

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Estimación de la fragilidad sísmica de edificios habitacionales
con pórticos de concreto armado y muros de relleno**

Tesis para obtener el Título Profesional de ingeniería Civil

Autor:

Victor Eliseo Zapana Zapana

Cipriano Condori Huayhua

Julio Cesar Huaihua Zinanyuca

Asesor:

Herson Duberly Pari Cusi

Juliaca, diciembre 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

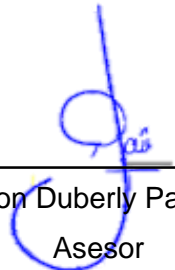
Herson Duberly Pari Cusi, docente de la Facultad de Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“ESTIMACIÓN DE LA FRAGILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS HABITACIONALES CON PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO Y MUROS DE RELLENO”** constituye la memoria que presentan los Bachilleres **Victor Eliseo Zapana Zapana, Cipriano Condori Huayhua y Julio Cesar Huaihua Zinanyuca** para obtener el título de profesional de Ingeniero Civil y tiene un índice de similitud de 10 % verificable en el informe del programa Turnitin, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del o los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca a los 29 días del mes de diciembre del año 2022.



Herson Duberly Pari Cusi
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a... 27 día(s) del mes de... diciembre del año 2022 siendo las 09:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Juana Beatriz Aquino Pari el (la) secretario(a): My. Henry Antonio Aguiar Chuquimía y los demás miembros: Dr. Leonel Suasaca Pelinco y el (la) asesor(a) Ing. Herson Duberly Pari Cusi

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Estimación de la fragilidad sísmica de edificios habitacionales con pórticos de concreto armado y muros de relleno

- del(los) bachiller(es): a) Victor Eliseo Zapana Zapana
- b) Cipriano Condori Huayhua
- c) Julio Cesar Huayhua Zinamyuca

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil (Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Victor Eliseo Zapana Zapana

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy Bueno

Bachiller (b): Cipriano Condori Huayhua






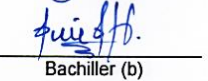
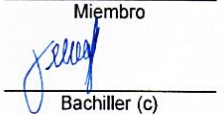
CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy Bueno

Bachiller (c): Julio Cesar Huayhua Zinamyuca

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.


 Presidente/a

 Secretario/a

 Asesor/a

 Miembro

 Bachiller (a)

 Bachiller (b)

 Miembro
 Bachiller (c)

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a nuestro Dios creador supremo, quien nos guio por el buen camino, ser nuestra fortaleza para seguir adelante, no desmayar en los problemas que se presentaban y enseñándonos a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el proceso.

A nuestras familias por su apoyo incondicional, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos bajos. Nos dieron valores, principios, carácter, perseverancia y coraje para conseguir nuestros objetivos.

A nuestros docentes que fueron la piedra angular y fuente de inspiración para perseverar en la carrera. Compartieron sus conocimientos e innumerables experiencias en las horas de clase, siendo como faro de luz y no perdersen en el camino.

Agradecimiento

A nuestro asesor

Ing. Herson Duberly Pari Cusi. Sin usted, su dirección, sus virtudes, su paciencia y constancia no hubiese sido posible la culminación de esta investigación. Sus consejos fueron siempre útiles para avanzar en el proceso y en lo que hoy hemos logrado. Usted formó parte importante de esta historia con sus aportes profesionales que lo caracterizan. Muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento, cuando más lo necesitamos. Gracias por sus orientaciones.

A nuestros docentes

Sus palabras fueron sabias, sus conocimientos rigurosos y precisos, a ustedes nuestros docentes queridos, les debemos nuestros conocimientos. Donde quiera que vayamos, los llevaremos con nosotros en nuestro transitar profesional. Gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional e invaluable, por su dedicación, perseverancia y tolerancia.

A nuestros padres

Ustedes han sido siempre el motor que impulsa nuestros sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a nuestro lado en los días y noches más difíciles durante nuestras horas de estudio. Por ayudarnos con los recursos necesarios durante nuestra formación universitaria. Agradecidos les dedicamos a ustedes este logro amados padres.

Entre compañeros

Mis compañeros de viaje, hoy culminamos esta maravillosa aventura y nunca olvidaremos cuantas noches y horas de trabajo nos juntamos a lo largo de nuestra investigación entre errores y aciertos. Hoy nos toca cerrar este capítulo en nuestra historia de vida y no podemos dejar de ser agradecidos por nuestro mutuo apoyo y constancia.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	v
1. Introducción	6
2. Materiales y metodología	8
2.1. Metodología.....	11
2.2. Selección y caracterización de las estructuras a analizar.....	11
2.3. Selección del modelo y tipo de análisis	12
2.4. Recolección de Información para modelado.....	12
2.5. Modelamiento de las estructuras en SAP 2000	14
3. Elaboración de las funciones de fragilidad	16
3.1. Desempeño Sísmico.....	16
3.2. Propuesta Vision 2000.....	17
3.3. Curvas de fragilidad.....	17
4. Resultados y discusiones.....	19
4.1. Comparación de resultados obtenidos	22
5. Conclusiones	24
Referencias	26

Estimación de la fragilidad sísmica de edificios habitacionales con pórticos de concreto armado y muros de relleno

Victor Eliseo Zapana Zapana, Cipriano Condori Huayhua, Julio Cesar Huaihua Zinanyuca

EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

En la presente investigación se estudia la fragilidad sísmica de tres modelos estructurales, construcciones sin ningún tipo de dirección técnica, con resistencia de concreto por debajo que señala la norma E060. El registro sísmico con el que se trabajó se produjo el 17 de Julio del 2021, dicho sismo tiene como epicentro frecuente el distrito de Coporaque ubicado a 15 km de los edificios estudiados, el registro sísmico se tomó de la base de datos del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), a partir de mencionado registro se procedió a generar registros sintéticos haciendo el uso del análisis dinámico incremental. Para el análisis sísmico dinámico de la estructura se tomó el análisis de tiempo historia, asimismo para el análisis del modelo estructural el software Sap 2000 v17 (versión de prueba). El daño de las estructuras se evaluó a través de las curvas de fragilidad e índice de daño, posterior al análisis se pudo observar que los edificios estudiados mostraron grandes posibilidades de daño es así que tomando como referencia el PGA de 0.35g para las tres edificaciones la vivienda habitacional de un piso presenta una probabilidad de excedencia de daño completo al 72%, edificación de dos pisos, daño completo al 54%, edificación de tres pisos, daño completo al 61.9%.

Palabras Clave: Análisis no lineal tiempo Historia; análisis dinámico incremental; fragilidad sísmica.

Abstract

This research determines the seismic fragility in buildings resulting from informal construction with reinforced concrete porches and infill masonry walls, since low-rise, one, two, and three-story residential buildings are more common, in the city of Espinar, Cusco region, Peru. The type of sample used to choose the existing study buildings was for convenience. In each building, measurements of the area, perimeter, and structural elements (columns and beams) were made to draw the base reference planes. Three 3D modelings were carried out applying the finite element software CSI Sap2000v20, the year 2017 in its evaluation version, considering the mechanical properties of the structural elements and the seismic record that occurred within the region, which through non-linear Time History analysis, simulate the ground movement, using the incremental dynamic analysis (IDA) method, which consisted of the calibration and creation of synthetic seismic records for each interaction, thus increasing the peak ground acceleration (PGA), as soon as the building is analyzed with this methodology. It tends to move depending on the acceleration until a state of collapse, which allows the fragility curves to be graphically captured, where the probabilities of slight, moderate, severe, and total damage can be observed. Taking as reference the PGA of 0.35g for the three buildings, to an event with a 10% probability of exceedance in 50 years; the one-story residential dwelling presents a probability of exceedance of complete damage at 72%, two-story building, complete damage at 54%, three-story building, complete damage at 61.9%.

