

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“EVALUACIÓN SÍSMICA Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA
REDUCIR LA VULNERABILIDAD ANTE SISMOS, EN UN EDIFICIO
MULTIFAMILIAR DE ALBAÑILERÍA ARMADA CONSTRUIDO EN
1980, ILO - 2023”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. MARÍA DE FÁTIMA LOMBARDI MEZA

Bach. RENZO JAVIER SÁNCHEZ LANCHIPA

TACNA – PERÚ

2023

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“EVALUACIÓN SÍSMICA Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA
REDUCIR LA VULNERABILIDAD ANTE SISMOS, EN UN EDIFICIO
MULTIFAMILIAR DE ALBAÑILERÍA ARMADA CONSTRUIDO EN
1980, ILO - 2023”**

Tesis sustentada y aprobada el 7 de noviembre de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE

SECRETARIO : Mtro. GIANCARLOS JAVIER MACHACA FRIAS

VOCAL : Mtra. MARÍA ETELVINA DUARTE LIZARZABURO

ASESOR : Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Renzo Javier Sánchez Lanchipa y María de Fátima Lombardi Meza egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 72787636 y 71785126 respectivamente, así como Dina Marlene Cotrado Flores con DNI 00795268; declaramos en calidad de autores y asesor que:

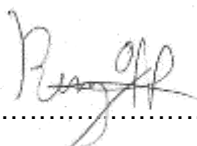
1. Somos los autores de la tesis titulada: *Evaluación sísmica y propuestas de mejora para reducir la vulnerabilidad ante sismos, en un edificio multifamiliar de albañilería armada construido en 1980, Ilo - 2023*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *la Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante *la Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 7 de noviembre de 2023



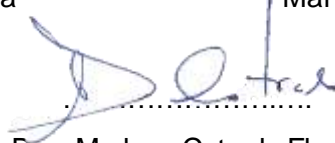
Renzo Javier Sánchez Lanchipa

DNI: 72787636



María de Fátima Lombardi Meza

DNI: 71785126



Dina Marlene Cotrado Flores

DNI: 00795268

DEDICATORIA

A mi papá Alfredo, por haberme dado la formación en valores necesaria para perseverar y haberme enseñado a ser siempre fuerte. A mi mamá Flor y Kathie, por todo su amor que me permitió seguir hacia adelante. Todo lo que logre que sea para orgullo de ustedes. A Lucky, Catalina y Jack por haberme acompañado en mis noches de estudio. A mi persona especial, J, por ser mi motivación diaria y demostrarme que la distancia no es impedimento.

María de Fátima Lombardi Meza

A la Universidad Privada de Tacna, por continuar con las labores académicas en tiempos de COVID 19.

Renzo Javier Sánchez Lanchipa

AGRADECIMIENTO

A Dios, por no permitir que pierda la esperanza de ser profesional algún día. A nuestra asesora, Mtro. Ing. Dina Cotrado, por su dedicación en impartirnos las enseñanzas adecuadas para aplicarlas en el presente trabajo de investigación. A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por haberme formado profesionalmente para ser quien soy y seré.

María de Fátima Lombardi Meza

Gracias a mis padres que, con dedicación, paciencia y mucho cariño, han sabido guiar mis pasos brindándome su apoyo incondicional día a día para el logro de mis metas. A mis maestros por haber impartido los conocimientos necesarios para la conclusión de mi carrera de Ingeniería civil. A mis dulces mascotas Argos y Abba, por acompañarme en mis noches de estudio y alegrarme la vida con sus constantes muestras y miradas de cariño.

Renzo Javier Sánchez Lanchipa

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| PÁGINA DE JURADOS..... | ii |
| DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD..... | iii |
| DEDICATORIA..... | iv |
| AGRADECIMIENTO..... | v |
| ÍNDICE GENERAL..... | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | x |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xi |
| RESUMEN..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 2 |
| 1.1. Descripción del problema..... | 2 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 4 |
| 1.2.1. Problema general | 4 |
| 1.2.2. Problemas específicos | 4 |
| 1.3. Justificación e importancia | 4 |
| 1.3.1 Justificación Social | 4 |
| 1.3.2 Justificación Económica | 5 |
| 1.3.3 Justificación Normativa..... | 5 |
| 1.3.4 Justificación Profesional | 5 |
| 1.3.5 Justificación Histórica | 5 |
| 1.4. Objetivos | 5 |
| 1.4.1. Objetivo general | 5 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 5 |
| 1.5. Hipótesis | 6 |
| 1.5.1 Hipótesis General | 6 |
| 1.5.2 Hipótesis Específicas | 6 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación..... | 7 |
| 2.1.1. Antecedentes nacionales | 7 |
| 2.1.2. Antecedentes locales | 8 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 8 |
| 2.2.1. Vulnerabilidad Sísmica | 8 |
| 2.2.2. Sismos..... | 10 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.2.3. | Sismicidad Global..... | 10 |
| 2.2.4. | La Geología del Cinturón de fuego del Pacífico | 10 |
| 2.2.5. | La Placa de Nazca en el Perú | 11 |
| 2.2.6. | Sismos en Perú | 11 |
| 2.2.7. | Sismos y Construcciones | 12 |
| 2.2.8. | Enseñanzas de los terremotos ocurridos en Perú..... | 12 |
| 2.2.9. | Cronología Histórica de los Sismos en el Perú | 13 |
| 2.2.10. | Silencio Sísmico en la zona sur del Perú | 17 |
| 2.2.11. | Diseño Estructural | 20 |
| 2.2.12. | Evaluación estructural | 20 |
| 2.2.13. | Deterioro Estructural de las Construcciones | 21 |
| 2.2.14. | Ensayos del concreto | 22 |
| 2.2.15. | Norma E.030 Diseño sismorresistente | 23 |
| 2.2.16. | Norma E.070 Albañilería | 26 |
| 2.3. | Definición de términos..... | 28 |
| CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO | | 30 |
| 3.1. | Diseño de la investigación | 30 |
| 3.2. | Acciones y actividades..... | 30 |
| 3.2.1. | Recopilación de información | 30 |
| 3.2.2. | Inspección de campo y toma de datos | 31 |
| 3.3. | Materiales e instrumentos | 33 |
| 3.3.1. | Técnicas | 33 |
| 3.3.2. | Descripción de los Instrumentos | 33 |
| 3.4. | Población y muestra de estudio | 33 |
| 3.4.1. | Población..... | 33 |
| 3.4.2. | Muestra..... | 33 |
| 3.5. | Operacionalización de variables | 34 |
| 3.6. | Procesamiento y análisis de datos..... | 35 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS | | 36 |
| 4.1. | Datos utilizados..... | 36 |
| 4.2. | Verificación de la densidad de muros reforzados | 37 |
| 4.3. | Modelamiento en Etabs | 40 |
| 4.4. | Periodos y modos de vibración | 43 |
| 4.5. | Desplazamientos y distorsiones..... | 44 |
| CAPÍTULO V: DISCUSIÓN..... | | 49 |
| CONCLUSIONES | | 51 |
| RECOMENDACIONES..... | | 52 |

| | |
|----------------------------------|----|
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |
| ANEXOS..... | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Operacionalización de variables | 34 |
| Tabla 2. Factor de suelo "S"..... | 36 |
| Tabla 3. Periodos "Tp" y "TL" según perfil de suelo | 36 |
| Tabla 4. Área de muros portantes en el eje X..... | 39 |
| Tabla 5. Área de muros portantes en el eje Y..... | 40 |
| Tabla 6. Periodos y modos de vibración obtenidos de ETABS..... | 43 |
| Tabla 7. Distorsiones de entrepiso en el eje X-X..... | 45 |
| Tabla 8. Distorsiones de entrepiso en el eje Y-Y..... | 45 |
| Tabla 9. Medición tomada por el esclerómetro en cada punto y cuadrícula..... | 48 |
| Tabla 10. Resultados producto de ensayo con esclerómetro en elementos estructurales | 48 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa sísmico del Perú del año 1960 a 2022..... | 3 |
| Figura 2. Cinturón de Fuego del Pacífico y distribución de volcanes y las principales placas Tectónicas | 19 |
| Figura 3. Tipos de sismos que ocurren en zonas de convergencia..... | 19 |
| Figura 4. Inspección visual de condiciones existentes, porosidad leve en muros | 31 |
| Figura 5. Inspección visual de condiciones existentes, principales elementos estructurales | 31 |
| Figura 6. Inspección visual de condiciones existentes, desgaste de pintura propio de la humedad y el tiempo..... | 32 |
| Figura 7. Inspección visual de condiciones existentes, vista interior de elementos | 32 |
| Figura 8. Enumeración de los muros considerados como contribuyentes..... | 38 |
| Figura 9. Vista en planta del primer piso..... | 41 |
| Figura 10. Vista en planta del segundo piso | 41 |
| Figura 11. Vista en planta del tercer piso..... | 41 |
| Figura 12. Espectro de respuesta en el eje XX y YY | 42 |
| Figura 13. Vista del modo 1, $T= 0,184$ segundos, en el eje X-X..... | 43 |
| Figura 14. Vista del modo 2, $T= 0,083$ segundos, en el eje Y-Y..... | 44 |
| Figura 15. Desplazamiento en el eje X-X..... | 44 |
| Figura 16. Desplazamiento en el eje Y-Y..... | 45 |
| Figura 17. Croquis con puntos de evaluación para ejecutar el ensayo | 46 |
| Figura 18. Ejemplo de punto de evaluación dividido en doce partes iguales | 46 |
| Figura 19. Ubicación de Punto “A” en fachada del departamento | 47 |
| Figura 20. Ubicación de Punto “B” en parte lateral del departamento | 47 |
| Figura 21. Ubicación de Punto “C” en parte posterior del departamento..... | 48 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Matriz de consistencia | 59 |
| Anexo 2. Panel fotográfico de ensayo. | 60 |
| Anexo 3. Planos de la estructura analizada..... | 62 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado “Evaluación sísmica y propuestas de mejora para reducir la vulnerabilidad ante sismos, en un edificio multifamiliar de albañilería armada construido en 1980, Ilo - 2023”, tiene un diseño no experimental, los acontecimientos se observan en entornos inalterados y los datos son recopilados en tiempos específicos sin manipular las variables, porque busca evaluar los principales problemas de las construcciones que se terminan cayendo ante un movimiento sísmico, ocasionando daños materiales y personales, donde hay pérdidas humanas, materiales y económicas que afectan a las familias, la sociedad y el estado, considerando que el Perú es un país altamente sísmico, se consideró necesario evaluar y proponer mejoras estructurales, basándonos en la normativa existente, que hace más fácil la identificación de las fallas en construcciones antiguas o dañadas por sismos; es así que se realizó un levantamiento del edificio multifamiliar de albañilería armada construido en 1980, incluyendo inspecciones visuales, mediciones y obtención de información relevante sobre su construcción y materiales estructurales. La información obtenida permitió concluir que la construcción evaluada, no es vulnerable ya que no presenta daños estructurales y cumple con todos los parámetros requeridos por las normativas actuales, por lo que la hipótesis planteada es nula.

Palabras clave: evaluación sísmica; vulnerabilidad estructural; edificio multifamiliar; albañilería armada.

ABSTRACT

The present research work called “Seismic evaluation and improvement proposals to reduce vulnerability to earthquakes, in a multifamily reinforced masonry building built in 1980, Ilo - 2023”, has a non-experimental design, the phenomena are observed in natural environments. and the data are collected at specific times without manipulating the variables, because it seeks to evaluate the main problems of buildings that end up falling due to a seismic movement, causing material and personal damage, where there are human, material and economic losses that affect families, society and the state, considering that Peru is a highly seismic country, it was considered necessary to evaluate and propose structural improvements, based on existing regulations, which make it easier to identify faults in old buildings or buildings damaged by earthquakes; thus, a survey of the multi-family reinforced masonry building built in 1980 was carried out, including visual inspections, measurements and obtaining relevant information about its construction and structural materials. The information obtained allowed us to conclude that the evaluated construction is not vulnerable since it does not present structural damage and complies with all the parameters required by current regulations, so the hypothesis proposed is null.

Keywords: seismic evaluation; structural vulnerability; multifamily building; reinforced masonry.

INTRODUCCIÓN

La tesis titulada "Evaluación sísmica y propuestas de mejora para reducir la vulnerabilidad ante sismos, en un edificio multifamiliar de albañilería armada construido en 1980, Ilo - 2023" se centra en analizar la resistencia sísmica de un edificio multifamiliar construido en 1980 en la ciudad de Ilo. El objetivo principal de esta investigación es evaluar la vulnerabilidad del edificio ante posibles eventos sísmicos y proponer mejoras para reducir dicha vulnerabilidad.

El estudio se llevó a cabo mediante la aplicación de métodos y técnicas de evaluación sísmica, considerando las normas y regulaciones vigentes en la zona. Se realizará un análisis detallado de la estructura del edificio, teniendo en cuenta su diseño, materiales de construcción y condiciones actuales.

A partir de los resultados obtenidos, se identificaron las áreas de mayor vulnerabilidad y se ha propuesto medidas de mejora para fortalecer la resistencia sísmica del edificio.

Esta tesis se divide en cinco capítulos que abordan de manera secuencial los aspectos fundamentales de la investigación. En el Capítulo I, se introduce y analiza la problemática central relacionada con la vulnerabilidad sísmica, enfocándose en un edificio multifamiliar construido en 1980 en Ilo, Perú. El Capítulo II proporciona el fundamento teórico a través de una revisión de literatura que contextualiza la investigación, incluyendo conceptos clave y normativas vigentes. En el Capítulo III, se presenta el marco metodológico que detalla las estrategias y métodos utilizados para recopilar datos. Los resultados de la investigación se exponen en el Capítulo IV, mientras que el Capítulo V se dedica a la discusión de estos resultados, evaluando su relación con las hipótesis planteadas. Finalmente, se presentan las conclusiones que responden a los objetivos, y se ofrecen recomendaciones basadas en los hallazgos de la tesis, con la intención de guiar futuras investigaciones y acciones relacionadas con la vulnerabilidad sísmica en edificaciones similares.

CAPÍTULO I: EI PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La vulnerabilidad sísmica en viviendas en Perú es un problema serio y preocupante. El país se encuentra en una zona sísmica activa debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, lo que lo expone a la posibilidad de terremotos frecuentes y de alta magnitud.

