no se encuentran	1er a 5to piso. Del Block 1, 2 y 3	45	UND	H	M	M	PR	Ver fotografía 2, 3, 7, 9,12, 14 y 18 - Anexo F
6.5.2.2	Los estantes altos pese a estar anclados a la pared, los objetos sobre ellos son	Block 2 Nivel 2	20	UND	H	M	M	NE	Ver fotografía 8 y 13 - Anexo F
6.5.2.4	Los computadoras (monitores) no se encuentran anclados a los escritorios.	1er a 5to piso. Del Block 1, 2 y 3	155	UND	L	H	M	NE	Ver fotografía 1, 2, 5, 7, 10, 14, 15, 18,19 - Anexo F
6.6.1.1	Existen Equipos que no estan anclados y pueden obstruir	1er a 5to piso. Del	06	UND	H	H	H	ER	Ver fotografía 01 ,6, 9 - Anexo F

3.2.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 310

El Manual FEMA 310 recomienda emplear dos Listas de verificaciones, una Básica y una Suplementaria para la

Evaluación No Estructural de cualquier tipo de edificación. En el anexo G del presente trabajo, se muestra el desarrollo de las lista para todo la edificación.

A continuación presentamos el siguiente cuadro que resume los parámetros indicados para la evaluación no estructural.

Tabla 32

MATRIZ RESUMEN - Evaluación no estructural del Edificio de Ingeniería de Universidad Señor de Sipán FEMA 310

TIPO	N°	PARAMETROS	BLOQUE		
			BLOQUE 1 IZQUIERDO	BLOQUE 2 CENTRAL	BLOQUE 3 DERECHO
NO ESTRUCTURAL BASICA	1	ALBANILERIA NO REFORZADA	✓	✓	✓
	2	CIELORASOS INTEGRADOS			
	8	BALDOSAS	✓	✓	✓
	4	ILUMINACION DE EMERGENCIA	✓	✓	✓
	5	PANELES MULTIPISOS			
	6	CONEXIONES DE PANELES			
	7	DAÑO	✓	✓	✓
	8	VIDRIERIA	X	X	X
	9	PARAPETO DE ALBANILERIA NO REFORZADA	✓	✓	✓
	10	MUROS DE ALBANILERIA REFORZADA EN ESCALERA	X	X	X
	11	EQUIPO ADOSADO	X	X	X

TIPO	N°	PARAMETROS	BLOQUE		
			BLOQUE 1 IZQUIERDO	BLOQUE 2 CENTRAL	BLOQUE 3 DERECHO
NO ESTRUCTURAL SUPLEMENTARIA	12	DISTORSION	X	X	X
	13	JUNTAS ESTRUCTURALES EN DIVISIONES	✓	✓	✓
	14	SOPORTES COLGANTES DE LUMINARIAS			
	15	MORTERO	✓	✓	✓
	16	CORROSION	✓	✓	✓
	17	GRIETAS	✓	✓	✓
	18	PARAPETOS DE CONCRETO			
	19	GABINETES DE ARCHIVOS	X	X	X
	20	COMPUTADORES EN ACCESO DE PISO	X	X	X
	21	ACCESO DE PISO	X	X	X
	22	EQUIPO PESADO	X	X	X
	23	EQUIPOS ELECTRICOS	X	X	X
	24	TUBERIAS DE FLUIDOS Y GAS			
25	VALVULAS DE CIERRE	✓	✓	✓	
26	ARRIOSTRAMIENTO DE DUCTOS				

X	No Cumple	✓	Cumple		No Aplica
---	-----------	---	--------	--	-----------

IV.DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 154

Después de aplicar la metodología FEMA 154 a cada uno de los bloques que conforman la edificación, se muestran las puntuaciones obtenidas.