Keywords: Nonlinear analysis time History; incremental dynamic analysis; seismic fragility.

1. Introducción

Considerando que los eventos sísmicos no se pueden predecir, existe la necesidad de realizar investigaciones en el área de la ingeniería sísmica. A nivel mundial, el Perú es uno de los países de mayor potencial sísmico debido a que forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, región donde la Tierra libera más del 85% de la energía acumulada en su interior debido a los procesos de convección del manto. “En este contexto, la actividad sísmica en torno de la placa del Pacífico, es debida a los diversos procesos de convergencia de placas con velocidades de hasta 8 cm/año” (Instituto Geofísico del Perú, 2019). En la historia del Perú se produjeron diversos sismos de alta intensidad que provocaron daños materiales y pérdida de vidas humanas, por ejemplo, se tiene el sismo ocurrido en la ciudad de Arequipa en el año 2001 y Pisco 2007. La ciudad de Espinar está ubicada en la Zona 3 según el mapa de peligro sísmico de Perú según (Norma E-030, 2019). “El 05 de octubre de 2018 Espinar fue afectada por cuatro movimientos sísmicos en un solo día, siendo la magnitud más alta de 5.2 en la escala Richter, causando daños en la institución educativa Bartolomé de las Casas y el establecimiento de salud de Huayhuahuasi, en el distrito de Coporaque” (Andina, 2018), concluyendo así el lugar sísmicamente activo.

Los edificios habitacionales analizados en esta investigación son resultado de la construcción informal, donde el proceso constructivo se desarrolló sin planos constructivos (Arquitectura, Estructuras e Instalaciones) y ante un evento sísmico estas son las que están en riesgo de ser afectadas a nivel estructural. La forma en planta y la altura también influyen significativamente ante un evento sísmico. Conociendo esta información se tomó como muestra tres edificaciones típicas, de 1 piso, de 2 pisos y de 3 pisos, para los tres casos se hizo mediciones in situ del área construida total, perímetro

y secciones de vigas y columnas. Luego se dibujaron los planos ubicando los ejes de los elementos estructurales de las viviendas que nos sirvieron como punto de partida en esta investigación.

Para el modelamiento de las tres estructuras tipo, se utilizó el software (CSI, SAP2000 V20, 2017) basado en métodos de elementos finitos, se usó la versión de prueba o evaluación del

software por el costo elevado del software. El modelado en tres dimensiones es capaz de simular el comportamiento torsional que puede producirse en la estructura de manera general. Se estimaron movimientos del terreno tomando la aceleración pico del terreno PGA, de un registro sísmico para el Análisis Tiempo- Historia (THA) y para el Análisis Dinámico Incremental (IDA), la calibración y creación de registros sísmicos sintéticos para cada interacción incrementando el PGA, de esa manera determinar la capacidad y desempeño de la estructura.

Esta investigación muestra la evaluación de la respuesta no lineal de edificios, con características típicas de la zona de Espinar, a fin de aportar información y recomendaciones técnicas a partir del análisis del comportamiento sísmico y estimación de la fragilidad estructural en edificios habitacionales, considerando tres modelos de sistema aporticado con muros de relleno, son edificaciones unifamiliares y multifamiliares según clasificación (Norma A-020, 2019). La NTP (Norma E-020, 2019) nos indica las cargas que se debe asumir según el tipo de la estructura y la funcionalidad, y el código (ASCE41-13) indica los pasos para análisis no lineal de la estructura.

En consecuencia, las estructuras fueron simuladas mediante el programa SAP 2000 v20 (versión de prueba), a fin de obtener los resultados sísmicos, datos de desempeño y los

estados de daño de las estructuras mediante curvas de fragilidad logarítmica e índices de daño esperado donde se lograron observar la probabilidad de daño versus aceleración pico del suelo.

2. Materiales y metodología

Los modelos analíticos fueron edificios con pórticos de concreto armado rellenos con muros de mampostería para uso habitacional. El primer modelo consta de un piso con un área techada de 102.05m², una altura de entrepiso de 3.20m. La estructura presenta geometría regular, la distancia de eje a eje en X es de 9.55m y en Y es de 11.09m tal como se muestra en la Figura 1. La estructuración del plano fue elaborada en base a las medidas obtenidas en campo. Las estructuras están constituidas por columnas y vigas que varían en sus secciones, los detalles se muestran respectivamente en la Tabla 1.

Figura 1

Vista en planta de la estructuración, edificio 1

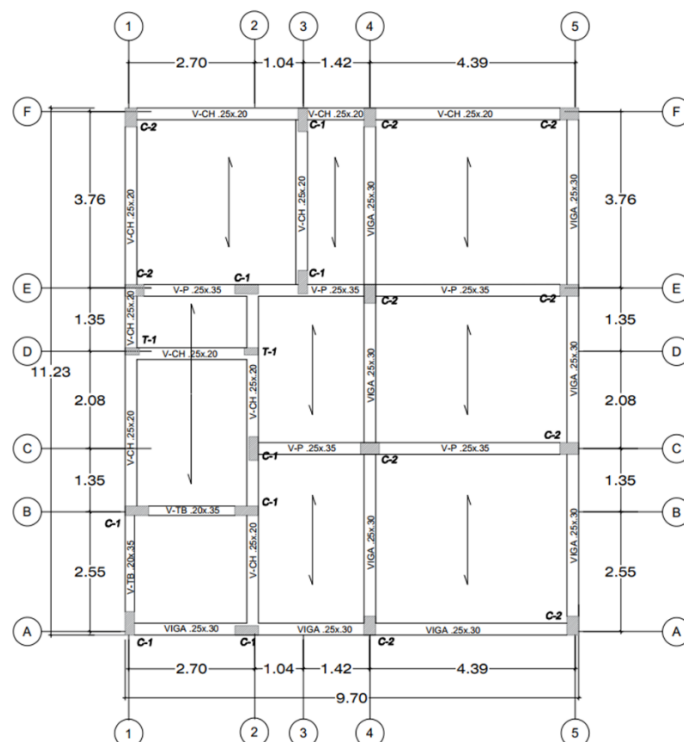


Tabla 1

Secciones de elementos estructurales, vigas y columnas del modelo 1

Elemento	Simbología	b(m)	h(m)
Columna	C1	0.20	0.50
Columna	C2	0.25	0.40
Tensor	T-1	0.15	0.30
Viga	V-P	0.25	0.35
Viga	V-S	0.25	0.30
Viga chata	V-CH	0.20	0.25
Viga tipo B	VTB	0.20	0.35

El segundo modelo consta de un área techada de 73 m² con una altura total de 5.75m, con geometría irregular en planta, con columnas típicas, vigas peraltadas y vigas chatas, sus dimensiones se pueden apreciar en la Tabla 2, los muros son de ladrillo king kong en el primer nivel y ladrillos pandereta en el segundo nivel, la losa es nervada en una sola dirección, se puede observar en la Figura 2.