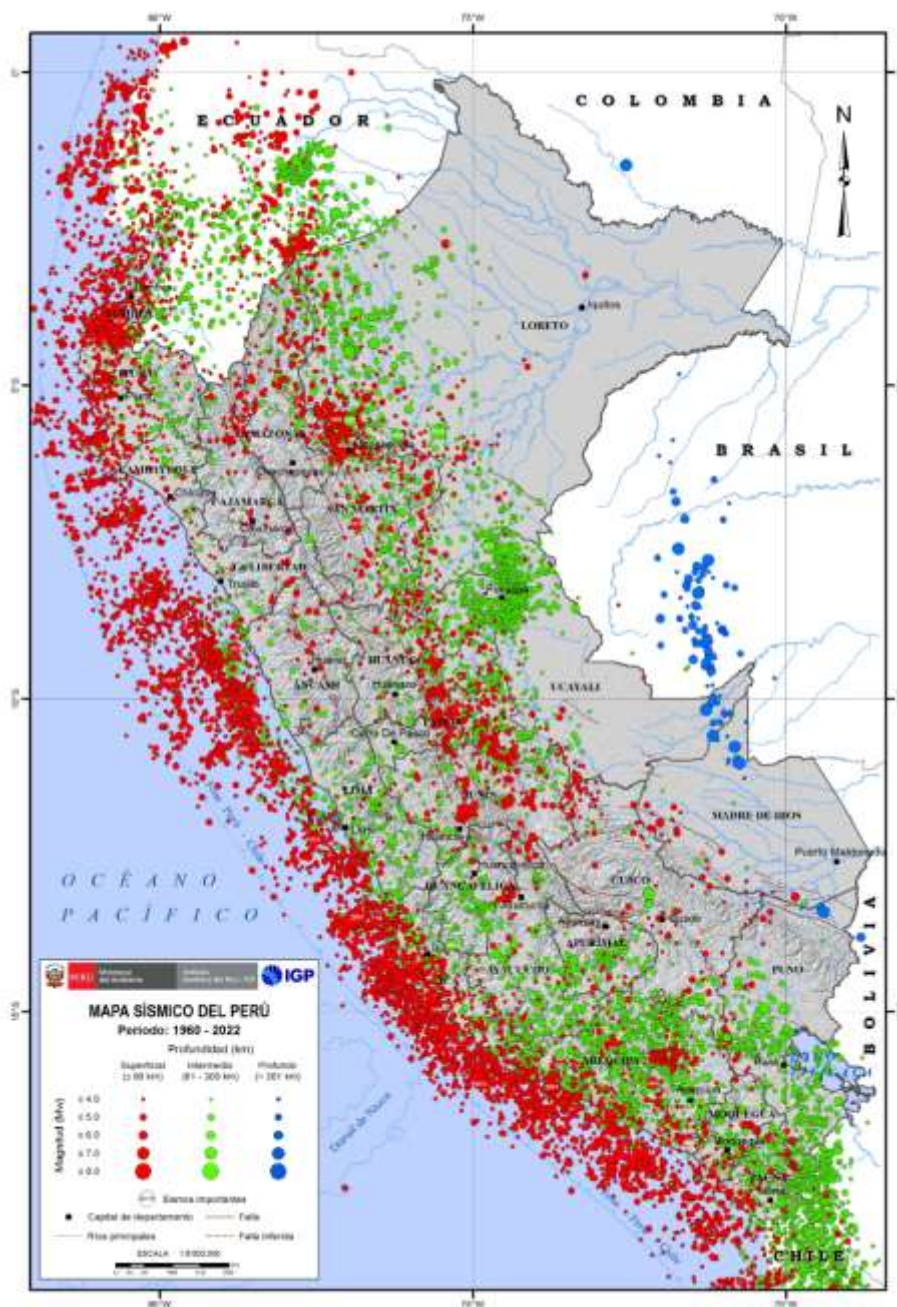
Así, el sur de Perú es una región sísmicamente activa debido a la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Esta actividad ha generado una serie de eventos sísmicos significativos a lo largo de los años. A continuación, se mencionan algunos sismos notables en el sur de Perú:

- Sismo de Arequipa de 2001: El 23 de junio de 2001, un sismo de magnitud 8,4 afectó principalmente a las regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna. Este evento causó daños significativos en infraestructuras y viviendas, así como pérdidas humanas. Sagredo, R., Benavente, C., & Khazaradze, G. (2005). Tectonic and geomorphic evolution of the western Andean Cordillera in southern Peru. *Tectonics*, 24(1), TC1001.
- Sismo de Ica de 2007: El 15 de agosto de 2007, un sismo de magnitud 8,0 golpeó la región de Ica, causando graves daños en la ciudad de Pisco y áreas circundantes. Este evento resultó en una alta cifra de víctimas mortales y afectó seriamente la infraestructura y las viviendas.
- Sismo de Tacna de 2005: El 26 de septiembre de 2005, un sismo de magnitud 7,5 sacudió la región de Tacna, afectando también a Arica en Chile. Este evento generó daños en edificios y viviendas, así como una alerta de tsunamis.

Como apreciamos en la Figura 1, El riesgo de terremotos en el Perú es "alto". Los sismos son más comunes en las regiones central y sur y menos frecuentes en el norte. Esta información nos permite definir las zonas sísmicas del Perú y sirven de base para diversos estudios acerca de sismos. El caso de estudio para la presente tesis es la zona sur del país, donde se aprecia que es una zona de sismicidad alta y de consecuencia, en su mayoría, crítica.

Figura 1

Mapa sísmico del Perú del año 1960 a 2022



Nota. El Mapa muestra la disposición de los eventos y sus magnitudes ocurridos desde 1960 a la actualidad. Tomado de <https://ultimosismo.igp.gob.pe/mapas-sismicos>.

Diversos estudios y publicaciones académicas han abordado esta problemática, destacando las deficiencias en el diseño y construcción de viviendas, así como la falta de medidas de preparación y conciencia sísmica.

Además, los criterios de diseño de las normas que rigen los parámetros a considerar en las construcciones actuales son un dato dinámico que se encuentra sujeto

a modificaciones motivadas por las deficiencias que afloran a lo largo del tiempo, tras demostrarse en la práctica que las solicitaciones sísmicas obligan a que las construcciones actuales sean cada vez más resistentes.

Los constantes sismos y evolución de las normas hacen que las viviendas en Perú sean altamente susceptibles a daños estructurales durante los terremotos, lo que pone en peligro la vida y la seguridad de los residentes. Además de las pérdidas humanas, los terremotos también pueden causar graves daños económicos y sociales, ya que destruyen la infraestructura, interrumpen los servicios básicos y generan desplazamientos masivos de población.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la evaluación de la vulnerabilidad ante sismos del edificio multifamiliar Pacocha H53, de albañilería armada construido en 1980 y cuáles son las propuestas de mejora para asegurar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos, Ilo-2023?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son las mediciones e información relevante sobre la construcción y materiales estructurales del edificio multifamiliar Pacocha H53 de albañilería armada construido en 1980?
- b. ¿Cuál es el análisis de la capacidad de resistencia del edificio multifamiliar Pacocha H53 frente a eventos sísmicos, considerando tanto los aspectos estructurales como no estructurales?
- c. ¿Cuáles son las propuestas de mejora del edificio multifamiliar Pacocha H53 de albañilería armada construido en 1980, para asegurar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos?

1.3. Justificación e importancia

1.3.1 Justificación Social

Diferentes estudios respecto al tema e incluso este tema de investigación, hacen que la evaluación estructural sea un proceso necesario para conocer la condición real de las construcciones, toda vez que las condiciones de los edificios destinados a viviendas afectan directamente a las familias y a la sociedad en general.

1.3.2 Justificación Económica

Uno de los principales problemas de las construcciones que se terminan cayendo ante un movimiento sísmico, son los daños materiales y personales que ocasionan, donde las pérdidas económicas afectan a las familias, la sociedad y el estado.

1.3.3 Justificación Normativa

Es necesario evaluar y proponer mejoras estructurales, considerando que existe la suficiente normativa para ello, lo que hace más fácil la identificación de las fallas en construcciones antiguas o dañadas por sismos.

1.3.4 Justificación Profesional

El profesional en Ingeniería Civil está obligado a cumplir las normas de edificación y preservar la seguridad de las personas, con el objetivo de minimizar los riesgos y garantizando la seguridad de los ocupantes.

1.3.5 Justificación Histórica

El Perú históricamente es propenso a sismos, se encuentra en el cinturón de fuego del pacífico, con el 90% de la actividad sísmica del planeta y cuenta con construcciones muy antiguas que albergan instituciones y/o familias, el paso del tiempo y la exposición a movimientos sísmicos, deteriora la estructura, generando peligro y vulnerabilidad.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad ante sismos del edificio multifamiliar Pacocha H53, de albañilería armada construido en 1980 y determinar si es necesario plantear propuestas de mejora para asegurar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos, Ilo-2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Realizar un levantamiento del edificio multifamiliar Pacocha H53 de albañilería armada construido en 1980, para definir si su construcción cumple con los estándares establecidos y si existen deficiencias que afecten su capacidad de resistencia sísmica

- b. Aplicar la normativa NTE E.030 para realizar un análisis de la capacidad de resistencia del edificio multifamiliar Pacocha H53 de albañilería armada construido en 1980, considerando tanto los aspectos estructurales como no estructurales
- c. Determinar si es necesario plantear propuestas de mejora del edificio multifamiliar Pacocha H53 de albañilería armada construido en 1980, para asegurar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos

1.5. Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

El edificio multifamiliar de albañilería armada construido en 1980, en el año 2023, fue evaluado satisfactoriamente y así mismo se determinó si se requiere plantear propuestas de mejora para asegurar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- a. El levantamiento del edificio multifamiliar de albañilería armada construido en 1980, que incluye inspecciones visuales, mediciones y obtención de información relevante sobre su construcción y materiales estructurales, fue suficiente para determinar si cumple con los estándares de construcción establecidos y se identificarán deficiencias que afecten su capacidad de resistencia sísmica
- b. El análisis de la capacidad de resistencia del edificio multifamiliar de albañilería armada frente a eventos sísmicos, realizado mediante la aplicación de la normativa NTE E.030, revelará si existen deficiencias y debilidades en su diseño y comportamiento sismorresistente, tanto en los aspectos estructurales como en los no estructurales
- c. La investigación será suficiente para determinar si son necesarias propuestas de mejora para asegurar la capacidad de resistencia del edificio multifamiliar de albañilería armada ante eventos sísmicos

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes nacionales

Serrano (2018) en su tesis denominada “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de ingeniería de la universidad Señor de Sipán, actualizada a la norma E-030” cuya finalidad de estudio fue determinar la inseguridad sísmica del edificio de ingeniería de la universidad Señor de Sipán, empleó la metodología de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA - USA). Los resultados de la investigación demostraron que los bloques del edificio tienen una alta probabilidad de sufrir daños en grado 3; y muy alta probabilidad para grado 2, según la escala macro sísmica europea.

Chumpitaz (2018) en su tesis denominada “Vulnerabilidad sísmica en viviendas informales en el centro poblado de Manzanares, distrito de Huacho 2018” planteó como objetivo, determinar la relación que existe entre las viviendas informales y el riesgo sísmico en el lugar de estudio, ubicado en el distrito de Huacho, 2018. El tipo de investigación fue descriptiva, concluyendo así que el 80 % de las viviendas tienen riesgo sísmico alto mientras que el 20 % tienen un riesgo sísmico medio y la humedad es el mayor causante de daño en la estructura.

Arévalo (2020) en su tesis denominada “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de acuerdo con el reglamento nacional de edificaciones en el A.H. San José, distrito de San Martín de Porres” determinó el nivel de riesgo sísmico en las viviendas informales en el A.H. San José, conforme a lo contemplado en el reglamento nacional de edificaciones. Se utilizó el enfoque cualitativo, como trabajo de campo aplicando encuestas, describiendo las características de estructura, arquitectura y de procedimiento constructivo, llegando a determinar el proceso sísmico usando Etabs 2016, calculando fuerza, desplazamientos y distorsiones, conforme a las normas para edificaciones. Las conclusiones a las que se arribaron en esta investigación, mostraron el riesgo sísmico estructural frente a la presencia de un movimiento sísmico, que aumenta su peligrosidad por encontrarse en una zona muy sísmica.

2.1.2. Antecedentes locales

Mamani (2022) en su tesis titulada “Estudio de la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales de los sectores IV y VI del Distrito Alto de la Alianza-Tacna” plantea el describe la vulnerabilidad ante sismos que tienen las viviendas construidas informalmente del distrito motivo de estudio, llegando a concluir que son muy vulnerables sísmicamente, es este estudio se utilizó el método de Benedetti y Petrini de 1984. Es un estudio no experimental, que utiliza el software ETABS y el trabajo de campo. Se evidenció que del 100 %, quince viviendas presentaban una alta vulnerabilidad, cuarenta y cuatro una vulnerabilidad media y una vivienda de baja vulnerabilidad, que de acuerdo a su desplazamiento tendría por consecuencia rajaduras y fisuras.

Mamani y Philco (2021) presentan la tesis denominada “Vulnerabilidad sísmica en las edificaciones escolares públicas del distrito de Ciudad Nueva Tacna 2021” Este estudio se basa en observaciones, recolección de datos y posterior análisis para estimar la vulnerabilidad sísmica de seis edificios educativos en la región de Ciudad Nueva. Se utilizó un método cualitativo no estándar llamado modelación probabilística de riesgo, y la información obtenida permitió determinar el nivel de señal sísmica indicando el nivel de cumplimiento y las características de vulnerabilidad del sistema de infraestructura de cada vivienda. . Estos datos se utilizan para clasificar cada industria según su nivel de vulnerabilidad. Como resultado se determinó que el 66.67% (4 escuelas) tienen un buen desempeño sismorresistente, y el 33.33% (2 escuelas) tienen un alto riesgo de colapso.

Quispe y Mamani (2021) presentan la tesis denominada “Evaluación sísmica visual rápida por el método fema 154 de los pabellones del Campus Capanique 1 de la Universidad Privada de Tacna, 2021”, cuyo objetivo fue Se realizará una evaluación sísmica rápida mediante el método Fema 154 en el pabellón del campus Capanique 1 de la universidad privada de Tacna para determinar el estado del edificio. Se utilizaron métodos de investigación descriptivos y explicativo a nivel evaluativo, apreciativo e integral. La evaluación sísmica rápida utilizando un formulario de recolección de datos determinó que la puntuación final "s" para el complejo según Fema 154 fue inferior a 2 valores. Lo que se necesita es una revisión cuantitativa y sistemática del área de investigación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Vulnerabilidad Sísmica

Herrera (2014) La evolución en el proceso constructivo llevó a que las edificaciones construidas con materiales de concreto y acero fueran mucho más eficientes que las

construidas con mampostería y adobe, considerando además que estos últimos fueron construidos sin un estándar de resistencia sísmica. Hoy en día, sin embargo, el número de edificaciones de ladrillo, mampostería y barro es grande, por lo que el análisis de ambas estructuras es necesario para asegurar un comportamiento controlado ante un evento sísmico.

Uno de los factores importantes a la hora de evaluar el riesgo sísmico es la vulnerabilidad de una vivienda a los terremotos. Esto se debe, entre otras cosas, a que los materiales y los métodos de construcción determinan las características de una casa. Una de las lecciones que nos han enseñado los terremotos pasados es que los edificios en el mismo lugar y del mismo tipo pueden sufrir daños más severos por un terremoto. Esto significa que algunos edificios tienen mejor calidad estructural que otros.

Es así que, la fragilidad sísmica se puede definir como la facilidad de las construcciones de ceder ante sismos, es por ello que una estructura puede ser más o menos vulnerable, independientemente de su ubicación, es decir, puede ser vulnerable pero no estar en riesgo dependiendo de su ubicación.