Tabla 33

Resumen de resultados de Puntuación “S” del Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán

Código	Nombre de la Edificación	Nombre del Bloque	Número de Pisos	Año de Construcción	Sistema Estructural	Puntuación “S” FEMA 154 (Anexo A)	Requiere Evaluación Detallada
EI-USS	Edificio de Ingeniera de la Universidad Señor de Sipán	Bloque 1	05	2006	C1/ C2	1.4	SI
		Bloque 2	05	2006	C1	1.9	SI
		Bloque 3	05	2006	C1/ C2	1.4	SI
		Bloque Ascensor	05	2013	C2	3.8	NO

Fuente: Elaboración propia

La evaluación con el método cualitativo FEMA 154 determina a través de un índice si una edificación debe analizarse de manera detallada si el resultado de la evaluación es menor o igual que dos, para determinar si es necesario o no el reforzamiento de dicha edificación. En este caso el Bloque 1, 2 y 3 ameritan pasar a un análisis lineal y de no cumplir a un análisis no lineal.

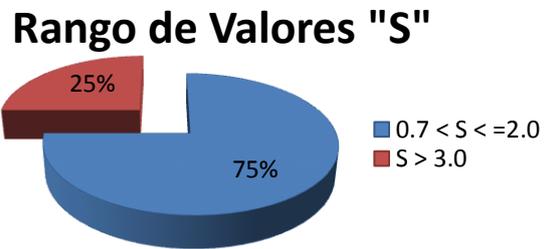
Esto se debe a la zona de sismicidad alta, la cual nos da desde un comienzo menores valores (con respecto a otras zonas de sismicidad) en los modificadores de puntaje y en el valor para cada sistema estructural.

El tipo de suelo (suelo E) también influye, dado que disminuye la puntuación base. Dicha puntuación, es proporcionada por el sistema estructural de las edificaciones; que en este caso son pórticos de concreto armado (tipo C1) no poseen una puntuación base elevada.

Tabla 34

Rango de valores "S" de los Bloques del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán

<i>Puntuación FEMA 154</i>	<i>Número de Bloques Inspeccionados</i>
$0.7 < S \leq 2.0$	3
$S > 3.0$	1
TOTAL	4



Fuente: Elaboración propia

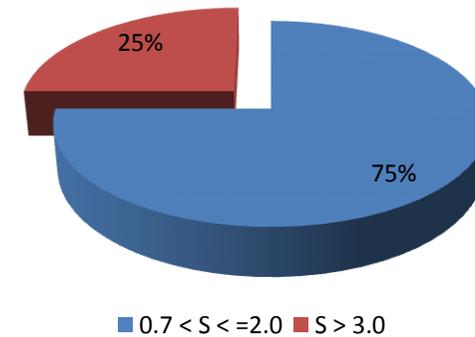
La interpretación del Puntaje S radica directamente en una teoría de probabilidad:

- **En los bloques B1 y B3** el Puntaje Final $S=1.4$ indica una probabilidad de 1 en 460 de que el edificio colapse en caso de la presencia de un sismo severo.
- **En el bloque B2** el Puntaje Final $S=1.9$ indica una probabilidad de 1 en 910 de que el edificio colapse en caso de la presencia de un sismo severo.
- **En el bloque del Ascensor** el Puntaje Final $S=3.8$ indica una probabilidad de 1 en 8200 de que el edificio colapse en caso de la presencia de un sismo severo.

Tabla 35

Daño Potencial de acuerdo a los valores “S” de los Bloques del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán

Puntuación FEMA 154	Número de Bloques Inspeccionados	Daño Potencial
$S \leq 0.3$	0	Alta Probabilidad de Daño Grado 5; Muy Alta Probabilidad de Daño Grado 4.
$0.3 < S \leq 0.7$	0	Alta Probabilidad de Daño Grado 4; Muy Alta Probabilidad de Daño Grado 3.
$0.7 < S \leq 2.0$	3	Alta Probabilidad de Daño Grado 3; Muy Alta Probabilidad de Daño Grado 2.
$2.0 < S \leq 3.0$	0	Alta Probabilidad de Daño Grado 2; Muy Alta Probabilidad de Daño Grado 1.
$S > 3.0$	1	Probabilidad de Daño Grado 1
TOTAL	4	



E

n la tabla 35 se muestra el probable grado de daño de

los bloques inspeccionados según la Escala Macro sísmica Europea (EMS-98), donde resalta la **Alta probabilidad de Daño Grado 3** (Daños estructurales moderados y daños no estructurales graves) y la **Muy Alta Probabilidad de Daño Grado 2** (Daños estructurales ligeros y daños no estructurales moderados) que son capaces de sufrir los bloques del Edificio de Ingeniería, daños que se encuentran detallados en la Tabla 11.