Figura 2

Vista en planta de la estructuración, edificio 2

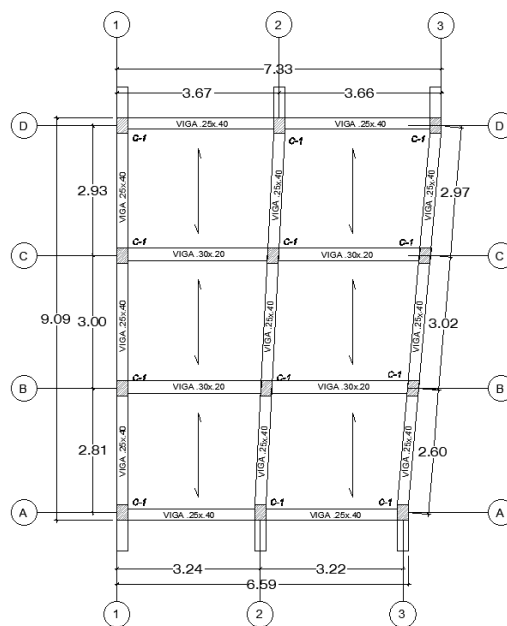


Tabla 2*Secciones de elementos estructurales, vigas y columnas del modelo 2*

Elemento	Simbología	b(m)	h(m)
Columna	C1	0.25	0.35
Viga Peraltada	V-P	0.25	0.40
Viga Chata	V-CH	0.30	0.20

Para el tercer modelo tenemos una estructura de tres niveles, con un área techada de 47.27m², para el primer piso se tiene una altura libre de 3.00m, para el resto de pisos se tiene una altura libre de 2.80m. La estructura presenta una geometría irregular, la planta medida a partir de los ejes es de 6.90m en el eje X y 6.85m por el eje Y, como se aprecia en la Figura 3. Los elementos estructurales están detallados en la Tabla 3.

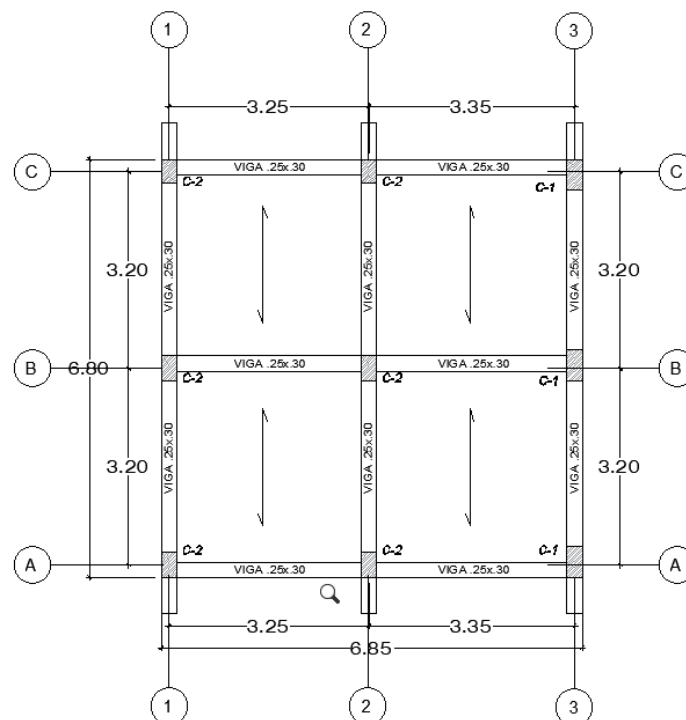
Figura 3*Vista en planta de la estructuración, edificio 3*

Tabla 3*Secciones de elementos estructurales, vigas y columnas del modelo 3*

Elemento	Simbología	b(m)	h(m)
Columna	C1	0.25	0.50
Columna	V2	0.25	0.40
Viga Peralzada	V-P	0.25	0.30

2.1. Metodología

La presente Investigación es aplicada ya que se usaron procedimientos de análisis sísmico, asimismo el enfoque de la investigación es cuantitativo pues se realizó la recolección y análisis de datos, el nivel de la investigación, es explicativa ya que se buscó evaluar y explicar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas. A continuación, se detallan aspectos metodológicos para la estimación de vulnerabilidad sísmica en edificios de concreto armado, teniendo en consideración como información base el anterior apartado, donde se mencionan las propiedades mecánicas de los materiales y sus valores característicos.

2.2. Selección y caracterización de las estructuras a analizar

Elegimos la zona Este de la ciudad de Espinar para seleccionar la muestra representativa para esta investigación. Estas estructuras fueron elegidas por conveniencia asimismo por la disponibilidad de parte del propietario para la extracción de datos y el posterior análisis de su vivienda; después de identificarlas procedemos a tomar medidas en campo para elaborar los planos en planta ubicando los ejes de la estructuración, tipología de columnas y vigas, secciones, área techada, alturas de piso a techo de los elementos estructurales de las viviendas, estos datos se muestran en los anexos.

2.3. Selección del modelo y tipo de análisis

Con ayuda del software SAP2000 se procedió a la modelación de las estructuras, el tipo de modelo elegido para el estudio de las edificaciones habitacionales fue “tridimensional”.

El tipo de análisis aplicado es denominado no Lineal Tiempo - Historia, en el cual se utilizó un modelo matemático de la estructura que considere directamente el comportamiento histerético de los elementos, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio establecidos en la Norma E-030 diseño sismorresistente.

El Análisis Dinámico Incremental (IDA, “Incremental dynamic analysis”) (Vamvatsikos & Cornell, 2002) consiste en someter una estructura a una sucesión de análisis no lineales de respuesta en el tiempo, donde se va aumentando la intensidad, es decir, se amplifica continuamente la aceleración del terreno representado por medio de un acelerograma, hasta alcanzar algún estado límite predefinido. Los valores del cortante en la base se grafican respecto a sus respectivos desplazamientos, normalmente se toma un punto en la parte superior de la estructura.

2.4. Recolección de Información para modelado

El registro sísmico se extrajo de base de datos de Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), teniendo como epicentro según Instituto Geofísico del Perú (IGP), a 12 km al Sur Oeste de Coporaque, Espinar – Cusco, La fecha del evento sísmico fue el 17 de Julio del 2021, una de las estaciones que registró el evento está ubicada en distrito de San Sebastián-Cusco, con aceleración máxima de $0.61\text{cm}/\text{seg}^2$ (Alva, Ortiz, & Montero, 2021). Se eligen para esta

investigación registros sísmicos en dos direcciones (x, y), estos son convertidos a la unidad de la gravedad(g).