Uno de los primeros pasos a considerar al evaluar la vulnerabilidad sísmica de una estructura es el alcance del estudio de peligro sísmico. Este paso es importante porque la vulnerabilidad a los terremotos se puede evaluar de una manera muy específica, ya sea mediante estudios estructurales muy detallados o mediante estudios muy generales (por ejemplo, a nivel de ciudad).

Otra cosa muy importante que hay que entender al considerar una evaluación de vulnerabilidad, es definir cuánto daño puede sufrir una estructura en un terremoto. De hecho, el daño está asociado con la vulnerabilidad. Las estructuras pueden volverse vulnerables en mayor o menor medida en función del daño causado por un sismo. Mena (2002).

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica requiere la realización de estudios para determinar la vulnerabilidad de un edificio a un cierto nivel de daño si ocurren ciertos movimientos sísmicos. Estos estudios generalmente se basan en comparar la resistencia estructural y las aplicaciones sísmicas. La demanda se refiere al desempeño sísmico, mientras que la capacidad se refiere al comportamiento esperado de la estructura para resistir esa demanda. De esta manera, la resistencia se relaciona con el nivel de daño esperado, por lo que la actividad sísmica y el daño son los factores básicos que caracterizan la vulnerabilidad sísmica. (Safina 2003).

2.2.2. Sismos

IGP (2020) Los estudios geofísicos, demuestran que la estructura terrestre consta de un núcleo, manto interior, exterior y una corteza. El núcleo consta de materiales de hierro expuestos a temperaturas superiores a 5000 °C; Por tanto, todas las rocas que lo rodean son líquidas y semilíquidas, y se enfrían cerca de la superficie a medida que se alejan del núcleo, formando placas. A medida que el núcleo está caliente, agita el material líquido para crear corrientes de convección, empujando el material caliente hacia la placa oceánica en el proceso. La introducción de la naturaleza de este material favorece la separación y el resultado: se produce la expansión del fondo marino. Este proceso en sí mismo mueve las placas en diferentes direcciones, a veces combinado con colisiones y separaciones. Es decir, tierra por otra tierra, mar por otro mar, o una combinación.

2.2.3. Sismicidad Global

IGP (2020) Los terremotos en el mundo no se distribuyen aleatoriamente. Existen regiones donde hay sismos y otras donde no, las cuales cubren un área más grande en la Tierra. Además, la distribución de los terremotos es similar a la distribución de regiones orogénicas y volcanes actuales, como el Anillo de Fuego del Pacífico (CFP), región donde la Tierra emite más del 80 % de su capacidad anual. Lo mismo ocurre con los terremotos y las erupciones volcánicas.

2.2.4. La Geología del Cinturón de fuego del Pacífico

Flores, Alcalde y otros (2023) La placa debajo del Océano Pacífico se está moviendo más rápido que el resto de la plataforma continental, un fenómeno conocido como "expansión de placas". (piscina de losa en inglés). Cuanto más se hunda la litosfera en una zona de subducción, más rápido se moverá y más fuerte será la actividad sísmica. Estos terremotos son responsables de crear zonas sísmicas que son capaces de producir algunos de los terremotos más grandes de la Tierra, en zonas de subducción creadas por dos placas convergentes (una que se mueve hacia abajo y la otra que se aleja).

CNN (2022) El Cinturón de Fuego del Pacífico, está constantemente activo porque las placas se mueven constantemente. Por ejemplo, la Placa de Nazca, se mueve de 3 a 5 centímetros al año, lo que puede parecer poco, pero la placa ubicada frente a las costas de Chile en realidad se está moviendo más rápido, dicen los expertos.

El hecho de que estas áreas principales tengan el mismo nombre no significa que los terremotos ocurran en un área u otra o que los terremotos ocurran simultáneamente en diferentes áreas del cinturón. De hecho, según Matthews, "no es frecuente que se produzcan grandes terremotos en muchas regiones a la vez, por ejemplo en Ecuador, Perú y Chile".

2.2.5. La Placa de Nazca en el Perú

IGP (2022) La actividad sísmica en Perú está relacionada con la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana, lo que provoca que se acumule tensión y se libere energía en forma de terremotos de varios tamaños y niveles de profundidad. La distribución espacial de los terremotos durante el rozamiento de las placas y la transformación interna de la placa de Nazca permitió determinar la geometría en el proceso de subducción.

El análisis de la geometría de la placa de Nazca se realizó haciendo uso de varios tipos de información sísmica, incluidos datos sísmicos locales y regionales e información de proyectos. Estos estudios muestran que el fondo del océano es diferente y existe una diferencia entre los dos tipos de hundimiento. El primero muestra que la placa de Nazca en la región norte y central desciende en un ángulo de entre 25° y 30° hasta una profundidad de 120 km. Se desplaza horizontalmente hasta 700 km de distancia de la línea de hundimiento. En la región sur, la placa continúa con su subducción en un ángulo de 30° hasta una profundidad de 250 km (subducción normal). Además, sugieren que la placa de Nazca puede estar haciendo subducción debajo de la ciudad de Pucallpa, donde los terremotos se inclinan en el mismo ángulo que cuando la placa comienza la subducción, a una profundidad de 150 a 200 km. Este fenómeno se llama "Nido de Pucallpa".

2.2.6. Sismos en Perú

MINEM (2023) Los sismos en nuestro se relacionan a dos fuentes principales:

“a. Zona de subducción, fuente principal con sismos de gran magnitud.

b. Fuente secundaria, asociada a una sismicidad intra-continental relacionada a fallas activas de diversas longitudes, generando sismos de magnitudes menores Cahill y Isacks, (1992). Tavera y Buforn (2001)”.

Debido a estas condiciones, existen muchos terremotos en nuestra región, sus orígenes son diferentes en profundidad y la destrucción es diferente. En el Perú los sismos se consideran lo más peligroso para nuestro país, por lo que los daños de un sismo en una ciudad dependen de su magnitud y de la capacidad de las estructuras para resistirlo. El Instituto Peruano de Geofísica (IGP) administra una red sísmica compuesta por 31 estaciones para monitorear la actividad sísmica.

2.2.7. Sismos y Construcciones

Laurencio (2022) Seamos claros, nuestro país está en uno de los lugares más activos sísmicamente del mundo. Por lo tanto, todos los edificios relacionados con proyectos de infraestructura deben ser inspeccionados por ingenieros civiles antes de su construcción. Laurencio también nos dice:

Cuando uno desea comprar un departamento o vivienda, debe solicitar al vendedor que se le brinde el proyecto estructural (documento) antes de pagar. Una vivienda es la mayor inversión en la vida de cualquier persona, el comprador debe estar seguro si ésta es segura o no, con el documento podrá solicitar una revisión. En la actualidad esta práctica no se realiza, el vendedor le dice al comprador es una vivienda antisísmica y ya, sin ningún aval o garantía. Lo digo porque me ha pasado, hice todo un proceso de compra y antes de pagar la inicial solicité dicho documento para revisarlo, pero nunca me lo enviaron y nunca compré nada. El problema es que se construyen edificaciones con un proyecto para 4 pisos, pero terminan haciendo 6 o 7 pisos, algunas veces no hay proyecto y se hace de manera informal.

2.2.8. Enseñanzas de los terremotos ocurridos en Perú

Cenepred (2016) La gestión del riesgo de daños para edificios y estructuras se centra en investigar los daños ocurridos y aplicar la teoría, el análisis y la práctica profesional en el diseño y la construcción para reducir la vulnerabilidad de los edificios. Por ejemplo, se pueden utilizar códigos sísmicos para reducir la vulnerabilidad de los edificios de hormigón. En este sentido, se ha avanzado mucho. Por ejemplo, las normas sobre terremotos en Japón y Estados Unidos que han estado vigentes desde la década de 1980 han reducido en gran medida los daños a las estructuras de los edificios. Sin embargo, hay poca atención internacional, especialmente en países en desarrollo como

Perú, a los riesgos de terremotos: la resistencia de los edificios afectados y cómo evitar áreas de alto y muy alto riesgo.

Para demostrar la importancia de las características físicas del lugar: la naturaleza del subsuelo, la topografía y la geografía, existe acuerdo en la comunidad técnica y científica del mundo, de que la intensidad del sismo depende de estos y por lo tanto el daño y la destrucción también.

2.2.9. Cronología Histórica de los Sismos en el Perú

Alayo (2006) hace mención de la cronología histórica de los terremotos más destructivos en el Perú, la cual se muestra a continuación:

- Lima, 1533: un temblor es advertido por Hernando Pizarro antes de legar al santuario de Pachacamac;
- Arequipa, VIII-1555: quedan casas dañadas y provoca la muerte de varias personas, de acuerdo con el Libro de Cabildos de dicha ciudad;
- Lima, 15-XI-1555: causa desperfectos en las edificaciones
- Arequipa, 22-I-1582: deja en ruinas a la ciudad, siendo derribadas más de 300 casas y pereciendo más de 35 personas;
- Lima, 9.VII-1586: con destrucción de edificaciones, aunque pocas pérdidas humanas. La tierra quedó temblando por 60 días y fue sentido en Huánuco y en Cuzco;
- Costa sur, 24-XI-1604: deja en ruinas a Arequipa, Moquegua, Tacna, Arica y los daños se extienden hasta Ica. También se produjo un tsunami que destruyó el puerto de Arica y el de Pisco;
- Trujillo, 14-II-1619: con extensión a las Villas de Saña y Santa, muriendo más de 350 personas;
- Cuzco, 31-III-1650: son derribados los templos y la mayor parte de las edificaciones, extendiéndose los daños a Abancay y Andahuaylas;
- Lima, 13-XI-1655: fueron derribadas muchas casas y edificaciones;
- Ica, 12-V-1644, donde mueren más de 300 personas. A este le siguieron 60 temblores más, aunque de menor intensidad;

- Lima, 20-X-1687: dos terremotos ocasionan la ruina total de la capital. Sus efectos fueron desastrosos, siendo sentidos en las haciendas de Cañete, Ica, Palpa, Nazca y Camaná. Se calcula en 300 las víctimas, con movimientos de tierra hasta el 12 -XII de ese mismo año;
- Pisco, 10-II-1716: provoca el derrumbe de las casas y, al abrirse la tierra, la expulsión de agua;
- Lima, 28-X-1746: terremoto de probable intensidad en grado 11 en escala de Mercalli. Cuando aún la capital no terminaba de reponerse del terremoto de 20-X-1687, éste provoca que de las 3000 casas existentes sólo quedasen en pie 25 de ellas, destruyéndose incluso la catedral. El número de víctimas se calculó, de acuerdo con testimonios contemporáneos, en 1141 personas para una población de 60.000 habitantes. El Callao también quedó afectado pues un tsunami causó numerosas víctimas. En las 24 horas siguientes se contaron cerca de 200 temblores más;
- Arequipa, 13-V-1784: provoca la muerte de 54 personas junto a la ruina de edificios y viviendas;
- Lima, 1-XII-1806: tsunami que causa daños en buques de la bahía;
- Arequipa, 10-VII-1821: daños en Camaná, Ocoña, Caravelí, Chuquibambaba y Valle de Majes;
- Lima, 30-III-1868: con graves consecuencias para las edificaciones, como la catedral, que quedó en ruinas. Por las estadísticas de contemporáneos se calcula en 180 los muertos;
- Costa sur, 9-V-1877: con tsunami en los puertos de Ilo y Arica, siendo arrasados los puertos de Pabellón de Pica y;
- Lima, 9-III-1904: con derrumbes en las viviendas, siendo sus efectos sentidos en Casma, Trujillo, Huánuco, Pisco, Ica y Ayacucho;
- Caravelí, 6-VIII-1913: con averías en edificios públicos y viviendas;
- Apurímac, 4-XI-1913; provoca la destrucción de varios caseríos de la provincia de Aymaraes;
- Lima, 11-II-1926: con efectos en Chosica, Cañete, Chiclayo e Ica.
- Carabaya, 9-IV-1928: ocasionando el desprendimiento de enormes masas de hielo y aluviones;

- Chachapoyas, 14-V-1928: destrucción de la ciudad de Chachapoyas y en varias ciudades interandinas del norte del Perú;
- Lima, 24-V-1940: con una intensidad aproximada de 8 grados en escala de Mercalli. Dejo un saldo de 179 muertos y 3500 heridos. El 38 % de las viviendas resultaron afectadas y los daños se prolongaron al Callao, Chancay, Huacho y Lurín. También fue percibido en Trujillo, Piura, el Callejón de Huaylas, Cajamarca, Chota, Hualgayoc, Huancavelica, Oxapampa, Cuzco y Puno;
- Cuzco, 18-IX-1941: con daños en iglesias, capillas, edificios públicos y viviendas;
- Ica y Arequipa, 24-VIII-1942: fallecen 30 personas y se desploman las viviendas. Su intensidad fue de 4 grados en la escala de Mercalli;
- Pisco, 29-IX-1942: destruyó la ciudad y el puerto;
- Pallasca y Pomabamba, en Ancash, 20-XI-1946; provocó la muerte de 1,936 personas con un área de percepción de 450,000 Km²;
- Arequipa, Moquegua y Tacna, 11 -V-1948, y Cañete, 28-V-1948: hubo pérdidas materiales notables;
- Cuzco, 21-V-1950: destrucción de más de la mitad de las viviendas y una intensidad de 7 grados en la escala de Mercalli;
- Ica, 9-XII-1950: ocasiona averías de consideración con la muerte de cuatro personas;
- Tumbes y Piura, 12-XII-1953: derrumbe de viviendas por sismo de 8 grados de intensidad en la escala de Mercalli;
- Arequipa, 15-I-19587: desprendimiento de piedras y destrucción de viviendas humildes;
- Arequipa, 26-VII-1958: rompimiento de tuberías, con epicentro en la frontera Perú-Bolivia;
- Tumbes a Chiclayo, 7-II-1959: ligeros deterioros en algunas casas;
- Ayacucho, 24-XII-1959: destrucción de 250 viviendas con inhabilitación de vías terrestres;

- Arequipa, 13-I-1960: destrucción de algunas construcciones de sillar con inhabilitación de carreteras a causa de un sismo de 9 grados en la escala de Mercalli;
- Lima y provincias sureñas de Lima, 15-I-1960: derrumbe de casas de construcción precaria;
- Cordillera Negra, 24-IX-1963: daños en las construcciones rurales, con deslizamientos y averías en los canales de irrigación;
- Lima; 17-X-1966: sismo con intensidad de 8 grados de la escala de Mercalli, sus efectos se sintieron entre Lima y Supe, dejando un saldo de 100 muertos;
- San Martín, 19-VI-1968: deslizamientos con daños en las viviendas de adobe;
- Ancash, 31-V-1970: muerte de 50,000 personas, 20,000 desaparecidos y 150,000 heridos a causa de la avalancha que siguió al terremoto y sepultó al pueblo de Yungay. De acuerdo con una evaluación de los daños 60,000 viviendas necesitaban reconstruirse; quedó inhabilitado el alcantarillado de 18 ciudades; hubo destrucción de 6,730 aulas; reducción de capacidad de energía eléctrica de Ancash y la Libertad a un 10 % por los daños causados en la Central Hidroeléctrica de Huallanca; daño de capacidad de irrigación de 110 mil ha.; interrupción del 77 % de los caminos entre la Libertad y Ancash y del 40 % de los existentes entre Chancay y Cajatambo;
- Lima, 3-X-1974: muerte de 78 personas y un alto costo material;
- Arequipa, 16-II-1979: alcanza una intensidad de 6,2 grados de la escala de Richter;
- Cuzco, 4-IV-1986: afecta a la ciudad y sus alrededores, con una intensidad de 5,4 grados de la escala de Richter;
- Moyobamba, 30-V-1990: sismo de 6,1 grados de la escala de Richter;
- Moyobamba, 4 y 5-IV-1991: dos sismos simultáneos alcanzan los 6,0 y 6,5 grados en la escala de Richter;
- Lima, 18-IV-1993: movimiento sísmico de 5,8 grados en la escala de Richter sacude la capital;

- Nazca, 12-XI-1996: terremoto de 7,7 grados en la escala de Richter provoca la muerte de 17 personas; 1,500 heridos y 100,000 damnificados. La ciudad quedó destruida;
- Región sur, 3-IV-1999: conocido como el “terremoto de Arequipa”, llega a los 6 grados en la escala de Richter;
- Chuschi, Ayacucho, 31-X-1999: alcanza los 4 grados en la escala de Richter;
- Moquegua, 23-VI-2001: terremoto de 7 grados en la escala de Richter; afecta al 80% de la población, ocasionando el derrumbe de algunos poblados, del 90% de las viviendas. La ciudad quedó incomunicada y las líneas telefónicas y viviendas fueron seriamente dañadas, en ciudades aledañas, como Arequipa y Tacna, murieron más de 70 personas. Además, un fuerte tsunami arrasó la localidad de Camaná. La onda sísmica fue sentida en Lima y también, con menor intensidad, en Tumbes, Talara Sullana y Piura.
- El terremoto del 15-VIII-2007 es obviamente calificable como desastroso porque trajo al piso elevados porcentajes de las edificaciones de las ciudades de Chincha, Pisco, Ica, Tambo de Mora, Leoncio Prado y otros centros poblados de Ica, Lima, Apurímac y Ayacucho, que afectaron rudamente a más de 35 000 familias “damnificadas” (que implica la destrucción de sus viviendas), según el Instituto Nacional de Defensa Civil; y determinaron la muerte de alrededor de 600 personas.