4.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FEMA 310

4.2.1. DISTORSIÓN DE ENTREPISO

Según el Capítulo 5.2 de la norma Sismorresistente peruana E-030 - 2016: Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles, nos habla de que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según la norma, no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla:

Tabla 36

Límites para la distorsión del entrepiso

Material Predominante	($\Delta i / h_{ei}$)
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

Tabla 37

Derivas Máximas Admisibles en el Bloque 1

Piso	Tipo de Análisis	Eje	Deriva Etabs V.16		Deriva Sap2000 V.19		Deriva máxima E-030
			F'c. Diseño	F'c. Real	F'c. Diseño	F'c. Real	
			kg/cm2		kg/cm2		
			210	151	210	151	
1	Dinámico Modal Espectral	Eje X	0.0109	0.0166	0.0098	0.0150	0.007
2			0.0128	0.0204	0.0116	0.0186	0.007
3			0.0112	0.0188	0.0109	0.0178	0.007
4			0.0089	0.0152	0.0082	0.0137	0.007
5			0.0062	0.0107	0.0059	0.0097	0.007
1		Eje Y	0.0134	0.0159	0.0129	0.0167	0.007
2			0.0192	0.0230	0.0190	0.0244	0.007
3			0.0184	0.0221	0.0178	0.0229	0.007
4			0.0155	0.0188	0.0149	0.0193	0.007
5			0.0121	0.0147	0.0098	0.0132	0.007

	Cumple		No Cumple
--	--------	--	-----------

Tabla 38

Derivas Máximas Admisibles en el Bloque 2

Piso	Tipo de Análisis	Eje	Deriva Etabs V.16		Deriva Sap2000 V.19		Deriva máxima E-030
			F'c. Diseño	F'c. Real	F'c. Diseño	F'c. Real	
			kg/cm2		kg/cm2		
			210	135	210	135	
1	Dinámico Modal Espectral	Eje X	0.0459	0.0529	0.0412	0.0497	0.007
2			0.0342	0.0390	0.0298	0.0362	0.007
3			0.0258	0.0293	0.0241	0.0289	0.007
4			0.0173	0.0196	0.0164	0.0196	0.007
5			0.0087	0.0099	0.0077	0.0096	0.007
1		Eje Y	0.0211	0.0268	0.0201	0.0258	0.007
2			0.0256	0.0325	0.0238	0.0307	0.007
3			0.0216	0.0274	0.0223	0.0281	0.007
4			0.0158	0.0200	0.0164	0.0206	0.007
5			0.0099	0.0125	0.0089	0.0115	0.007

	Cumple		No Cumple
--	--------	--	-----------

Tabla 39

Derivas Máximas Admisibles en el Bloque 3

Piso	Tipo de Análisis	Eje	Deriva Etabs V.16		Deriva Sap2000 V.19		Deriva máxima E-030
			F'c. Diseño	F'c. Real	F'c. Diseño	F'c. Real	
			kg/cm2		kg/cm2		
			210	254	210	254	
1	Dinámico Modal Espectral	Eje X	0.0081	0.0071	0.0094	0.0086	0.007
2			0.0108	0.0096	0.0121	0.0112	0.007
3			0.0106	0.0094	0.0116	0.0106	0.007
4			0.0092	0.0082	0.0104	0.0096	0.007
5			0.0073	0.0064	0.0071	0.0058	0.007
1		Eje Y	0.0203	0.0132	0.0194	0.0176	0.007
2			0.0291	0.0189	0.0274	0.0248	0.007
3			0.0278	0.0180	0.0281	0.0256	0.007
4			0.0233	0.0151	0.0214	0.0193	0.007
5			0.0178	0.0115	0.0140	0.0124	0.007

	Cumple		No Cumple
--	--------	--	-----------

Los cálculos dan como resultado que ninguno de los bloques cumple favorablemente en todos sus niveles y ejes las derivas admisibles que indica la norma E-030 2016, por lo que se replantearía la estructuración o las dimensiones de los elementos estructurales en las zonas donde las derivas no cumplen, hasta lograr que las derivas sean iguales o estén por debajo de la deriva límite que indica el reglamento.