El registro original es de una duración de 96 segundos, dicho tiempo demanda mayor esfuerzo computacional para el análisis, para realizar el gráfico y corrección se utiliza el software SeismoSignal V2016 previamente una licencia educacional de tiempo limitado, en la figura 4 y figura 5 se observa a partir del segundo 48 mayor demanda sísmica, a partir de este tiempo se extrae un registro ajustado de 26 segundos, el cual vendría a ser la duración significativa, el cual indica un intervalo en segundos entre el 5% y el 95% del valor de la intensidad de Arias o la intensidad sísmica instrumental.

$$[1] I_a = \frac{\pi}{2g} \exp \int [a(t)^2] dt$$

Figura 4

Aceleración Tiempo - Historia en dirección X (2021)

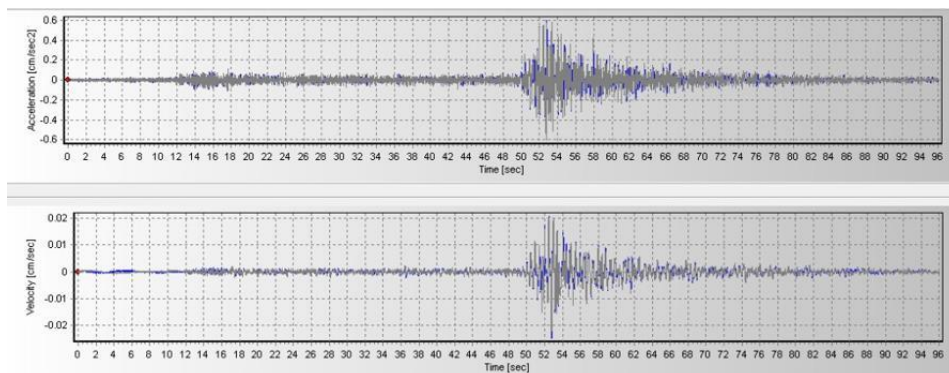
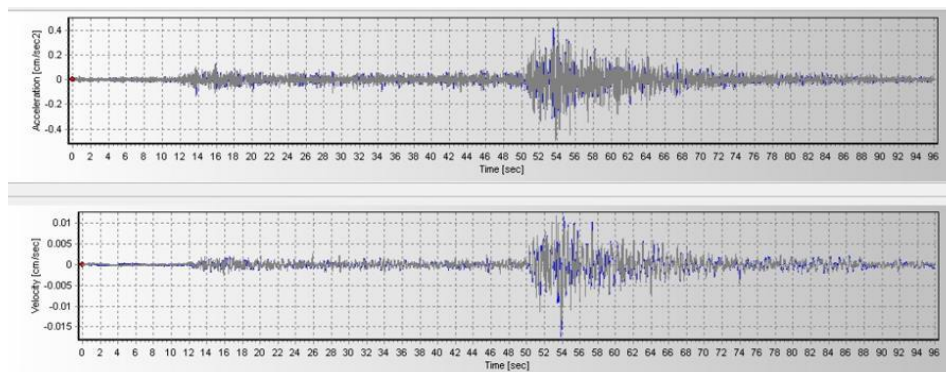


Figura 5

Aceleración Tiempo - Historia en dirección Y (2021)



Para este tipo de análisis la norma E030 Artículo 30.1 recomienda usar como mínimo tres pares de registros sísmicos, en esta investigación se utilizó 10 pares de registros sintéticos incrementados y calibrados para aceleraciones de 0.20g, 0.25g, 0.30g, 0.35g, 0.40g, mencionados pares fueron reproducidos a partir de un sismo, omitiendo el ajuste de los espectros de la norma ya que en esta investigación se pretende ver el comportamiento real del sismo en cuestión.

Para la evaluación de concreto en lugar de estudio se utilizó el ensayo no destructivo de esclerometría, considerando que los resultados obtenidos son valores estimados según indica la Norma ASTM C805, para esta investigación se procedió a ejecutar mencionado ensayo con el fin de obtener datos reales en campo.

Las cargas para el modelo son asumidas Según la Norma Técnica Peruana (NTP E.020), donde indica que para edificios familiares la carga viva es: 200 kg/m² en ambientes de uso y 100 kg/m² en azoteas, así mismo la carga muerta componen losas aligeradas de espesor 0.20 m con 300 kg/m², acabados 100 kg/m² y el peso propio de los elementos aporticados es asumido de manera automática por el software Sap2000v20.

2.5. Modelamiento de las estructuras en SAP 2000

Mediante el análisis en 3D se puede simular todos los posibles modos de daño y fallo de los componentes, debido que además este método considera múltiples grados de libertad de una estructura (D' Ayala D. et al., 2015), el programa Sap2000v20 es un programa adecuado para un modelado en 3D como se puede apreciar en la Figura 6, Figura 7 y Figura 8 donde los elementos estructurales columnas y vigas son idealizadas de acuerdo a los planos verificados en campo, considerando sus propiedades mecánicas. Según el análisis requerido el programa Sap2000v20 permite, por ejemplo; en este estudio

modelar las losas como una membrana con el objetivo de que solo puedan distribuir las cargas, y no aportar rigidez.

Figura 6

Modelado tridimensional en SAP2000, edificio 1

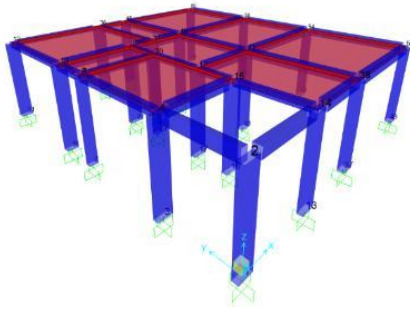


Figura 7

Modelado tridimensional en SAP2000, edificio 2

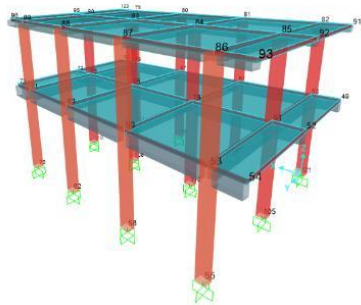
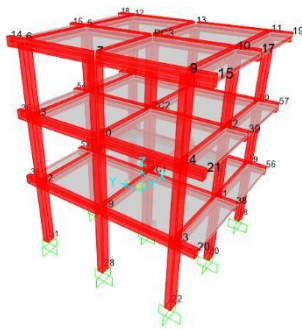


Figura 8

Modelado tridimensional en SAP2000, edificio 3



Para el análisis no lineal, se toma en cuenta varios conceptos entre ellos efecto P-delta ya que según (Dabaghi, Saad, & Allhassania, 2019) estas fuerzas influyen a que ocurra una mayor probabilidad de fallo, para un análisis tiempo historia, es dato importante reducir rigideces de acuerdo a la norma ATC-40 & FEMA 440, esto influye significativamente en periodo de cada objeto de estudio, por ejemplo los primeros periodos son; 0.025 y 0.016, 0.61 y 0.43, para edificios de 1, 2, pisos respectivamente. Las rótulas plásticas son asignadas a los elementos estructurales en el programa Sap2000v20 esto permite calcular de manera automática la no linealidad del material según ASCE 41-13, con todos los datos relevantes antes mencionados, se puede realizar el análisis no lineal tiempo historia, obteniendo resultados del comportamiento sísmico en cada elemento estructural, Los datos de interés para la elaboración de curvas de fragilidad son las derivas de entrepiso, estos valores son extraídos de los puntos más críticos del modelo.

3. Elaboración de las funciones de fragilidad

3.1. Desempeño Sísmico

El nivel de desempeño describe el estado límite de daño. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de los posibles daños físicos sobre la edificación, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación inducidos por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto (ATC-40, 1996) o es una expresión de la máxima extensión del daño, donde se considera tanto la condición de los elementos estructurales como la de los elementos no estructurales y su contenido, relacionado con la función de la edificación. Los niveles de desempeño suelen expresarse en términos cualitativos de la significación pública (impacto en

ocupantes, usuarios, etc.) y en términos técnicos ingenieriles para el diseño y evaluación de edificación existentes (extensión del deterioro, degradación de elementos estructurales y no estructurales, etc.) (SEAOC, 1995).