2.2.10. Silencio Sísmico en la zona sur del Perú

Diario Correo (2018) Según el Dr. Hernando Tavera, “En los 70, la comunidad científica internacional trataba de predecir la ocurrencia sismos, lo cual se hizo necesario después de que científicos chinos “predijeran” el sismo de Haicheng en 1975, según ellos, con bastante éxito. Durante dicha década, se llegó a publicar el mayor número de artículos científicos y libros que no hacían otra cosa que explicar cómo se puede predecir la ocurrencia de terremotos. Algunos de estos libros hablan sobre la particular reacción de animales antes de ocurrir el sismo, por ejemplo, los perros”.

Estos estudios evidenciaron signos geofísicos (especialmente la frecuencia de los terremotos, las fluctuaciones de los campos eléctricos y magnéticos, las emisiones de radón, cambios en la corteza terrestre, etc.) que se consideran fenómenos

precursores a corto, mediano y largo plazo. De los tres, el monitoreo preliminar a largo plazo es el más confiable, ya que los problemas ocurren a nivel local y global.

El pronóstico a largo plazo toma en cuenta el número y la ubicación de los mayores terremotos que han ocurrido en una zona, por lo que se necesita un registro histórico de terremotos, específicamente en Perú hay datos de 500 años transcurridos. Para el Anillo de Fuego del Pacífico, el profesor J. Kelleher dibujó un mapa histórico del primer terremoto de magnitud superior a 8,0 en 1972, lo que indica la existencia de una región donde todavía no se han producido muchos terremotos. Esto se llama "seismic gaps", que se traduce como "laguna sísmica o zona de silencio sísmico". Asimismo, una brecha sísmica es un área que no ha experimentado un terremoto importante en mucho tiempo, pero que limita con un área que ha experimentado un terremoto recientemente.

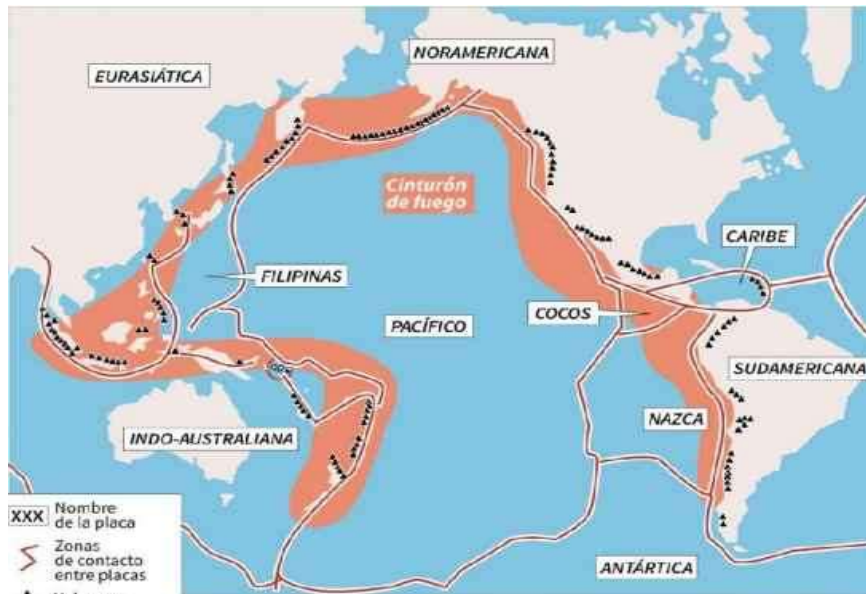
Después del trabajo del Prof. J. Kelleher, los profesores W. McCann (1979) y S. Nishenko (1991) investigaron los grandes terremotos en la región del Anillo de Fuego del Pacífico y confirmaron la validez de este método a largo plazo. El estudio más reciente de las zonas con lagunas sísmicas del Perú es el de H. Tavera (2005) del Instituto Geofísico del Perú. Esta región se ubica en la región de Lima, cerca de Pisco, en la costa de las ciudades de Lomas y Chala, y termina en la costa de la región de Moquegua y Tacna. Ver Fig. 2 y 3.

Pisco experimentó un terremoto en 2007, pero otras áreas acumularon energía sísmica con el tiempo. Los terremotos son cíclicos y cuanto más largo es el período de silencio sísmico, más energía liberan. Lo único que queda es prepararse para el próximo gran terremoto.

IGP (2021) Hernando Tavera, declaró "El departamento de Tacna se ubica próxima a dos zonas de silencio sísmico: una frente a la región misma y a Moquegua, y otra al norte del vecino territorio de Chile".

Figura 2

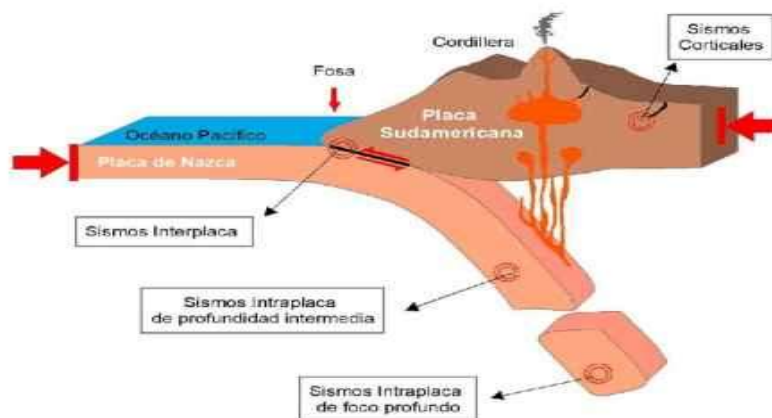
Cinturón de Fuego del Pacífico y distribución de volcanes y las principales placas Tectónicas



Nota. La figura muestra el Cinturón de Fuego del Pacífico donde se aprecian las principales placas tectónicas y volcanes. La información utilizada corresponde al Informe Técnico N° 004-2020 del IGP (2020). Tomado de https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/4893/ESCENARIO_SISMICO_PERU_IGP2020.pdf

Figura 3

Tipos de sismos que ocurren en zonas de convergencia



Nota. La figura muestra los diferentes tipos de sismos que ocurren en zonas de convergencia de placas: Placas de Nazca y Sudamericana. La información utilizada corresponde al Informe Técnico N° 004-2020 del IGP (2020). Tomado de https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/4893/ESCENARIO_SISMICO_PERU_IGP2020.pdf

2.2.11. Diseño Estructural

CYPE (2022) La determinación del diseño de construcción es uno de los pasos más importantes en la edificación y se hace después de que el cliente presenta la propuesta arquitectónica.

Este proceso es importante, porque un buen diseño estructural debe cumplir los requisitos máximos y mínimos establecidos en las normas, es necesario garantizar la seguridad del edificio para la evacuación en caso de ocurrencias de viento o sismo. Hay que recordar que un buen diseño estructural no es construir un edificio "indestructible" sino poder deformarse bajo fuerzas horizontales y verticales sin perder sus elementos estructurales de soporte (piso, vigas, columnas, paredes, etc.).

Perú cuenta con un Reglamento Nacional de Construcción, establecido por un comité técnico especial. Las normas deberán ser sometidas a consulta pública y finalmente aprobadas por el Ministerio de Vivienda y Construcción, las cuales son:

Normas de Estructuras en Perú:

E.010 Madera

E.020 Cargas

E.030 Diseño sismorresistente

E.031 Aislamiento sísmico

E.040 Vidrio

E.050 Suelos y cimentaciones

E.060 Concreto armado

E.070 Albañilería

E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada

E.090 Estructuras metálicas

E.100 Bambú

2.2.12. Evaluación estructural

Aguilar & Escobar (2017) El método de evaluación estructural más común es la evaluación analítica utilizando los requisitos de las normas vigentes de concreto armado E.030 y E.060. Para determinar la forma de corte, el análisis matemático debe realizarse bajo cargas de gravedad y sísmicas.

2.2.12.1 Albañilería Armada

Gallegos & Casabonne (2005) El principio de la mampostería reforzada es utilizar barras de acero internas como refuerzos horizontales y verticales y además utilizar hormigón líquido para formar los distintos componentes que sostienen la mampostería. También se le conoce como muros armados.

Conte Group (2019) Hoy en día, alrededor del 50% del mercado de proyectos de viviendas y centros comerciales está constituido por albañilería armada, esto se debe a la reducción de tiempos de construcción, un mejor aislamiento térmico, áreas de protección contra incendios y una mejor respuesta sísmica a diferencia de la albañilería confinada.

2.2.12.2 Albañilería Confinada

Chile. Cubica (2015) La albañilería confinada es un piso de ladrillo tradicional o simple, cuyos lados están formados por elementos de concreto armado (por ejemplo, cadenas y columnas), la combinación de estos elementos le da a este tipo de construcción de mampostería una muy buena calidad y durabilidad.

2.2.13. Deterioro Estructural de las Construcciones

Ingenieros y asesores (2023) nos dice que “la integridad estructural y el envejecimiento de las edificaciones y estructuras están estrechamente relacionados.”

La integridad estructural se refiere a la capacidad de una estructura o componente para soportar cargas y realizar su función prevista sin fallar.

La degradación que se produce en las estructuras a lo largo del tiempo se denomina envejecimiento estructural.

La definición del término "deterioro estructural" es: "Una serie de cambios y deterioros de la estructura y de los materiales que la componen que se producen a lo largo del tiempo en un entorno y uso determinado".

El daño estructural es cualquier anomalía, deficiencia o debilidad de la estructura del edificio que comprometa la capacidad de carga, estabilidad y seguridad. También nos dicen que:

Puede ser causado por diversas razones como:

Cargas excesivas, vibraciones, movimientos del suelo, eventos naturales (terremotos, inundaciones), deficiencias en el diseño, construcción o mantenimiento de la estructura.

El envejecimiento se produce por la exposición de la estructura a factores como:

El clima, la humedad, la temperatura, la corrosión, el tráfico, la sobrecarga, la falta de mantenimiento.

Factores como la falta de mantenimiento y la exposición a cargas pesadas pueden acelerar el deterioro de las estructuras, por lo que es importante realizar un mantenimiento regular y adecuado para prevenir el deterioro y detectar problemas tempranamente.

El deterioro en edificios y estructuras se pueden observar de diversas formas, según la naturaleza y la gravedad del problema. Algunos ejemplos comunes son:

- Grietas en paredes, techos o suelos, que indican que la estructura se está desplazando o deformando
- Deformaciones, normalmente resultado de una sobrecarga o una falla en la estructura, pueden incluir pandeo, torsión o flexión.
- Pérdida de capacidad de carga, producida cuando la estructura ya no puede soportar el peso que se supone que debe soportar, debida generalmente a la pérdida de resistencia del material o a una falla en la conexión de los elementos estructurales.
- Corrosión, que degrada a los materiales por exposición a sustancias químicas o al ambiente en general y que puede afectar a la integridad de la estructura, especialmente si son de acero o metal.
- Fallo en juntas, causados por una mala calidad de los materiales o una mala técnica de unión, lo que puede debilitar la estructura.

2.2.14. Ensayos del concreto

Zambrano (2017) Sirven para realizar pruebas en el concreto y de esta manera determinar su resistencia y otras propiedades que se deseen conocer. Se clasifican en:

a. Ensayos destructivos en el concreto

Son pruebas realizadas sobre testigos de concreto, entre estos ensayos tenemos:

- Ensayo de Diamantina.
- Ensayo de resistencia a compresión

- Ensayo a tracción indirecta
- Ensayo de contenido de cloruros (si se analiza una sección de concreto)
- Ensayo del grado de carbonatación (si se analiza una sección de concreto)
- Ensayo de permeabilidad
- Ensayo de humedad
- Ensayo de resistencia a la abrasión

b. Ensayos no destructivos en el concreto

En comparación con las pruebas destructivas, las pruebas no destructivas, no proporcionan datos precisos sobre el estado de la variable que se está evaluando, pero son más económicos porque no implican la destrucción del elemento que se evalúa, algunas de las cuales permiten múltiples iteraciones, en esta prueba tenemos:

- Ensayo con esclerómetro o prueba del Martillo de Rebote.
- Ensayo de líquidos penetrantes.
- Ensayo de partículas magnetizables.
- Ensayo de emisiones acústicas.
- Ensayo de impacto acústico.
- Prueba de carga.

2.2.15. Norma E.030 Diseño sismorresistente

Sencico (2020) Establece condiciones mínimas para el Diseño Sismorresistente en edificaciones.