4.2.2. VERIFICACION DE REGULARIDADES ESTRUCTURALES

Tabla 40
Irregularidades Estructurales

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES				
N°	IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA (Ia)	BLOQUE 1 (Ia = 0.50)	BLOQUE 2 (Ia = 0.50)	BLOQUE 3 (Ia = 0.75)
1	Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	0.75	0.75	0.75
2	Irregularidad Extrema de Rigidez	0.50	0.50	1.00
3	Irregularidades de Resistencia – Piso Débil	0.75	0.75	0.75
4	Irregularidad Extrema de Resistencia	0.50	0.50	1.00
5	Irregularidad de Masa o Peso	1.00	1.00	1.00
6	Irregularidad Geométrica Vertical	1.00	1.00	1.00
7	Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	1.00	1.00	1.00
8	Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	1.00	1.00	1.00
N°	IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA (Ip)	BLOQUE 1 (Ip = 0.60)	BLOQUE 2 (Ip = 1.00)	BLOQUE 3 (Ip = 0.60)
1	Irregularidad Torsional	0.75	1.00	0.75
2	Irregularidad Torsional Extrema	0.60	1.00	0.60
3	Esquinas Entrantes	0.90	1.00	0.90
4	Discontinuidad del Diafragma	1.00	1.00	1.00
5	Sistemas no Paralelos	0.90	1.00	1.00

Las verificaciones de regularidad estructural en planta por Torsión determinan que el **Bloque 1** en Dirección X muestra irregularidad extrema, mientras que la Dirección Y presenta ser regular estructuralmente, el **Bloque 2** no presenta irregularidades torsionales y el **Bloque 3** en Dirección X muestra irregularidad extrema, mientras que la Dirección Y presenta ser regular.

4.2.3. RESULTADOS DE ENSAYO DE ROTURA DE NÚCLEOS A COMPRESIÓN

Tabla 42

Resultados del Ensayo de rotura de núcleos a compresión.

Diamantina	Esfuerzos - $f'c$ (Kg/cm ²)			% Obtenidos ($f'c.P$ / $f'c.D$)	Cumple con:			
	Esfuerzo Corregido ($f'c.C$)	Esfuerzo Promedio ($f'c.P$)	Esfuerzo de Diseño ($f'c.D$)		75 % $f'c$	85 % $f'c$	E-060 / 5.6.5.4	
Bloque 1	Placa 1	171.08	151.03	210.00	71.92	X	X	ESTRUCTURALMENTE NO ADECUADO
	Columna 1	130.98						
Bloque 2	Columna 1	130.02	134.67	210.00	64.13	X	X	ESTRUCTURALMENTE NO ADECUADO
	Columna 2	139.33						
Bloque 3	Placa 1	330.61	253.51	210.00	120.72	✓	✓	ESTRUCTURALMENTE ADECUADO
	Columna 1	176.41						

Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas técnicas, ACI318 – 2008 y E-060 de concreto armado, el concreto del área representada por los testigos se considerará estructuralmente adecuado si el promedio de la resistencia a la compresión de los seis testigos es igual a por lo menos 85% de la resistencia de diseño especificado y ningún testigo será menor al 75% de la misma.