3.2. Propuesta Vision 2000

La presente investigación se está tomando desde un punto de vista determinístico es por eso que se toma como referencia Vision 2000 el cual nos arroja resultados en función al daño global de la estructura, Hazus nos da resultados con variables de decisión (costo de reposición, tiempo de reposición, cantidad de personas afectadas, etc.)

Se definen cuatro niveles de desempeño identificados a través de los siguientes calificadores.

Tabla 4

Estados de daño según el Comité Visión 2000

Estado de daño	Deriva (m)
Leve	0.002
Moderado	0.005
Severo	0.015
Completo	0.025

3.3. Curvas de fragilidad

Las coordenadas espectrales del Performance Point permiten definir las probabilidades de exceder ciertos estados de daño en la edificación (Almansa López, Domínguez, & Benavent Climent, 2013) para este caso se eligieron cuatro umbrales con cinco posibles estados de daño: Operacional, funcional, seguridad y próximo al colapso. para la generación de las curvas de fragilidad no agenciaremos de la distribución de

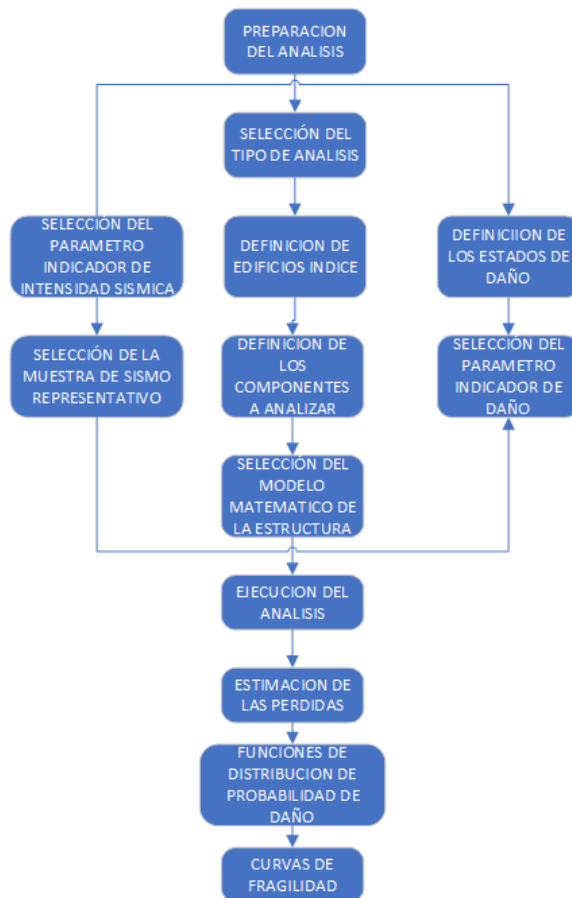
probabilidad log normal, así como de una función de probabilidad según los parámetros que definen los estados de daño, a continuación, se muestra la fórmula en la Ecuación 1.

$$[2] \text{pdf}_{ek}(x) = \frac{1}{\beta_{ek}x\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\beta_{ek}} \ln \frac{x}{x_{ek}} \right)^2 \right]$$

Para la generación de curvas se empleó una herramienta denominada FFG: Fragility Function Generator, dicha herramienta es de acceso libre y se encuentra en la página oficial de la universidad de Toledo, a continuación, se muestra un diagrama de flujo el cual muestra los procesos de la herramienta.

Figura 9

Diagrama de flujo de flujo para la obtención de las curvas de fragilidad



4. Resultados y discusiones

A continuación se muestra el reporte de las funciones de fragilidad de los edificios habitacionales, analizados en la presente investigación, para dichas funciones los parámetros evaluados son la probabilidad de excedencia (eje vertical), versus la aceleración máxima del suelo incrementadas desde 0.05g hasta 0.40g (eje horizontal) , como se muestran en la Figura 10, Figura 11, Figura 12.

Así mismo se evaluó la probabilidad de excedencia de cada estado de daño por intervalos, según intensidad de sismo y están representadas en las matrices de probabilidad Tabla 5, Tabla 6, y Tabla 7, respectivamente.

Figura 10

Curvas de fragilidad, modelo 1

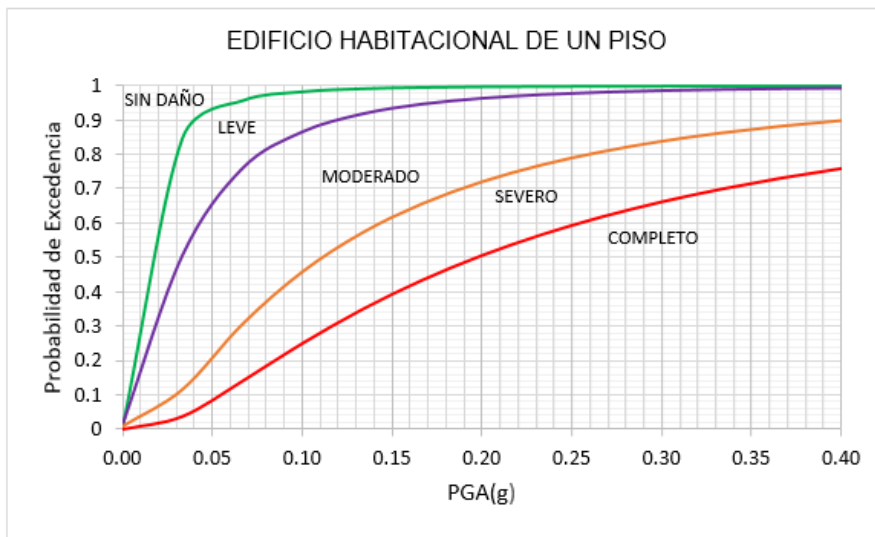


Tabla 5

Matriz de probabilidad de daño, edificio habitacional de 1 piso

Demanda Sísmica (g)	Sin daño	Leve	Moderado	Severo	Completo
0.05	6%	36%	46%	11.2%	0.8%

0.10	2%	12%	41%	20%	25%
0.15	1%	5%	32%	23%	39%
0.20	0%	4%	24%	22%	50%
0.25	0%	2%	19%	20%	59%
0.30	0%	2%	14%	18%	66%
0.35	0%	1%	12%	15%	72%
0.40	0%	0.5%	9.5%	14%	76%

Las curvas de fragilidad de modelo 3 Figura 12, indican que la edificación sufre el mayor daño cuando el sismo llega a 0.40g, es decir la probabilidad que la edificación sufra daños estructurales es de un 76%, con este dato podemos afirmar que dicha vivienda posterior al sismo estará completamente inhabitable.