Si bien no existe una norma nacional específica para embalses, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, puertos, estructuras hidráulicas, túneles y todas aquellas estructuras cuyo comportamiento sísmico difiera al de los edificios, se deben utilizar los valores amplificados de Z y S. A continuación, mencionamos la NTE E.030:

Sistemas Estructurales: Estructuras de Concreto Armado: Todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sismorresistente cumplen con lo previsto en la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

a. Pórticos

Por lo menos el 80 % de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos. En caso se tengan muros estructurales, éstos se diseñan para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez.

b. Muros Estructurales

Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.
Dual

Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros es mayor que 20 % y menor que 70 % del cortante en la base del edificio.

c. Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL)

Edificaciones que se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad está dada por muros de concreto armado de espesores reducidos, en los que se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola capa. Con este sistema se puede construir como máximo ocho pisos.

d. Análisis Estructural

Consideraciones Generales para el Análisis: Para estructuras regulares, el análisis puede hacerse considerando que el total de la fuerza sísmica actúa independientemente en dos direcciones ortogonales predominantes. Para estructuras irregulares se supone que la acción sísmica ocurre en la dirección que resulte más desfavorable para el diseño.

Las solicitaciones sísmicas verticales se consideran en el diseño de los elementos verticales, en elementos horizontales de gran luz, en elementos post o pretensados y en los voladizos o salientes de un edificio. Se considera que la fuerza sísmica vertical actúa en los elementos simultáneamente con la fuerza sísmica horizontal y en el sentido más desfavorable para el análisis...

Modelo para el Análisis: El modelo matemático representa correctamente la distribución espacial de masas en la estructura.

El comportamiento de los elementos es modelado de modo consistente con resultados de ensayos de laboratorio y toma en cuenta la fluencia, la degradación de resistencia, la degradación de rigidez, el estrechamiento de los lazos histeréticos, y todos los aspectos relevantes del comportamiento estructural indicado por los ensayos.

La resistencia de los elementos es obtenida en base a los valores esperados sobre resistencia del material, endurecimiento por deformación y degradación de resistencia por la carga cíclica.

Se permite suponer propiedades lineales para aquellos elementos en los que el análisis demuestre que permanecen en el rango elástico de respuesta.

Se admite considerar un amortiguamiento viscoso equivalente con un valor máximo del 5 % del amortiguamiento crítico, además de la disipación resultante del comportamiento histerético de los elementos.

Se puede suponer que la estructura está empotrada en la base, o alternativamente considerar la flexibilidad del sistema de cimentación si fuera pertinente.

Tratamiento de Resultados: En caso se utilicen por lo menos siete juegos de registros del movimiento del suelo, las fuerzas de diseño, las deformaciones en los elementos y las distorsiones de entrepiso se evalúan a partir de los promedios de los correspondientes resultados máximos obtenidos en los distintos análisis. Si se utilizaran menos de siete juegos de registros, las fuerzas de diseño, las deformaciones y las distorsiones de entrepiso son evaluadas a partir de los máximos valores obtenidos de todos los análisis.

Las distorsiones máximas de entrepiso no exceden de 1,25 veces de los valores indicados.

Las deformaciones en los elementos no exceden de $2/3$ de aquellas para las que perderían la capacidad portante para cargas verticales o para las que se tendría una pérdida de resistencia en exceso a 30 %.

Para verificar la resistencia de los elementos se dividen los resultados del análisis entre $R = 2$, empleándose las normas aplicables a cada material.

2.2.16. Norma E.070 Albañilería

Sencico (2020) Establece requisitos mínimos para el análisis, diseño, materiales, construcción, control de calidad e inspección de edificaciones de mampostería, principalmente armado y confinado. A continuación, mencionamos la NTE E.070: Análisis y Diseño Estructural

Definiciones: Para los propósitos de esta Norma se utilizará las siguientes definiciones:

- sismo severo. Es aquél proporcionado por la NTE E.030 Diseño Sismorresistente, empleando un coeficiente de reducción de la sollicitación sísmica $R = 3$.
- Sismo Moderado. Es aquél que proporciona fuerzas de inercia equivalentes a la mitad de los valores producidos por el “sismo severo”.

a. Consideraciones generales

La Norma establece que el diseño de los muros cubra todo su rango de comportamiento, desde la etapa elástica hasta su probable incursión en el rango inelástico, proveyendo suficiente ductilidad y control de la degradación de resistencia y rigidez. El diseño es por el método de resistencia, con criterios de desempeño. El diseño está orientado, en consecuencia, a proteger a la estructura contra daños ante eventos sísmicos frecuentes (sismo moderado) y a proveer la necesaria resistencia para soportar el sismo severo, conduciendo el tipo de falla y limitando la degradación de resistencia y rigidez con el propósito de limitar el nivel de daños en los muros, de manera que éstos sean económicamente reparables mediante procedimientos sencillos.

Para los propósitos de esta Norma, se establece los siguientes considerandos:

- El “sismo moderado” no debe producir la fisuración de ningún muro portante.
- Los elementos de acoplamiento entre muros deben funcionar como una primera línea de resistencia sísmica, disipando energía antes de que fallen los muros de albañilería, por lo que esos elementos deberán conducirse hacia una falla dúctil por flexión.
- El límite máximo de la distorsión angular ante la acción del “sismo severo” se fija en $1/200$, para permitir que el muro sea reparable pasado el evento sísmico.
- Los muros deben ser diseñados por capacidad de tal modo que puedan soportar la carga asociada a su incursión inelástica, y que proporcionen al edificio una resistencia a corte mayor o igual que la carga producida por el “sismo severo”.

- Se asume que la forma de falla de los muros confinados ante la acción del “sismo severo” será por corte, independientemente de su esbeltez.
- La forma de falla de los muros armados es dependiente de su esbeltez. Los procedimientos de diseño indicados en 8,7 tienden a orientar el comportamiento de los muros hacia una falla por flexión, con la formación de rótulas plásticas en su parte baja.

b. Análisis estructural

El análisis estructural de los edificios de albañilería se realizará por métodos elásticos teniendo en cuenta los efectos causados por las cargas muertas, las cargas vivas y el sismo. La carga gravitacional para cada muro podrá ser obtenida por cualquier método racional.

La determinación del cortante basal y su distribución en elevación, se hará de acuerdo a lo indicado en la NTE E.030 Diseño Sismorresistente.

El análisis considerará las características del diafragma que forman las losas de techo; se deberá considerar el efecto que sobre la rigidez del diafragma tienen las aberturas y las discontinuidades en la losa.

El análisis considerará la participación de aquellos muros no portantes que no hayan sido aislados de la estructura principal. Cuando los muros se construyan integralmente con el alféizar, el efecto de éste deberá considerarse en el análisis.

La distribución de la fuerza cortante en planta se hará teniendo en cuenta las torsiones existentes y reglamentarias. La rigidez de cada muro podrá determinarse suponiéndolo en voladizo cuando no existan vigas de acoplamiento, y se considerará acoplado cuando existan vigas de acoplamiento diseñadas para comportarse dúctilmente.

Para el cálculo de la rigidez de los muros, se agregará a su sección transversal el 25 % de la sección transversal de aquellos muros que concurren ortogonalmente al muro en análisis o 6 veces su espesor, lo que sea mayor. Cuando un muro transversal concorra a dos muros, su contribución a cada muro no excederá de la mitad de su longitud. La rigidez lateral de un muro confinado deberá evaluarse transformando el concreto de sus columnas de confinamiento en área equivalente de albañilería, multiplicando su espesor real por la relación de módulos de elasticidad E_c/E_m ; el centroide de dicha área equivalente coincidirá con el de la columna de confinamiento.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Albañilería

“Material estructural compuesto por unidades de albañilería asentadas con mortero, en cuyo caso son integradas con concreto líquido” (Colque y Oquendo, 2017).

2.3.2. Albañilería Armada

“La albañilería armada es un sistema de construcción en el cual se utilizan ladrillos, bloques u otros elementos de albañilería como componentes estructurales, pero se refuerzan con barras de acero o malla de alambre incrustadas en las juntas de mortero o colocadas estratégicamente en la estructura para aumentar su resistencia y capacidad de carga” (Wikipedia, 2023)

2.3.3. Deformaciones

“Desplazamientos que se producen dentro de la forma debido a cualquier situación de carga” (Calle, 2017).

2.3.4. Desprendimientos

“Deterioro del hormigón o armadura por corrosión, ya sea por falta de revestimiento o por falta de protección del hormigón por revestimiento. Cuando se oxida, ejerce presión sobre el revestimiento y lo agrieta” (Jiménez Cáceres, 2018).

2.3.5. Esclerómetro

“Es un instrumento que nos permite estimar aproximadamente la resistencia a compresión simple de una roca (concreto) mediante el rebote que produce el muelle que se aloja en su interior después de un impacto sobre una superficie rocosa”. (Geotecniafacil, 2019)

2.3.6. Edificio multifamiliar

“Es una estructura de viviendas diseñada para albergar a múltiples familias o hogares en unidades de vivienda independientes en un mismo edificio. Estas unidades de vivienda suelen estar conectadas físicamente, compartiendo paredes, techos o suelos, y se distribuyen en diferentes pisos o niveles dentro del edificio” (Urbanía, 2023)

2.3.7. Evaluación sísmica

“La evaluación sísmica es un proceso sistemático y científico que se utiliza para determinar el grado de vulnerabilidad de una estructura o edificio ante la acción de un terremoto o sismo. Su objetivo principal es evaluar cómo un edificio o infraestructura podría comportarse durante un evento sísmico” (Vizconde, 2004).

2.3.8. Fisuras

“La separación incompleta entre dos o más partes, con o sin espacios, se denomina fisura. Se identifica con los siguientes adjetivos según su dirección, ancho y profundidad: vertical, horizontal, vertical, diagonal o aleatorio” (Construpedia, 2019).

2.3.9. Reforzamiento estructural

“Usos, técnicas y métodos de diferentes materiales para fortalecer estructuras para prevenir futuros accidentes” (Nicasio & Oquendo, 2017).

2.3.10. Resistencia

“Energía máxima alcanzada por una muestra de hormigón o mortero sometida a una carga axial” (Aldana & Pilco, 2020).

2.3.11. Rigidez

“La rigidez de las estructuras es la propiedad que tiene un elemento estructural para oponerse a las deformaciones o, dicho de otra manera, la capacidad de soportar cargas sin deformarse o desplazarse excesivamente” (360enconcreto, 2020).

2.3.12. 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” (Enríquez, 2018).

2.3.13. Vulnerabilidad Estructural

“La vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad o fragilidad de un edificio, estructura o componente a sufrir daños significativos o colapsar debido a la acción de fuerzas externas, como terremotos, sismos, vientos fuertes o eventos extremos”. (Vizconde, 2004).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

El presente trabajo es de diseño transversal, no experimental. Toda vez que la observación se realiza en el entorno, recopilándose los datos en un momento específico sin manipulación de las variables, ver Anexo 1.

3.2. Acciones y actividades

El presente trabajo de investigación busca responder a la interrogante principal de nuestro problema que es ¿Cuál es la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio multifamiliar Pacocha H53 en Ilo, en el año 2023, mediante la aplicación de la NTE E.030 (Diseño Sismorresistente) y proponer recomendaciones de mitigación para mejorar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos?

- Por ello en esta investigación desarrollaremos las siguientes actividades:
- Levantamiento del edificio multifamiliar Pacocha H53.
- Inspección visual y toma de medidas de los elementos estructurales.
- Medición de la resistencia a compresión de los elementos estructurales.
- Modelado estructural y verificación de la resistencia ante sismos.
- Comparación de datos obtenidos con los mínimos requeridos por las normativas E. 030 y E 070.
- Planteamiento de propuestas de mejora.

La investigación es de tipo aplicada y de nivel explicativo.

3.2.1. Recopilación de información

Los planos de la edificación fueron solicitados por un propietario a la Municipalidad de Pacocha, por lo que tanto el modelado como dibujo de planos son mérito propio.

3.2.2. Inspección de campo y toma de datos

Previo a los cálculos efectuados en la presente investigación, se realizó una debida inspección visual por 02 motivos: (1) para evaluar visualmente cualquier daño o deterioro propio del tiempo o exposición a sollicitaciones sísmicas y (2) para determinar ubicación de puntos de ensayo. A continuación, se muestra un resumido panel fotográfico de los principales hallazgos, ver Fig. 4, 5, 6 y 7.

Figura 4

Inspección visual de condiciones existentes, porosidad leve en muros



Figura 5

Inspección visual de condiciones existentes, principales elementos estructurales



Figura 6

Inspección visual de condiciones existentes, desgaste de pintura propio de la humedad y el tiempo

**Figura 7**

Inspección visual de condiciones existentes, vista interior de elementos



3.3. Materiales e instrumentos

3.3.1. Técnicas

Las técnicas empleadas en la presente investigación son:

- Observación.
- Análisis documental

3.3.2. Descripción de los Instrumentos

Observación: Se aplica para observar todo lo relacionado con las deficiencias post sismo en la vivienda analizada, con la finalidad de detectar y analizar los eventos que la afectan, para determinar los impactos ocasionados en la vivienda unifamiliar y en la vida del poblador de la provincia de Ilo, Pacocha.

Revisión Documental: Se revisó las fuentes de páginas web, tesis, artículos, etc. orientadas al tema para lograr un fundamento en la investigación del presente estudio.

3.4. Población y muestra de estudio

3.4.1. Población

La población, compuesta por los edificios multifamiliares de albañilería armada construidos en 1980 en la ciudad de Ilo, Perú. Específicamente, se enfoca en aquellos edificios que se encuentran en áreas sísmicamente activas y que han sido expuestos a eventos sísmicos previos, como los sismos mencionados anteriormente (sismo de Arequipa de 2001, sismo de Ica de 2007 y sismo de Tacna de 2005).

3.4.2. Muestra

Se utilizó el método probabilístico aleatorio para poder delimitar una muestra y realizar la investigación. G. Arias (2012) dice que “La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”

En la presente investigación, la muestra es una parte representativa de la población que se selecciona para realizar el estudio. En este caso, la muestra consistirá en un edificio multifamiliar de albañilería armada construido en 1980 en Ilo, Perú. Se seleccionará un edificio específico que cumpla con los criterios de inclusión, como la ubicación geográfica, la antigüedad de construcción y la disponibilidad para la realización de las evaluaciones y mejoras propuestas.

Para seleccionar la muestra de edificios multifamiliares de albañilería armada construidos en 1980 en Ilo, Perú, se utilizó un enfoque de muestreo aleatorio estratificado. Lo cual implica dividir la población en diferentes estratos o grupos homogéneos que contengan características relevantes, y seleccionar aleatoriamente una muestra de cada grupo.

3.5. Operacionalización de variables

Variable independiente:

“Evaluación sísmica y propuestas de mejora.”

Variable dependiente:

“Vulnerabilidad ante sismos.”