Por lo que se concluye que de los 6 testigos extraídos, solo las muestras del Bloque 3 del edificio de Ingeniería pasa el ensayo satisfactoriamente cumpliendo con los rangos establecidos por la norma; el resto de testigos no cumple con la resistencia mínima establecida en los rangos, obteniendo resultados muy deficientes en la resistencia del concreto de la edificación existente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

1. Los Bloques 1, 2 y 3 del Edificio de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán analizados con la metodología FEMA 154 tienen una “Alta probabilidad de sufrir Daño grado 3”; y una “Muy alta probabilidad de Daño grado 2”, y el Bloque compuesto por el Ascensor tiene una “Probabilidad de Daño grado 1”, de acuerdo con la escala macro sísmica europea (Tabla 11).
2. Los sistemas estructurales según FEMA 154 (C1 = Pórticos de Concreto y C2 = Muros de Concreto) que rigen a los 4 bloques que forman el Edificio de Ingeniería de la Universidad señor de Sipán:
 - Los Bloques 1 y 3 poseen un sistema estructural Dual tipo C1/C2.
 - El Bloque 2 posee un sistema estructural tipo C1.
 - El Bloque 4 (ascensor) posee un sistema estructural tipo C2.
3. En la evaluación, los factores que influyeron en la puntuación fueron los siguientes:
 - La zona de sismicidad alta, la cual nos da desde un comienzo valores bajos (con respecto a otras zonas de sismicidad) en los modificadores de puntaje y en el valor para cada sistema estructural.
 - El tipo de suelo (suelo E o suelo suave, equivalente al suelo S₃ o suelo blando de la Norma E.030) también influye, dado que disminuye la puntuación base.
 - Dicha puntuación, es proporcionada por el sistema estructural de las edificaciones; que en este caso son pórticos de concreto armado (tipo C1) y muros de concreto armado (tipo C2), no poseen una puntuación base elevada.

4. Las derivas resultantes del Análisis Dinámico en los Bloques 1,2 y 3 evaluados de manera detallada superan en ambos ejes, el límite de lo establecido en la Tabla N°11 de la norma E-030 ($\Delta_{\text{máx}} = 0.007$).

NIVEL	BLOQUE 1		BLOQUE 2		BLOQUE 3	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
1	0.0177	0.0172	0.0544	0.0268	0.0073	0.0185
2	0.0208	0.0246	0.0406	0.0325	0.0099	0.0265
3	0.0181	0.0235	0.0306	0.0274	0.0096	0.0253
4	0.0144	0.0199	0.0205	0.0200	0.0084	0.0212
5	0.0100	0.0155	0.0104	0.0125	0.0066	0.0162

5. Los Bloques 1, 2 y 3 presentan diferentes tipos de irregularidades estructurales según la Tabla N°8 y N°9 de la norma E-030 – Diseño Sismorresistente.

Factores de Irregularidad Estructural				
BLOQUE	Irregularidades en		Irregularidades en Planta	
	Altura (Ia)		(Ip)	
BLOQUE 1	0.50	Irregularidad de Extrema de Rigidez	0.60	Irregularidad Torsional Extrema
BLOQUE 2	0.50	Irregularidad de Extrema de Rigidez	1.00	Regular
BLOQUE 3	0.75	Irregularidad de Rigidez	0.60	Irregularidad Torsional Extrema

6. Según el artículo 3.7 de la norma E-030 “Diseño Sismorresistente”, especifica en la tabla N°10 “Categoría y regularidad de las edificaciones”, que para la categoría de edificaciones tipo A2, ubicados en zona 4, restringe en las edificaciones todo tipo de irregularidades estructurales.

7. Según los resultados del Ensayo de Rotura a compresión de los Núcleos Diamantinos demuestran que:

BLOQUE	F'c Real Promedio (Kg/cm²)	Cumple con E-060 / 5.6.5.4
BLOQUE 1	151.03	No es estructuralmente adecuado.
BLOQUE 2	134.67	No es estructuralmente adecuado.
BLOQUE 3	253.51	Es estructuralmente adecuado.

8. La evaluación estructural de los Bloques 1, 2 y 3 del edificio de ingeniería de la Universidad Señor de Sipán no es satisfactoria, ya que no cumple las normas vigentes de diseño Sismorresistente con el limitado número de muestras utilizadas en el ensayo de núcleos diamantinos.

5.1.2. VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL

9. La metodología FEMA 310 no evalúa con detalle los elementos no estructurales, ya que se centra en puntos básicos y generales, por lo cual sus resultados deben ser tomados como tales y no definitivos en una evaluación de este tipo.