Figura 11

Curvas de fragilidad, modelo 2

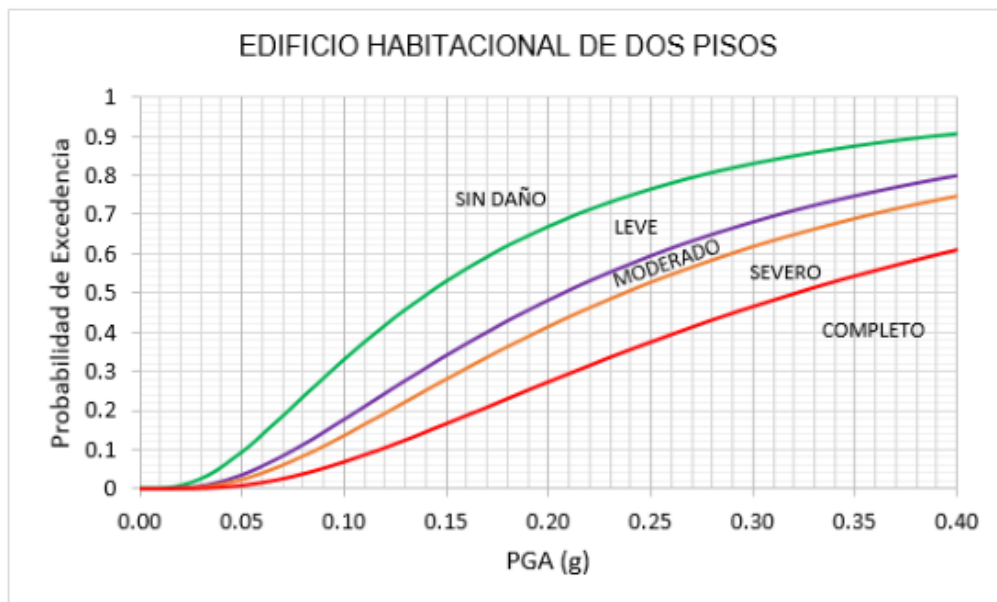


Tabla 6*Matriz de probabilidad de daño, edificio habitacional de 2 pisos*

Demanda Sísmica (g)	Sin Daño	Leve	Moderado	Severo	Completo
0.05	91.0%	5.0%	1.0%	2.0%	1.0%
0.10	67.0%	16.0%	4.0%	7.0%	6.0%
0.15	47.0%	19.0%	6.0%	12.0%	16.0%
0.20	33.0%	19.0%	6.0%	15.0%	27.0%
0.25	24.0%	16.0%	7.0%	16.0%	37.0%
0.30	17.0%	15.0%	6.0%	16.0%	46.0%
0.35	12.0%	13.0%	5.0%	16.0%	54.0%
0.40	9.0%	11.0%	6.0%	12.0%	62.0%

Las curvas de fragilidad de modelo 3 Figura 12, indican que la edificación sufre el mayor daño cuando el sismo llega a 0.40g, es decir la probabilidad que la edificación sufra daños estructurales es de un 62%, con este dato podemos afirmar que dicha vivienda posterior al sismo estará completamente inhabitable.

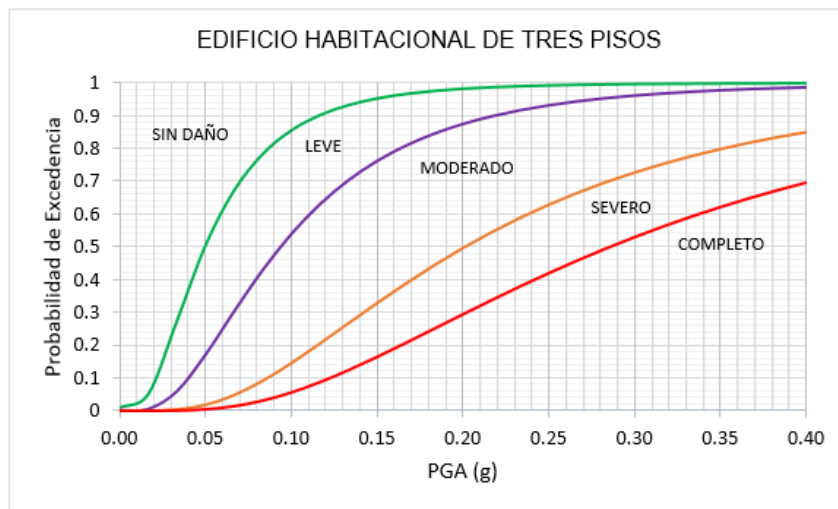
Figura 12*Curvas de fragilidad, modelo 3*

Tabla 7**Matriz de probabilidad de daño, edificio habitacional de 3 pisos**

Demanda Sísmica (g)	Sin daño	Leve	Moderado	Severo	Completo
0.05	49.7%	33.3%	15.3%	1.7%	0.0%
0.10	14.5%	31.7%	39.3%	9.0%	5.5%
0.15	5.0%	19.0%	43.1%	16.5%	16.4%
0.20	2.0%	8.3%	40.0%	20.4%	29.3%
0.25	1.0%	6.0%	30.1%	21.1%	41.8%
0.30	0.0%	4.0%	23.2%	20.0%	52.8%
0.35	0.0%	2.3%	17.7%	18.1%	61.9%
0.40	0.0%	1.0%	15.0%	15.0%	69.0%

Las curvas de fragilidad de modelo 3 Figura 12, indican que la edificación sufre el mayor daño cuando el sismo llega a 0.40g, es decir la probabilidad que la edificación sufra daños estructurales es de un 69%, con este dato podemos afirmar que dicha vivienda posterior al sismo estará completamente inhabitable.

4.1. Comparación de resultados obtenidos

La probabilidad de que las edificaciones no sufran daño o sufran daño moderado para las intensidades de sismo representativas es menor al 50% Figura 13 y Figura 14.

Probabilidad de daño completo para las intensidades de sismo representativas supera el 50%, siendo más crítico el edificio de 1 piso Figura 15.

Figura 13

Diagrama comparativo de daño para el estado de daño "sin daño".

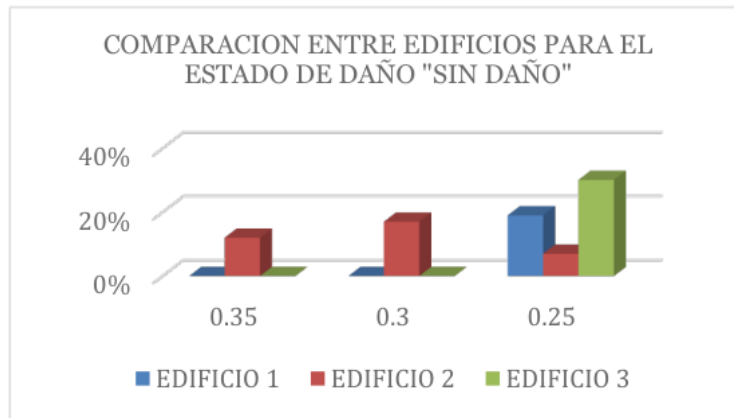


Figura 14

Diagrama comparativo de daño para el estado de daño "moderado".