Tabla 1

Operacionalización de variables

| Variable | Definición Conceptual | Dimensiones | Indicador | Escala | Técnicas o métodos |
|--|--|---------------------|---|--|---|
| Evaluación sísmica y propuestas de mejoras | proceso sistemático utilizado para determinar la vulnerabilidad de una edificación ante un sismo Vizconde (2004) | Evaluación sísmica | Sistema estructural | Albañilería armada | Observación y revisión documental |
| | | | Factor de zona | Zona 1, 2,3 o 4 | |
| Vulnerabilidad ante sismos | Poca resistencia de la estructura a movimientos sísmicos Mena (2002) | Propuesta de mejora | Uso. | Categoría A, B o C | Ensayo de esclerometría. |
| | | | Tipo de suelo. | S1, S2, S3 o S4 | |
| | | | Número de pisos | Tres pisos | |
| Vulnerabilidad ante sismos | Poca resistencia de la estructura a movimientos sísmicos Mena (2002) | Propiedad de mejora | Resultados | Vulnerabilidad | Modelamiento en software Etabs e inspección visual. |
| | | | Dimensiones de los elementos estructurales. | Distorsión máxima, menor a 0,005. | |
| | | | Grietas o fisuras en los elementos estructurales. | Aspecto visual poco o no deteriorado | |
| Vulnerabilidad ante sismos | Poca resistencia de la estructura a movimientos sísmicos Mena (2002) | Propiedad de mejora | Propiedades mecánicas de los elementos estructurales. Respuesta ante sismos en un modelado estructural. | Densidad de muros mayor o igual a 0,023625 | Comparativa de resultados de software Etabs con las normas E.030 y análisis de inspección visual. |
| | | | Cumplimiento de la NTE E.030. | | |

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Se identificó la estructura motivo de estudio, la misma que se encuentra ubicada en la ciudad de Ilo y es un edificio multifamiliar cuya estructura tiene una antigüedad de más de 40 años.

Se recopiló la información necesaria y se procedió a la inspección de campo y toma de datos, primeramente se realizó el levantamiento del edificio multifamiliar Pacocha H53, luego la inspección visual, toma de medidas estructurales, medición de resistencia, modelado y verificación de comportamiento sísmico.

Finalmente, se compararon los datos obtenidos con las normas E30 y E70, utilizándose para los resultados el programa ETABS vs 20.0.0 (Extended 3D Analysis of Building Systems).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Para el análisis del edificio se empleó el programa ETABS vs 20.0.0 (Extended 3D Analysis of Building Systems).

4.1. Datos utilizados

La edificación se encuentra en la ciudad de Ilo, por lo que se considerará un factor de zona Z4. Ver Tabla 2 y 3.

El suelo en el que fue construida la edificación es del tipo S2, suelos intermedios, ya que se encuentra en el distrito de Pacocha el cual, según la evaluación de peligros de la ciudad de Ilo elaborada por el SIGRID está constituido por lechos aluviales y es considerado como tipo II.

La categoría que le corresponde a la edificación es C, edificaciones comunes, ya que se trata de un conjunto de apartamentos, por lo tanto, le corresponde un factor de uso 1 (referido a las ecuaciones 1, 2 y 3).

El coeficiente de reducción R que le corresponde a la edificación es 3 ya que posee principalmente muros de albañilería armada.

Tabla 2

Factor de suelo "S"

| Suelo | So | S1 | S2 | S3 |
|-------|------|------|------|------|
| Zona | | | | |
| Z4 | 0,80 | 1,00 | 1,05 | 1,10 |
| Z3 | 0,80 | 1,00 | 1,15 | 1,20 |
| Z2 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,40 |
| Z1 | 0,80 | 1,00 | 1,60 | 2,00 |

Nota. Adaptado del Artículo 13 de la Norma E.030.

Tabla 3

Periodos "Tp" y "TL" según perfil de suelo

| | So | S1 | S2 | S3 |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| Tp (s) | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 1,0 |
| TL (s) | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,6 |

Nota. Adaptado del Artículo 13 de la Norma E.030.

Las ecuaciones 1, 2 y 3 muestran las consideraciones y valores de “C” según la norma E.030.

$$T < T_p \quad C = 2,5 \quad (1)$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2,5 * \left(\frac{T_p}{T}\right) \quad (2)$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right) \quad (3)$$

Con esto tenemos:

- Número de pisos $n = 3$
- Factor de suelo: $S = 1,05$ (Suelo tipo 2)
- Factor de Zona: $Z = 0,45$ (Zona 4)
- Coeficiente de reducción $R_x = 3$ (muros de albañilería armada, estructura regular)
- Periodo de la plataforma $T_p = 0,6$ s.
- Periodo que define el inicio de la zona del factor C $T_L = 2$ s.
- Coeficiente de reducción $R_y = 3$ (muros de albañilería armada, estructura regular)
- Factor de Uso: $U = 1$ (vivienda)

La resistencia a compresión del concreto para vigas y losa es de 175 kg/cm^2 , dato obtenido del ensayo con esclerómetro realizado in situ. El módulo de elasticidad se calculará según la norma E030 con la ecuación $E_c = 15000(f'c)^{(1/2)}$, teniendo como resultado $198431.35 \text{ kg/cm}^2$

La resistencia f'_m de los muros de albañilería armada será considerada como 85 kg/cm^2 (mínimo requerido por la norma E070. El módulo de elasticidad se calculará según la norma E070 con la ecuación $E_m = 700f'_m$, teniendo como resultado 59500 kg/cm^2 .

4.2. Verificación de la densidad de muros reforzados

Se realizó una verificación de la densidad de muros reforzados en la edificación. Ver Figura 8.

Figura 8

Enumeración de los muros considerados como contribuyentes



Nota. De verde se pueden apreciar los muros considerados para el eje X y de rojo los muros considerados para el eje Y.

Solo se consideraron como contribuyentes los muros con una longitud mayor o igual a 1,20 metros tal y como indica el artículo 57 de la norma E 070.

Para determinar si la edificación cumple con lo mínimo requerido por la norma E 070 se utilizaron las ecuaciones proporcionadas por la misma (referido a las ecuaciones 4 y 5).

La ecuación 4 muestra cómo hallar el espesor mínimo de muros.

$$t \geq \frac{h}{20} \quad (4)$$

La ecuación 5 muestra cómo hallar la densidad mínima de muros.

$$\frac{ZUSN}{60} \quad (5)$$

Entonces, procedemos como se muestra a continuación:

$$\frac{ZUSN}{60} = \frac{0.45 * 1 * 1.05 * 3}{60} = 0,023625$$

$$\text{Área en planta} = 40.40 * 9.61 = 388,244 \text{ m}^2$$

Tabla 4

Área de muros portantes en el eje X

| | Lx | t | L*t |
|----|------|------|--------|
| 1 | 1,35 | 0,19 | 0,2565 |
| 2 | 1,7 | 0,19 | 0,323 |
| 3 | 1,6 | 0,19 | 0,304 |
| 4 | 2,5 | 0,19 | 0,475 |
| 5 | 1,6 | 0,19 | 0,304 |
| 6 | 1,7 | 0,19 | 0,323 |
| 7 | 1,35 | 0,19 | 0,2565 |
| 8 | 2,55 | 0,14 | 0,357 |
| 9 | 2,5 | 0,14 | 0,35 |
| 10 | 4,3 | 0,14 | 0,602 |
| 11 | 2,45 | 0,14 | 0,343 |
| 12 | 4,8 | 0,14 | 0,672 |
| 13 | 2,45 | 0,14 | 0,343 |
| 14 | 4,3 | 0,14 | 0,602 |
| 15 | 2,5 | 0,14 | 0,35 |
| 16 | 2,55 | 0,14 | 0,357 |
| 17 | 2,5 | 0,19 | 0,475 |
| 18 | 2,45 | 0,19 | 0,4655 |
| 19 | 2,45 | 0,19 | 0,4655 |
| 20 | 2,5 | 0,19 | 0,475 |
| 21 | 1,35 | 0,19 | 0,2565 |
| 22 | 2,1 | 0,19 | 0,399 |
| 23 | 2,5 | 0,19 | 0,475 |
| 24 | 2,1 | 0,19 | 0,399 |
| 25 | 1,35 | 0,19 | 0,2565 |
| | | | 9,885 |

$$\frac{\sum L * t}{Ap} = \frac{9,885}{388,244} = 0,02546 \geq 0,023625$$

El edificio **cumple** con la densidad de muros mínima en el eje X, tal como se aprecia en la Tabla 4.

Tabla 5*Área de muros portantes en el eje Y*

| | Ly | t | L*t |
|----|-----------|----------|------------|
| 1 | 9,61 | 0,19 | 1,8259 |
| 2 | 4,25 | 0,19 | 0,8075 |
| 3 | 4,25 | 0,19 | 0,8075 |
| 4 | 4,85 | 0,19 | 0,9215 |
| 5 | 1,95 | 0,19 | 0,3705 |
| 6 | 9,61 | 0,19 | 1,8259 |
| 7 | 4,85 | 0,19 | 0,9215 |
| 8 | 1,95 | 0,19 | 0,3705 |
| 9 | 4,25 | 0,19 | 0,8075 |
| 10 | 4,25 | 0,19 | 0,8075 |
| 11 | 9,61 | 0,19 | 1,8259 |
| 12 | 4,25 | 0,19 | 0,8075 |
| 13 | 4,25 | 0,19 | 0,8075 |
| 14 | 4,85 | 0,19 | 0,9215 |
| 15 | 1,95 | 0,19 | 0,3705 |
| 16 | 9,61 | 0,19 | 1,8259 |
| 17 | 4,85 | 0,19 | 0,9215 |
| 18 | 1,95 | 0,19 | 0,3705 |
| 19 | 4,25 | 0,19 | 0,8075 |
| 20 | 4,25 | 0,19 | 0,8075 |
| 21 | 9,61 | 0,19 | 1,8259 |
| | | | 20,7575 |

$$\frac{\sum L * t}{Ap} = \frac{20,7575}{388,244} = 0,05347 \geq 0,023625$$

El edificio **cumple** con la densidad de muros mínima en el eje Y, tal como se aprecia en la Tabla 5.

Debemos notar que la densidad de muros del eje Y es más del doble que la densidad de muros del eje X, cuando la norma E070 nos especifica en el apartado 56,4 que la densidad de muro debe ser similar en las dos direcciones principales de la edificación.

4.3. Modelamiento en Etabs

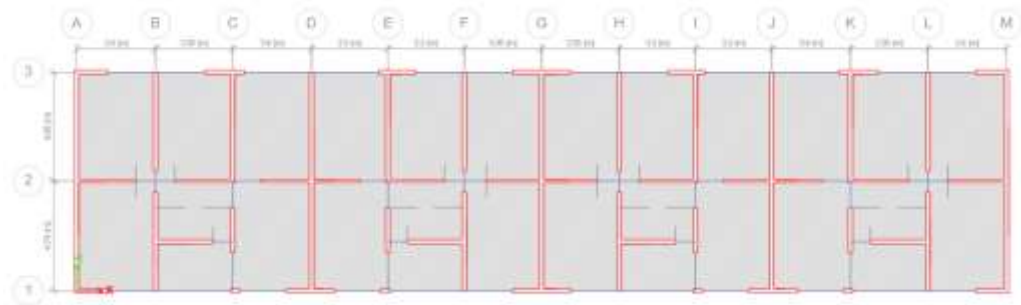
Los muros de albañilería armada a considerar tienen espesores de 14 y 19 cm (basados en las unidades comerciales disponibles). Ver Figura 9, 10, 11 y 12.

La losa tiene un espesor de 20 cm.

Las vigas no son peraltadas ni sobresalen, por lo que coinciden con el espesor del muro y la altura de la losa, siendo estas de 14x20cm y 19x20cm, ver distribución en Anexo 3.

Figura 9

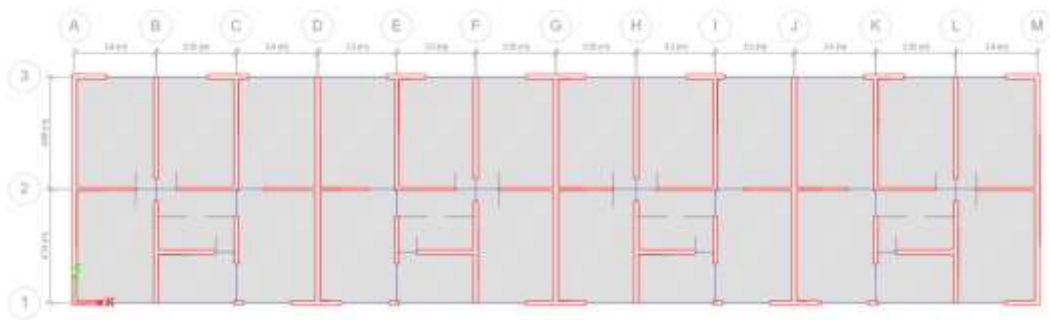
Vista en planta del primer piso



Nota. Modelamiento elaborado en el programa Etabs.

Figura 10

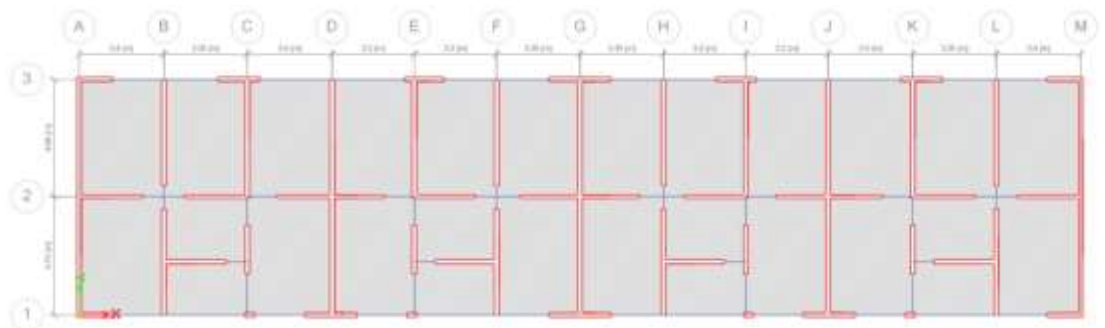
Vista en planta del segundo piso



Nota. Modelamiento elaborado en el programa Etabs.

Figura 11

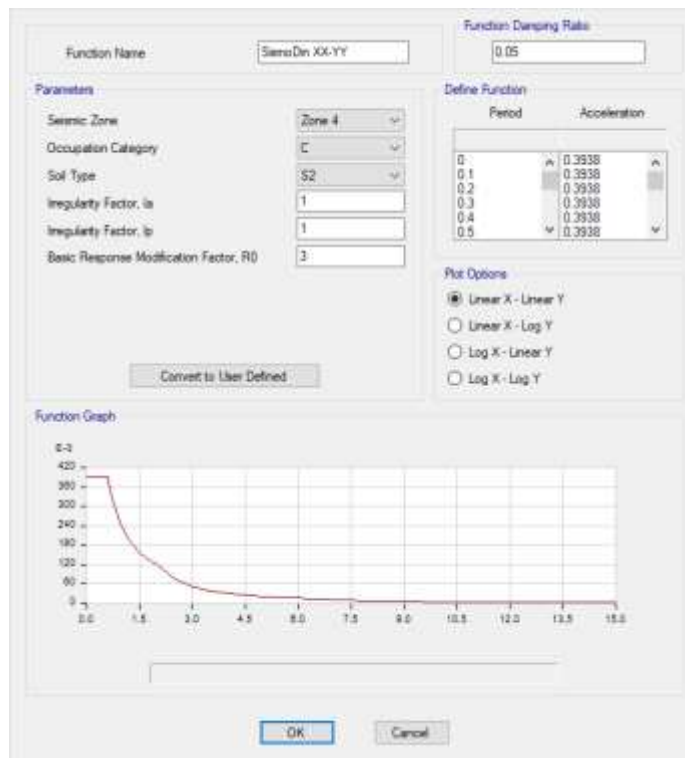
Vista en planta del tercer piso



Nota. Modelamiento elaborado en el programa Etabs.