10. De estos podemos decir que los bloques inspeccionados carecen y presentan las mismas deficiencias las cuales son las siguientes: vidrios exteriores que no se encuentran laminados, ni diseñados para soportar las distorsiones sísmicas, muebles y equipos que no se encuentran anclados a muros, suelo o algún elemento estructural, y que la vez pueden obstruir salidas, constituyendo un riesgo alto para la seguridad de vida y moderado para pérdida de propiedad y pérdida funcional (Anexo C).

11. La evaluación No Estructural de los Bloques Inspeccionados 1, 2 y 3 del edificio de ingeniería de la Universidad Señor de Sipán no cumple con la metodología FEMA 310, ya que presentan diversos puntos críticos que podrían poner en riesgo la integridad física de las personas en caso de un sismo severo. (Anexo G).

5.2. RECOMENDACIONES

5.2.1. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

1. Se debe considerar el reforzamiento de los 5 niveles de los Bloques 1, 2 y 3 de la Universidad Señor de Sipán, de ser técnica y económicamente viable, con elementos que rigidicen la estructura como placas o muros de corte, con el fin de disminuir las derivas, otra alternativa son elementos de disipación de energía sísmica, capaces de absorber entre un 20 a 40 % la energía del sismo reduciendo las derivas significativamente.
2. Para el ensayo de Diamantinas se recomienda obtener la cantidad ideal de núcleos diamantinos extraídos que manda la norma E-060, para obtener un resultado más confiable y preciso, de no cumplirse con los requisitos antes mencionados y si las condiciones estructurales permanecen en duda, también propondría que se realicen pruebas de carga para la parte cuestionada de la estructura.
3. Promover estudios de vulnerabilidad sísmica en edificaciones educativas, con el fin de revelar el estado de susceptibilidad de este tipo de edificaciones ante un movimiento sísmico.

5.2.2. VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL

4. En las puertas se debe colocar un cierre mecánico que evite el libre movimiento de la hoja y mantener la puerta despejada de cualquier otro elemento que pueda bloquear la salida.
5. Los archivadores deben anclarse en la pared usando unas láminas de acero y pernos, deben tener un seguro. Colocar los contenidos más pesados en niveles inferiores. Asimismo se deben ubicar lejos de las salidas y pasillos principales, y mantener siempre los gabinetes cerrados y con seguro.
6. Se debe anclar los estantes y similares tanto en la pared como en el piso para así evitar desplazamiento y volcamiento. Asimismo usar refuerzos diagonales y colocar los elementos más pesados en los niveles inferiores.

7. Se deben adicionar cables que se fijen longitudinal y transversalmente a los elementos suspendidos y se anclen en el techo, para el caso de una lámpara simple en suspensión se debe dejar espacio entre otros elementos que lo rodeen de manera que no existan contacto u obstrucción en cualquier dirección.
8. En cuanto a los equipos existentes en los laboratorios de computación, se debe fijar la base del monitor con pletinas de material resistente a la mesa. A su vez se debe apoyarse sobre una almohadilla antideslizante o anclarse a la mesa, mientras que los periféricos pueden fijarse a la mesa con un cable. Se debe ubicar las computadoras y periféricos lejos de la puerta de salida.

VI. REFERENCIAS

- Astorga, M & Aguilar, R. (2006). *Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas* (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.
- Bommer, J (1996). *Sismología para ingenieros*. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, San Salvador, El Salvador.
- Campos, A (1992). “*Mitigación del riesgo sísmico en Cali. “Programa de mitigación de desastres en Colombia”*”. *Informe final - Fase I. Observatorio sismológico del sur occidente. OSSO*. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Cardona, O. (1999). *Estimación del riesgo sísmico relativo de Santa Fé de Bogotá*”. *Revista internacional de ingeniería de estructuras*. Vol. 4, N°1. Quito, Ecuador.
- Centro de investigación en gestión integral de riesgos - CIGIR (2009). *Vulnerabilidad de la estructura física de las escuelas*. Módulo 3, sección 3, Caracas, Venezuela.
- Centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres - CISMID (1986). *Guía para la construcción sismo resistente no ingenieril*. Asociación internacional de ingeniería sísmica. Tokio. Editorial CISMID, UNI. Vol. I, parte 2, Lima, Peru.