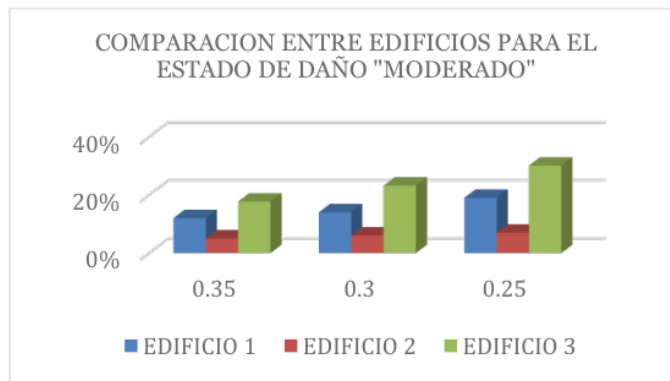
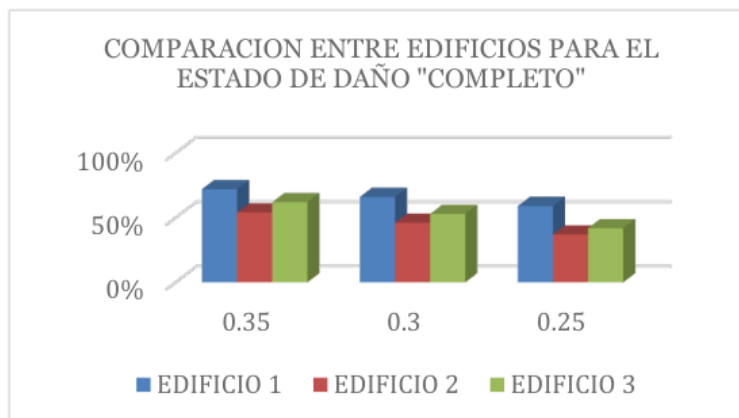


Figura 15

Diagrama comparativo de daño para el estado de daño "completo".



5. Conclusiones

Se evaluó las características de las edificaciones las cuales son producto de construcción informal, con pórticos de concreto armado y muros de relleno, que mediante ensayos de esclerometría se obtuvo valores promedio de; $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ para el edificio tipo 1, $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ para tipo 2 y $f'c=135 \text{ kg/cm}^2$ tipo 3.

Se realizó la configuración estructural en software SAP2000v20 para cada tipología estructural, idealizada la muestra en un modelo 3D, y sometida a un análisis no lineal tiempo historia, considerada la propiedad mecánica de los materiales y representada la no linealidad de los materiales como rótulas plásticas, así mismo 10 pares de registro sísmico sintéticas incrementadas y calibradas, que mediante análisis dinámico incremental se observó las derivas máximas en el punto de control de la azotea.

Tomando como referencia el PGA de 0.35g para la zona Z3 de la norma E.030 sismo de diseño asociado a un evento con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años; la vivienda habitacional de un nivel presenta una probabilidad de excedencia sin daño

0%, daño leve 0.5%, moderado 9.5%, severo de 14% y daño completo de 76% como se muestran en la Figura 9 y Tabla 5. Tomando como referencia el PGA de 0.35g para la zona Z3 de la norma E.030 sismo de diseño asociado a un evento con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años; La vivienda habitacional de dos niveles presenta una probabilidad de excedencia sin daño 12%, leve 13%, moderado de 5%, daño severo de 16%, daño completo de 54% según Figura 10 y Tabla 6.

Tomando como referencia el PGA de 0.35g para la zona Z3 de la norma E.030 sismo de diseño asociado a un evento con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años; La vivienda habitacional de tres niveles presenta una probabilidad de excedencia sin daño

0%, daño leve 2.3%, moderado de 17.70%, daño severo de 18.10%, daño completo de 61.90% como se muestran en la Figura 11 y Tabla 7.

Se puede notar que las edificaciones en los tres casos sufren un daño completo, esto evidentemente involucra diversos factores, uno de los principales factores es la falta de dirección técnica a la hora de la ejecución de las viviendas, es así que podemos afirmar que la posible ocurrencia de un sismo con una aceleración entre 0.30 g y 0.40 podría dejar en colapso a las viviendas autoconstruidas.

Referencias

- Aguilar, A., & Gonzales, G. (2021). Funciones de fragilidad analíticas mediante análisis dinámico incremental para estimar la vulnerabilidad sísmica del pabellón frontal del Hospital Casimiro Ulloa.
- Alas, R., & Grijalva, S. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, por medio de curvas de fragilidad, utilizando el análisis dinámico no lineal incremental. Almansa
- López, F., Domínguez, D., & Benavent Climent, A. (2013). López-Vulnerability analysis of RC buildings with wide beams located in moderate seismicity regions. España.
- Alva, J., Ortiz, C., & Montero, J. (2021). Informe preliminar sismo de de Coporaque, Espinar - cusco del 17 de julio del 2021.
- Andina. (05 de Octubre de 2018). ANDINA, Agencia Peruana de Noticias. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-cuatro-sismos-afectaron-a-provincia-cusquena-espinar-ultimas-12-horas-727507.aspx>
- Arevalo, 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.
- Arone, J. (2019). Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Estructural de la I.E. N° 1199 Mariscal Ramón.
- ASCE/SEI 7-10. (2010). Minimum design loads for buildings and other structures. Estados Unidos: American Society of Civil Engineers.
- ATC 40. (2005). Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.
- Cotrado, D. (s.f.). Elaboración de curvas de fragilidad de muros de ductilidad limitada de 10 cm. de espesor, basados en ensayos experimentales.

CSI, SAP2000 V20. (2017). Software SAP2000. V20.

D'Ayala D. et al. (2015). Guidelines for Analytical Vulnerability Assessment of Low/Mid-Rise Buildings. GLOBAL EARTHQUAKE MODEL.

Dabaghi, M., Saad, G., & Allhassania, N. (2019). Seismic Collapse Fragility Analysis of Reinforced Concrete Shear Wall Buildings. Earthquake Spectra,
<https://doi.org/10.1193/121717EQS259M>.

Gandage, S., Salgado, R., & Guner, S. (2019). Macro-Enabled Excel Spreadsheet. (T. U. Toledo, Ed.) Department of Civil and Environmental Engineering.

Huamani, H. (2020). Analisis sismico no lineal tiempo historia basado en el desempeño. Diescon ingenieros (Curso de Capacitacion).

Instituto Geofísico del Perú. (2019). Obtenido de <https://www.gob.pe/igp>

Norma A-020, R. N. (2019). Arquitectura - Vivienda. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Norma E-020, R. N. (2019). Estructuras - Cargas. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Norma E-030, R. N. (2019). Diseño Sismorresistente. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

PDU, P. d. (2017-2027). Plan de Desarrollo urbano. En M. D. Espinar. Yauri.

SEAC. (1995). Vision 2000. A framework for performance-based engineering". Structural Engineers Association of California, Sacramento.