Figura 12

Espectro de respuesta en el eje XX y YY



Nota. Obtenido del programa Etabs.

Para efectos del análisis, las masas de los elementos modelados (muros portantes y vigas) fueron calculados con el programa ETABS, por otro lado para las masas de los demás elementos se utilizó los siguientes valores:

CARGAS MUERTAS:

| | | |
|--------------------------------------|---|-----------------------|
| Peso de los acabados | : | 100 Kg/m ² |
| Peso de losa aligerada bidireccional | : | 350Kg/m ² |
| Peso de tabiquería | : | 1350Kg/m ³ |

CARGAS VIVAS:

| | | |
|----------|---|----------------------|
| Vivienda | : | 200Kg/m ² |
| Techo | : | 100Kg/m ² |

Cabe recalcar que, durante el análisis sísmico, las cargas vivas fueron consideradas al 25 % de su totalidad, de acuerdo a la NTE E.030.

4.4. Periodos y modos de vibración

Con estos datos y con las secciones de los elementos estructurales, podemos determinar los modos de vibración.

Se determinaron 9 modos de vibración. En la tabla 6 podemos observar, el periodo fundamental el cual se presenta en la dirección X-X y es 0,184 segundos, para el eje Y-Y se tiene un valor de 0,083 segundos.

Tabla 6

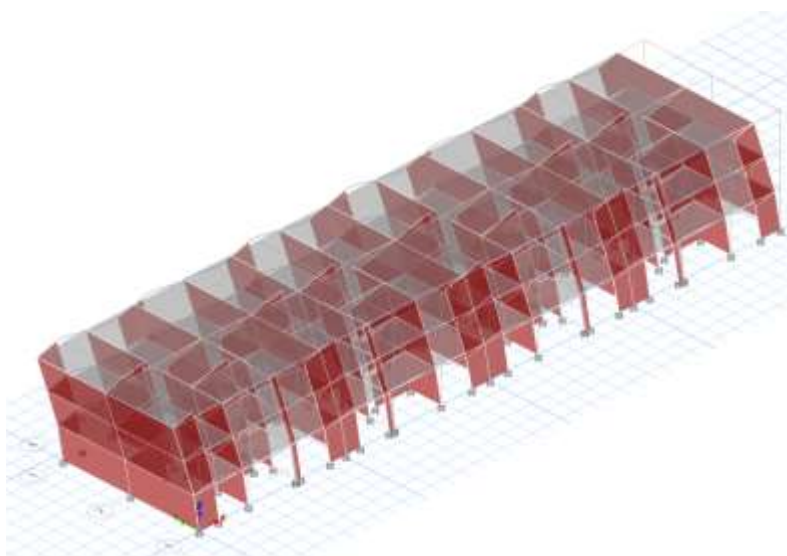
Periodos y modos de vibración obtenidos de ETABS

| Case | Mode | Period sec | UX | UY | SumUX | SumUY | RZ | SumRZ |
|-------|------|---------------|----------|----------|--------|--------|----------|----------|
| Modal | 1 | 0,184 | 0,7672 | 0 | 0,7672 | 0 | 2,71E-05 | 2,71E-05 |
| Modal | 2 | 0,083 | 0 | 0,8306 | 0,7672 | 0,8306 | 0 | 2,71E-05 |
| Modal | 3 | 0,079 | 9,62E-06 | 0 | 0,7672 | 0,8306 | 0,8354 | 0,8354 |
| Modal | 4 | 0,046 | 0,1954 | 0,00E+00 | 0,9627 | 0,8306 | 0,00E+00 | 0,8354 |
| Modal | 5 | 0,027 | 0 | 0,1485 | 0,9627 | 0,9791 | 0 | 0,8354 |
| Modal | 6 | 0,025 | 7,06E-07 | 0 | 0,9627 | 0,9791 | 0,1445 | 0,9799 |
| Modal | 7 | 0,024 | 0,0373 | 0,00E+00 | 1 | 0,9791 | 4,25E-05 | 0,9799 |
| Modal | 8 | 0,016 | 0 | 0,0209 | 1 | 1 | 0 | 0,9799 |
| Modal | 9 | 0,015 | 1,38E-05 | 0 | 1 | 1 | 0,0201 | 1 |

En las Figuras 13 y 14, podemos apreciar que el primer modo pertenece al eje X, mientras que el segundo al eje Y.

Figura 13

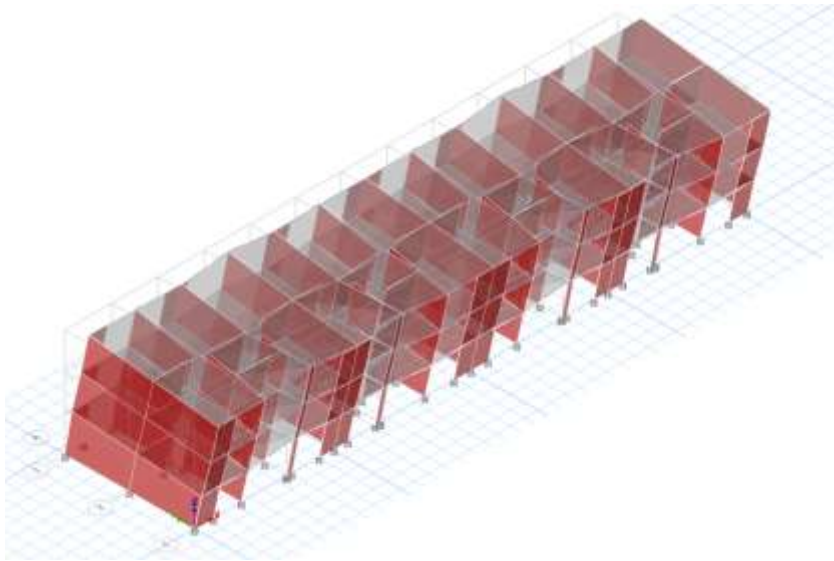
Vista del modo 1, T= 0,184 segundos, en el eje X-X



Nota. Obtenido del programa Etabs.

Figura 14

Vista del modo 2, $T=0,083$ segundos, en el eje Y-Y



Nota. Obtenido del programa Etabs.

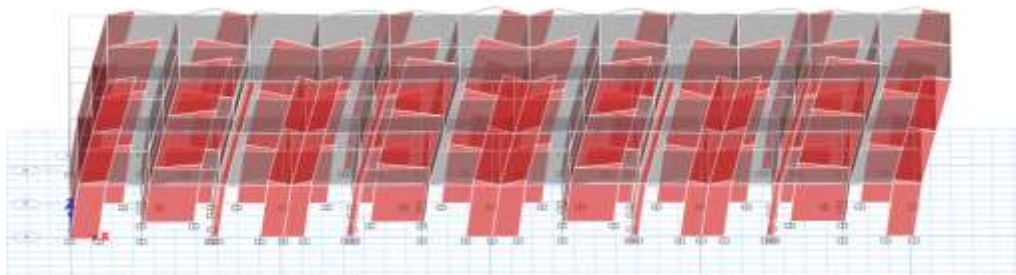
4.5. Desplazamientos y distorsiones

De acuerdo a la normativa actual, las distorsiones obtenidas en cada dirección de análisis, deben ser amplificadas por 0,75R para el caso de estructuras regulares y 0,85R para estructuras irregulares.

En las Tablas 7 y 8 se pueden apreciar las distorsiones obtenidas de acuerdo a la NTE E.030. Asimismo, las Figuras 15 y 16 muestran una vista de los desplazamientos presentados en los ejes X e Y respectivamente.

Figura 15

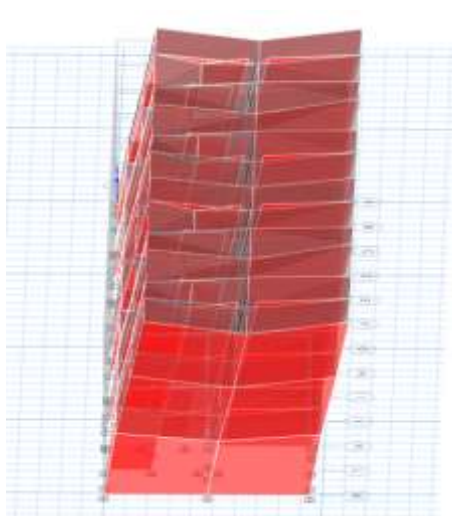
Desplazamiento en el eje X-X



Nota. Obtenido del programa Etabs.

Tabla 7*Distorsiones de entrepiso en el eje X-X*

| Story | Output Case | Step Type | Direction | Drift | Drift *0,75*R |
|--------|-------------|-----------|-----------|----------|---------------|
| Story3 | SISMOXX Din | Max | X | 0,000697 | 0,00157 |
| Story2 | SISMOXX Din | Max | X | 0,000667 | 0,00150 |
| Story1 | SISMOXX Din | Max | X | 0,000367 | 0,00083 |

Figura 16*Desplazamiento en el eje Y-Y*

Nota. Obtenido del programa Etabs.

Tabla 8*Distorsiones de entrepiso en el eje Y-Y*

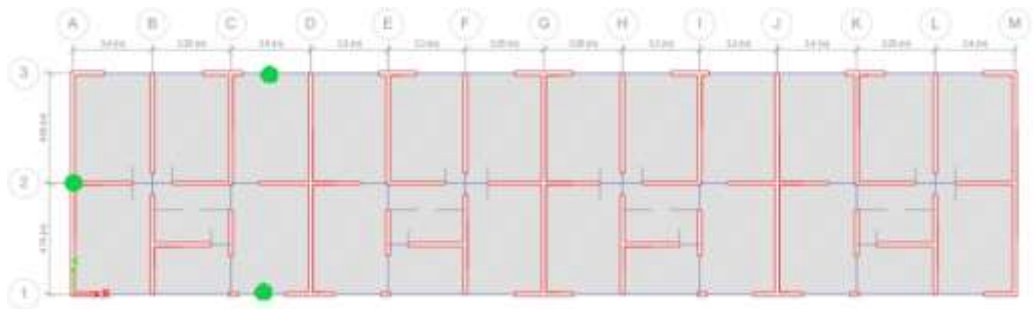
| Story | Output Case | Step Type | Direction | Drift | Drift *0,75*R |
|--------|-------------|-----------|-----------|----------|---------------|
| Story3 | SISMOYY | Max | Y | 0,000114 | 0,00026 |
| Story2 | SISMOYY | Max | Y | 0,000132 | 0,00030 |
| Story1 | SISMOYY | Max | Y | 0,000102 | 0,00023 |

Como se aprecia en las tablas 7 y 8, las distorsiones obtenidas son menores a 0,005, que se encuentra dentro de lo permitido por la Norma E.030 para el caso de edificaciones de albañilería; concluyéndose que la rigidez en las direcciones X e Y es suficiente para soportar cargas sísmicas.

Para el ensayo de esclerometría según la NTP 339.181 primero se identificó los puntos a evaluar como se puede observar en la Figura 17.

Figura 17

Croquis con puntos de evaluación para ejecutar el ensayo



Nota. Obtenido del programa Etabs.

En cada punto se procedió a dividir en 12 partes, de las 12 lecturas obtenidas se descartaron las 2 más lejanas a la mediana y finalmente, se promediaron los datos obteniendo resultados con mayor precisión y cercanos a la realidad. Dicho procedimiento se hizo para los 03 puntos de evaluación, ver Figura 18, 19, 20, 21 y Anexo 2.

Figura 18

Ejemplo de punto de evaluación dividido en doce partes iguales



La ubicación de los puntos puede ser observada en las siguientes imágenes para un mejor entendimiento. Con cinta aislante, se marcaron.

Figura 19

Ubicación de Punto "A" en fachada del departamento

**Figura 20**

Ubicación de Punto "B" en parte lateral del departamento



Figura 21

Ubicación de Punto "C" en parte posterior del departamento



Finalmente, se obtuvieron las siguientes lecturas para el valor R del esclerómetro, ver Tabla 9 y 10.

Tabla 9

Medición tomada por el esclerómetro en cada punto y cuadrícula

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Punto A | 45 | 40 | 45 | 45 | 45 | 50 | 45 | 42 | 41 | 42 |
| Punto B | 42 | 46 | 40 | 44 | 46 | 42 | 44 | 45 | 47 | 47 |
| Punto C | 46 | 44 | 38 | 42 | 40 | 38 | 38 | 40 | 41 | 47 |

Tabla 10

Resultados producto de ensayo con esclerómetro en elementos estructurales

| | Promedio | Desviación | Promedio - Desviación | Psi | kg/cm ² |
|---------------------------------|----------|------------|--------------------------|------|--------------------|
| Punto A | 44 | 2,87 | 41,13 | 5200 | 366 |
| Punto B | 44,3 | 2,36 | 41,94 | 5500 | 387 |
| Punto C | 41,4 | 3,31 | 38,09 | 4500 | 316 |
| Promedio final de los 3 puntos. | | | | | 356 |

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

A diferencia de Serrano (2018) en su tesis denominada “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de ingeniería de la universidad Señor de Sipán, actualizada a la norma E-030”, Chumpitaz (2018) en su tesis denominada “Vulnerabilidad sísmica en viviendas informales en el centro poblado de Manzanares, distrito de Huacho 2018”, y Arévalo (2020) en su tesis denominada “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones en el A.H. San José, distrito de San Martín de Porres”; podemos determinar que el presente caso de estudio difiere de los mencionados en el sentido que sí obtuvimos resultados favorables, afirmando que la estructura no es vulnerable ante la sismicidad a la que se encuentra expuesta.

Asimismo, dentro de la zona de estudio de la presente tesis, Mamani (2022) en su investigación “Estudio de la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales de los sectores IV y VI del distrito Alto de La Alianza-Tacna”, Mamani y Philco (2021) presentan la tesis denominada “Vulnerabilidad sísmica en las edificaciones escolares públicas del distrito de Ciudad Nueva Tacna 2021”, Quispe y Mamani (2021) presentan la tesis denominada “Evaluación sísmica visual rápida por el método fema 154 de los pabellones del Campus Capanique 1 de la Universidad Privada de Tacna, 2021”, donde únicamente Mamani y Philco obtienen mayoría de resultados favorables determinando que la respuesta sísmica de las estructuras que formaron parte de su muestra, siendo que el presente caso de estudio de suma a uno de los pocos donde la estructura cumple con lo esperado considerando el tiempo transcurrido (antigüedad) y los parámetros establecidos por las normas.

Dichos resultados, de manera independiente son alentadores, a diferencia de si los viésemos como algo global. Ello debido a que lamentablemente la mayoría de las estructuras estudiadas no han sido debidamente diseñadas y no cumplen con la respuesta sísmica esperada. Esperamos así que esta investigación logre contribuir como base a futuros profesionales que deseen estudiar estructuras similares y, en general, para determinar qué tan vulnerables son realmente ante sismos. No contamos con antecedentes que estudien sistemas estructurales de albañilería armada, sin embargo, los resultados obtenidos hablan muy bien de su desempeño ante sismos, determinando que la muestra de esta tesis no es vulnerable ante sismos y cumple con lo establecido por la NTE E.030 y NTE E.070.