Centro de sismología Universidad de Oriente - CSUDO (2012). *Intensidad y Magnitud de los Sismos*. Estado de Sucre, Venezuela. Recuperado de <http://csudo.sucre.udo.edu.ve/temas-de-interes/intensidad-y-magnitud.html>

Centro de sismología Universidad de Oriente - CSUDO (2012). *Origen de los Sismos*. Estado de Sucre, Venezuela. Recuperado de <http://csudo.sucre.udo.edu.ve/temas-de-interes/origen-de-los-terremotos.html>

Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI. (2011). *Riesgo sísmico y medidas de reducción del riesgo en el centro histórico de lima: programa de las naciones unidas para el desarrollo*. Proyecto No. 00058530: Preparación ante Desastre Sísmico y/o Tsunami y MUNICIPALIDAD Recuperación Temprana en Lima y Callao.

Instituto nacional de prevención sísmica - INPRES (2008). *PREVENCIÓN SÍSMICA. Manual de adiestramiento para docentes de nivel primario*. 9º Edición. San Juan. Argentina.

Marín, F (2012). *Evaluación del riesgo sísmico del centro histórico de la ciudad de Huánuco* (Tesis de Maestría). Universidad nacional de ingeniería, Lima, Perú.

Maskrey, A & Romero G (1986). *Urbanización y vulnerabilidad sísmica en lima metropolitana*". Centro de estudios y prevención de desastres- PREDES, Lima, Perú

Mayorga, C (2011). *Caracterización mecánica y modelamiento estructural de un disipador pasivo de energía de tipo arriostamiento de pandeo restringido*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Moquete, F (2012). *Evaluación del riesgo sísmico en edificios especiales: escuelas. Aplicación a Barcelona*. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Nava, A (4th Ed.). (1998). *Terremoto. Ciencias de la Tierra*. México: Fondo de cultura económica. Recuperado de <https://elfondoenlinea.com/Detalle.aspx?ctit=046034R>

- Olarte, J, Julca, J y Orbegoso, E (2008). *Evaluación del riesgo sísmico del centro histórico de Chiclayo*. Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Ramírez, B y Salazar, P (2015). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los centros educativos públicos y privados del distrito de la Victoria*. Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Federal Emergency Management Agency – FEMA (2th Ed). (2002). *Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards (a handbook – fema 154)*. Washington DC, USA: Editorial Nehrhp.
- Federal Emergency Management Agency – FEMA (2012). *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage – A Practical Guide*. Washington DC, USA: Editorial Nehrhp.
- Federal Emergency Management Agency – FEMA (2012). *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings*. Washington DC, USA: Editorial Nehrhp.
- Instituto de la gestión y gerencia (ICG). *Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE (2009)*. Lima, Perú.
- Peralta, H (2002). *Escenarios de vulnerabilidad y daño sísmico de las edificaciones de mampostería*. (Tesis de Maestría). Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Plataforma Provincial de Defensa Civil de Lambayeque - PPDCL (2012). *Plan Distrital de Operaciones de Sismos y Tsunamis*.
- Salgado, M (2010). *Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia. Actualización y uso en las nuevas normas colombianas de diseño sismo resistente*. (Tesis de Maestría). Universidad de los Andes, Colombia.
- Sánchez, F (1989). *Efectos de sitio en movimiento fuerte del terreno. V seminario internacional sobre ingeniería sísmica*. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
- Silgado, E (1978). *Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 – 1974)*. Lima, Perú: Editorial Instituto de Geología y Minería.

USGS - Servicio geológico de los estados unidos. Recuperado de <https://www.usgs.gov>

Valcárcel, J (2013). *Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Vidal, F (2001). *La sorpresa del terremoto de Kobe. El riesgo sísmico. Prevención y seguro*. Consorcio de compensación de seguros. Madrid. España.

Vizconde, A (2004). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente: clínica san miguel, Piura*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Piura, Perú.

Yauri, S (2008). *Detección, localización y análisis de sismos tsunamigénicos: sistema de alerta de tsunamis tremors*. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Agustín de Arequipa, Perú.