No obstante, es importante considerar qué propuestas de mejora podrían haberse planteado en caso de que se hubieran identificado deficiencias. Estas propuestas podrían haber incluido la implementación de refuerzos estructurales, la mejora de la calidad de los materiales, la actualización del diseño sísmico o la adición de sistemas de amortiguación sísmica, entre otras medidas, según la naturaleza y gravedad de las deficiencias identificadas. La planificación y ejecución de tales mejoras serían esenciales para fortalecer la capacidad de resistencia sísmica del edificio y garantizar la seguridad de sus ocupantes en caso de futuros eventos sísmicos.

CONCLUSIONES

Luego de evaluar la vulnerabilidad ante sismos del edificio multifamiliar Pacocha H53, el cual utiliza el sistema de albañilería armada y fue construido en 1980 podemos concluir que no es vulnerable ya que no presenta daños estructurales y cumple con todos los parámetros requeridos por las normativas actuales. Es por este mismo motivo que no se requieren plantear propuestas de mejoras estructurales.

Se realizó satisfactoriamente el levantamiento del edificio multifamiliar Pacocha H53 donde se empezó por inspecciones visuales del edificio y solo se encontraron porosidades y desgastes en la pintura propios de la humedad y el tiempo, en cuando a los elementos estructurales no se encontró nada que pueda considerarse dañino para su integridad funcional. Al realizar las mediciones de los elementos estructurales encontramos que el edificio está compuesto por muros de albañilería con espesores de 20 cm y 15 cm, además de vigas y losa de 20 cm de espesor. No se logró encontrar información respecto al tipo de unidades utilizadas para los muros de albañilería armada por lo que se optó por considerar unidades de concreto ya que son las más comunes, y un grout de resistencia 140 kg/cm^2 el cual es el mínimo considerado por la norma E.070, en cuanto al concreto utilizado para vigas y losa se realizó un ensayo de esclerometría para determinar su resistencia a la compresión en el cual se obtuvo un resultado de 356 kg/cm^2 , superior a los 175 kg/cm^2 exigidos como mínimo en la norma E.070.

Se realizó un análisis del comportamiento que tendría el edificio multifamiliar frente a sismos aplicando la normativa E.030 en el programa Etabs V20. Se determinó que el primer modo de vibración pertenece al eje X-X con un valor de 0,184 segundos. En cuanto a distorsiones, se obtuvo un valor máximo de 0,00157 en el eje X y de 0,0003 en el eje Y, ambos muy por debajo del máximo permitido por la norma E.030 que es 0,005. Con estos datos pudimos concluir que la edificación es capaz de resistir sismos severos ya que cumple con las exigencias de las normativas.

Debido a que el edificio no presenta problemas estructurales físicos ni en su diseño, no se tienen propuestas de mejoras estructurales.

RECOMENDACIONES

A los estudiantes de pregrado de Ingeniería Civil, mantenerse en constante actualización respecto al Reglamento Nacional de Edificaciones (E.030) a fin de formarse como profesionales capacitados en cuanto a parámetros sísmicos para realizar análisis sísmicos certeros.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, continuar con la enseñanza de uso de software en coherencia con la normativa vigente, para asegurar que futuros profesionales sean capaces de evaluar sísmicamente edificaciones destinadas a vivienda y así también actualizar a los estudiantes en los últimos avances respecto a evaluaciones sísmicas.

A profesionales de Ingeniería Civil encargados del diseño de edificaciones destinadas a vivienda, de ser factible, se les recomienda optar por sugerir sistemas de albañilería armada dado que, pese al paso del tiempo, continúan siendo sismorresistentes. Ello para garantizar la integridad de las personas que ocupen la estructura en zonas altamente sísmicas.

A las municipalidades, se recomienda realizar revisiones exhaustivas de los diseños de viviendas a fin de asegurar que cumplen con los parámetros sísmicos de las normas vigentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Chanini, J. y Aguilar Escobar, C. (2017). *Evaluación y reforzamiento estructural del edificio de la escuela profesional de obstetricia – UNJBG - Tacna* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna]. Archivo digital <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2875>
- Alayo, L. (2006). *Cronología histórica de los terremotos más destructivos en el Perú*, https://www.preventionweb.net/files/16782_historiadelofterremotosenelperu.pdf
- Aldana Cutipa, L. y Pilco Mamani, E. (2020). *Análisis comparativo de la resistencia del concreto en muros de contención por esclerómetro y rotura de cilindros en el distrito de Ciudad Nueva* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Archivo digital <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1543>
- Almirón Torres, E. y Yndigoyen Sucasaire, D. (2019). *Evaluación estructural y propuesta de reforzamiento en el centro de salud Leoncio Prado, de la ciudad de Tacna* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Archivo digital <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/840>
- Arévalo Casas, A. (2020). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones en el A.H. San José, distrito de San Martín de Porres* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Archivo digital https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/648665/ArevaloC_A.pdf?sequence=3
- Calle Nizama, C. (2017). *Vulnerabilidad Estructural de la I.E. N°10024 – Nuestra Señora de Fátima* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán]. Archivo digital <https://docplayer.es/212698426-Tesis-vulnerabilidad-estructural-de-la-i-e-no-nuestra-senora-de-fatima-autor-bach-carlos-enrique-calle-nizama.html>
- CampUCSS (2022, 11 de abril). Ingeniería, sismos y construcción. <https://camp.ucss.edu.pe/blog/ingenieria-sismos-construccion/>
- Celepasa (2021, abril). *Declaración de impacto ambiental proyecto central solar fotovoltaica Coropuna*. <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/DIA%20CSF%20%20Coropuna%201-300-1-150-1-30.pdf>

- Chile. Cubica (2015) *Albañilería reforzada o confinada y albañilería armada*
<https://www.chilecubica.com/vocabularios-definiciones/alba%C3%B1iler%C3%ADa-reforzada-o-confinada-y-alba%C3%B1iler%C3%ADa-armada/> Chumpitaz Bustamante, R. (2018). *Vulnerabilidad sísmica en viviendas informales en el centro poblado de Manzanares, distrito de Huacho 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Archivo digital <https://repositorio.unjpsc.edu.pe/handle/20.500.14067/3697>
- CNN (2022). *¿Qué es el cinturón de fuego del pacífico y cómo funciona?*
<https://cnnespanol.cnn.com/2022/09/23/cinturon-fuego-pacifico-explainer-orix/>
- Colque Huayhua, K. y Oquendo Baez, A. (2017). *Elaboración de curvas de fragilidad y consecuencia de muros de albañilería confinada construidos con blocker II* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Archivo digital. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/337>
- Construmatica (2010). *Fisuras*.
<https://www.construmatica.com/construpedia/Fisuras>.
- Conte Group (2019) *Avances en albañilería: albañilería armada*. Publireportaje p.65.
<https://contegroup.org/massadundunperu/PDF/publireportaje.pdf>
- CYPE (2022). *Diseño estructural con norma peruana*.
<https://www.cype.pe/blog/disenio-estructural-con-norma-peruana/>.
- Enriquez Porras, J. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de ingeniería de la Universidad Señor de Sipán, actualizada a la norma E-030* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán], Archivo digital <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5497>
- Gallegos, H., y Casabonne, C. (2005). *Albañilería estructural*. Perú: Universidad Católica del Perú.
<https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/181453>
- Geotecniafacil (2019). *Martillo de schmidt: ¿qué es? ¿Cómo se utiliza? y correlación gráfica Miller rocas*.
<https://geotecniafacil.com/martillo-schmidt-rocas/>.

- Herrera Aldaz, D. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas del casco urbano de Namballe - San Ignacio - Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca] Archivo digital.
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/81>
- Ingenierosasesores (2023). *Deterioro de edificaciones y estructuras*.
<https://ingenierosasesores.com/actualidad/deterioro-de-edificaciones-y-estructuras/>
- Instituto Geofísico del Perú (2020). *Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú*.
https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/4893/ESCENARIO_SISMICO_PERU_IGP2020.pdf
- Instituto Geofísico del Perú (2021). *La región Tacna está próxima a dos zonas de silencio sísmico*. <https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/482433-igp-la-region-tacna-esta-proxima-a-dos-zonas-de-silencio-sismico>.
- Jiménez Cáceres, M. (2018). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto en columnas, vigas, sobrecimiento y muros de albañilería confinada del cerco perimétrico de la institución educativa María Reina de la Paz, distrito de Pariñas, región Piura, agosto 2016* [Tesis de pregrado, Universidad Católica los Ángeles] Archivo digital. <https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/2855>
- Kuroiwa, J. (2016). *Manual para la reducción del riesgo sísmico de viviendas en el Perú*.
<http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/MINISTERIOS/Manual%20para%20la%20Reduccion%20del%20Riesgo%20Sismico%20de%20Vivien%20en%20el%20Peru.pdf>
- Mamani Chura, J. (2022). *Estudio de la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales de los sectores IV y VI del distrito Alto de la Alianza-Tacna* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann] Archivo digital.
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4533>
- Mamani Padilla, C. y Philco Arce, H. (2021). *Vulnerabilidad sísmica en las edificaciones escolares públicas del distrito de Ciudad Nueva, Tacna 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Archivo digital.
<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1768>
- Mena Hernandez, U. (2002). *Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña] Archivo digital.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93534/01INDICE.pdf>

National Geographic (2023). *El palpitante cinturón de fuego*.

https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/palpitante-cinturon-fuego_15178.

Quispe Chipana, G. y Mamani Gallegos, J. (2021). Evaluación sísmica visual rápida por el método fema 154 de los pabellones del Campus Capanique 1 de la Universidad Privada de Tacna, 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Archivo digital. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2108>

Safina Melone, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de contribución al riesgo sísmico*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña] Archivo digital. <https://www.tdx.cat/handle/10803/6226>

Sencico (2020). *Norma E.030 diseño sismorresistente*.

<https://drive.google.com/file/d/1W14N6JldWPN8wUZSqWZnUphg6C559bi-/view>

Sencico (2020). *Norma E.070 albañilería*.

<https://drive.google.com/file/d/15N2ZQwZGegdoui4rrjTR6uq5bITu7uyv/view>

Tavera, H. (1993). *La tierra, tectónica y sismicidad, lima: instituto geofísico del Perú*. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/701>

360enconcreto (2020). *Rigidez de las estructuras y resistencia del concreto*. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/rigidez-de-las-estructuras-y-resistencia-del-concreto/>

Urbania (2023) *¿Qué es una vivienda multifamiliar?* May 22nd, 2023 noticias Peru.

<https://urbania.pe/blog/noticia/que-es-una-vivienda-multifamiliar/>

Vizconde Campos, A. (2004) evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente: clínica San Miguel, Piura [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Archivo digital.

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1367/ICI_120.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Wikipedia (2023) *Albañilería*

<http://es.wikipedia.org/wiki/Alba%C3%B1iler%C3%ADa>

Zambrano, Rojas, K. (2017) *Comparación de los ensayos de diamantina y esclerometría de la pavimentación de los jirones Japón, Portugal y Brasil* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Archivo digital.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1003/Tesis%20Zambrano%20Rojas%20Katherine.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

| Interrogante del Problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Indicadores | Metodología |
|---|---|---|--|---|--|
| <p>Problema General ¿Cuál es la evaluación de la vulnerabilidad ante sismos del edificio multifamiliar Pacocha H53, de albañilería armada construido en 1980 y cuáles son las propuestas de mejora para asegurar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos, Ilo-2023?</p> <p>Problemas Específicos</p> <ol style="list-style-type: none"> ¿Cuáles son las mediciones e información relevante sobre la construcción y materiales estructurales del edificio multifamiliar Pacocha H53 de albañilería armada construido en 1980? ¿Cuál es el análisis de la capacidad de resistencia del edificio multifamiliar Pacocha H53 frente a eventos sísmicos, considerando tanto los aspectos estructurales como no estructurales? ¿Cuáles son las propuestas de mejora del edificio multifamiliar Pacocha H53 de albañilería armada construido en 1980, para asegurar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos? | <p>Objetivo General Evaluar la vulnerabilidad ante sismos del edificio multifamiliar Pacocha H53, de albañilería armada construido en 1980 y determinar si es necesario plantear propuestas de mejora para asegurar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos, Ilo-2023.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ol style="list-style-type: none"> Realizar un levantamiento del edificio multifamiliar Pacocha H53 de albañilería armada construido en 1980, para definir si su construcción cumple con los estándares establecidos y si existen deficiencias que afecten su capacidad de resistencia sísmica. Aplicar la normativa NTE E.030 para realizar un análisis de la capacidad de resistencia del edificio multifamiliar Pacocha H53 de albañilería armada construido en 1980, considerando tanto los aspectos estructurales como no estructurales. Determinar si es necesario plantear propuestas de mejora del edificio multifamiliar Pacocha H53 de albañilería armada construido en 1980, para asegurar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos. | <p>Hipótesis General El edificio multifamiliar de albañilería armada construido en 1980, en el año 2023, fue evaluado satisfactoriamente y así mismo se determinó si se requiere plantear propuestas de mejora para asegurar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos.</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <ol style="list-style-type: none"> El levantamiento del edificio multifamiliar de albañilería armada construido en 1980, que incluye inspecciones visuales, mediciones y obtención de información relevante sobre su construcción y materiales estructurales, fue suficiente para determinar si cumple con los estándares de construcción establecidos y se identificarán deficiencias que afecten su capacidad de resistencia sísmica. El análisis de la capacidad de resistencia del edificio multifamiliar de albañilería armada frente a eventos sísmicos, realizado mediante la aplicación de la normativa NTE E.030, revelará si existen deficiencias y debilidades en su diseño y comportamiento sismorresistente, tanto en los aspectos estructurales como en los no estructurales. La investigación será suficiente para determinar si son necesarias propuestas de mejora para asegurar la capacidad de resistencia del edificio multifamiliar de albañilería armada ante eventos sísmicos. | <p>Variable Independiente “Evaluación sísmica y propuestas de mejora”</p> <p>Variable Dependiente “Vulnerabilidad ante sismos”</p> | <p>-Sistema estructural. -Factor de zona. -Uso. -Tipo de suelo. -Número de pisos.</p> <p>-Dimensiones de los elementos estructurales. -Grietas o fisuras en los elementos estructurales. -Propiedades mecánicas de los elementos estructurales.</p> <p>-Respuesta ante sismos en un modelado estructural.</p> <p>-Cumplimiento de la NTE E.030.</p> | <p>Tipo de investigación: Investigación aplicada.</p> <p>Nivel de investigación: Explicativo.</p> <p>Diseño: No experimental.</p> <p>Población y Muestra: La población estará conformada por todas aquellas edificaciones de albañilería armada construidas de 1980 en adelante. La muestra estará conformada por el edificio multifamiliar Pacocha H53, ubicado en Ilo.</p> <p>Instrumentos: En esta investigación se hará uso de las técnicas de observación y revisión documental, donde los instrumentos serán la guía de observación y ficha resumen.</p> |

Anexo 2. PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYO





Anexo 3. PLANOS DE LA ESTRUCTURA ANALIZADA