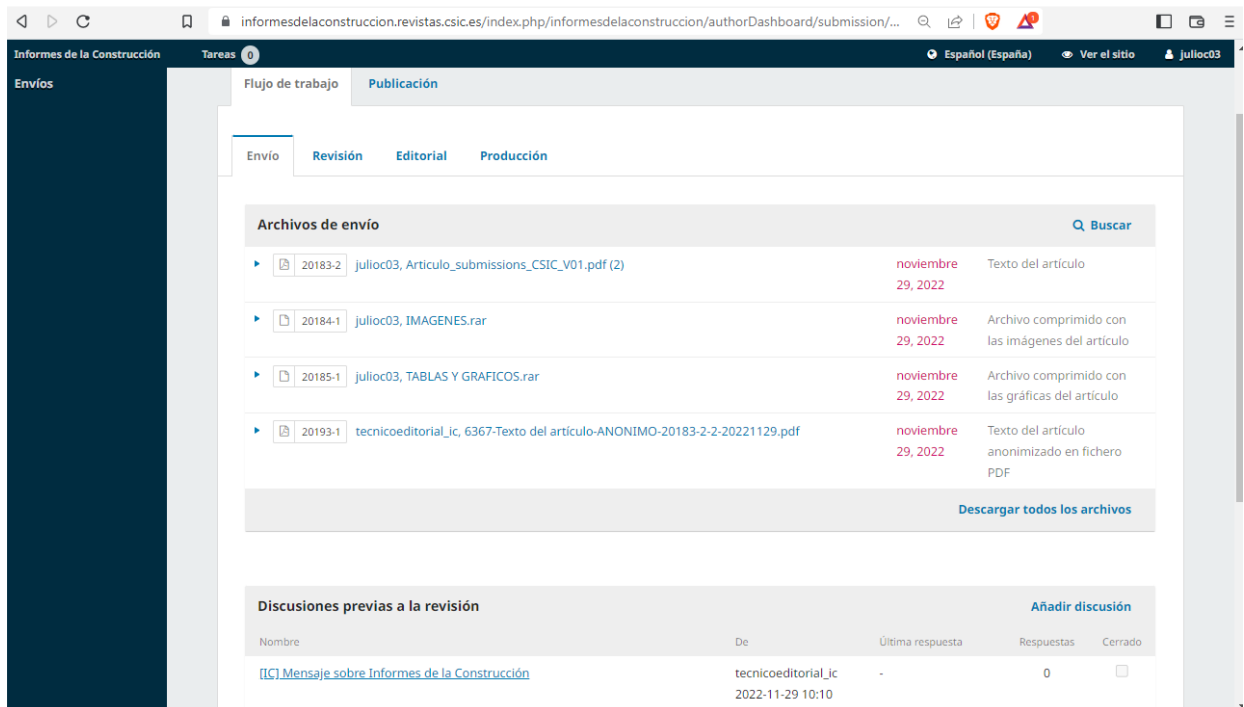
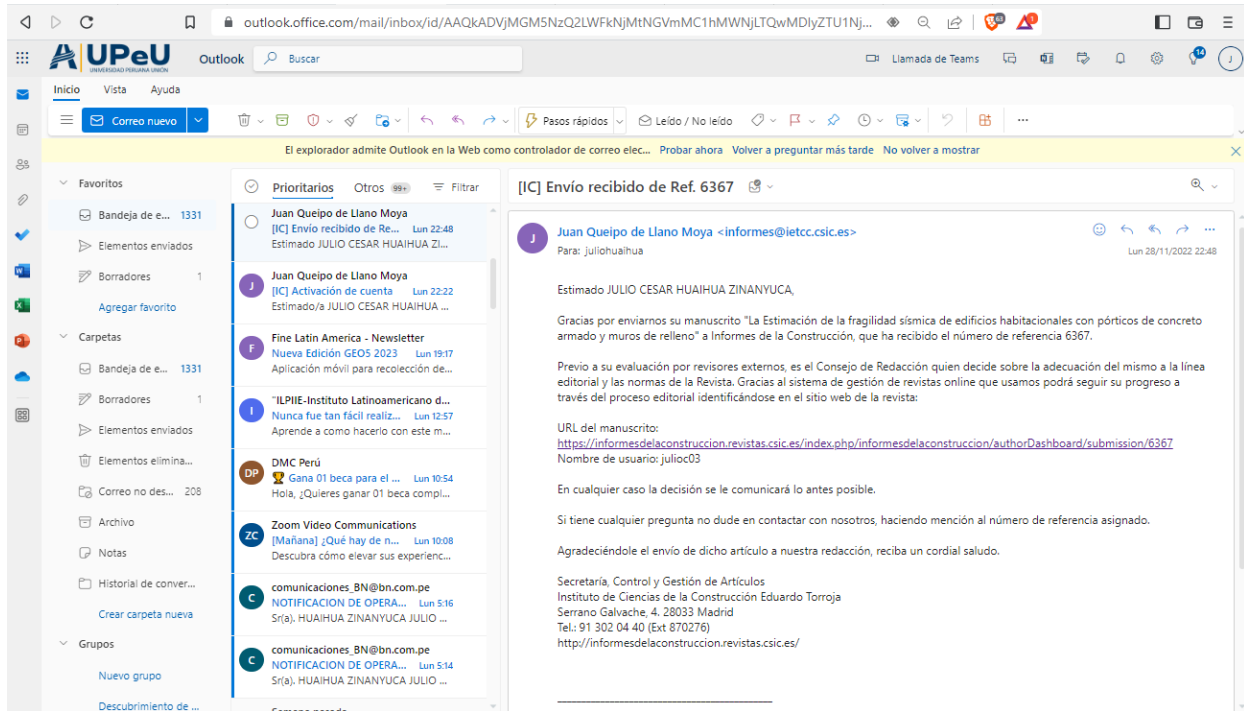
Seismosoft. (2016). Seismo Signal v2016.

Tavarez, J. (2016). Análisis Estático y Dinámico Incremental de una estructura de muros de hormigón armado en la República Dominicana.

- (24) Trifunac, M. and Brady, A., 1975. A study on the duration of strong earthquake ground motion. [online] Pubs.geoscienceworld.org. Available at: <<https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/65/3/581/101795/A-study-on-the-duration-of-strong-earthquake>> [Accessed 17 October 2022].
- (25) Utoledo.edu.2021. RESIST RESEARCH GROUP.[online] disponible en: <<https://www.utoledo.edu/engineering/faculty/serhan-guner/publications.html>>
- (26) Vamvatsikos, D., & Cornell, C. (2002). Earthquake Engineering & Structural Dynamics.

Anexos

Anexo 1 – Evidencia de Sumisión



Anexo 2 – Evidencia fecha de Sustentación

“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

RESOLUCIÓN N° 1299-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña, 20 de diciembre de 2022

VISTO:

El expediente del(de la) bachiller **Victor Eliseo Zapana Zapana, Cipriano Condori Huayhua, Julio Cesar Huaihua Zinanyuca** identificado(a) con código universitario N° 200920145, 201322825, 201322937, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Estimación de la fragilidad sísmica de edificios habitacionales con pórticos de concreto armado y muros de relleno", presentado por el(la) bachiller **Victor Eliseo Zapana Zapana, Cipriano Condori Huayhua, Julio Cesar Huaihua Zinanyuca**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 20 de diciembre de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Declarar expedito al(a) bachiller **Victor Eliseo Zapana Zapana, Cipriano Condori Huayhua, Julio Cesar Huaihua Zinanyuca**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Estimación de la fragilidad sísmica de edificios habitacionales con pórticos de concreto armado y muros de relleno", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, el 27 de diciembre de 2022 a las 09:00 horas, modalidad virtual u online sincrónica.

Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari Secretario:
Mg. Henry Antonio Aguilar Chuquimia Asesor: Ing.
Herson Duberly Pari Cusi
Vocal 1: Dr. Leonel Suasaca Pelinco

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dña. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

-Interesado
-Jurado (04)
-Secretaría General
-Archivo



Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

Anexo 3 – Instrumentos o Figuras



FICHA DE ENCUESTA DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE ESPINAR

Antecedentes

Vivienda N°:

Ubicación:

Dirección técnica en el diseño:

Dirección técnica en la construcción:

Pisos construidos: Pisos proyectados:

Antigüedad de la vivienda:

Topografía y geología:

Estado de la vivienda:

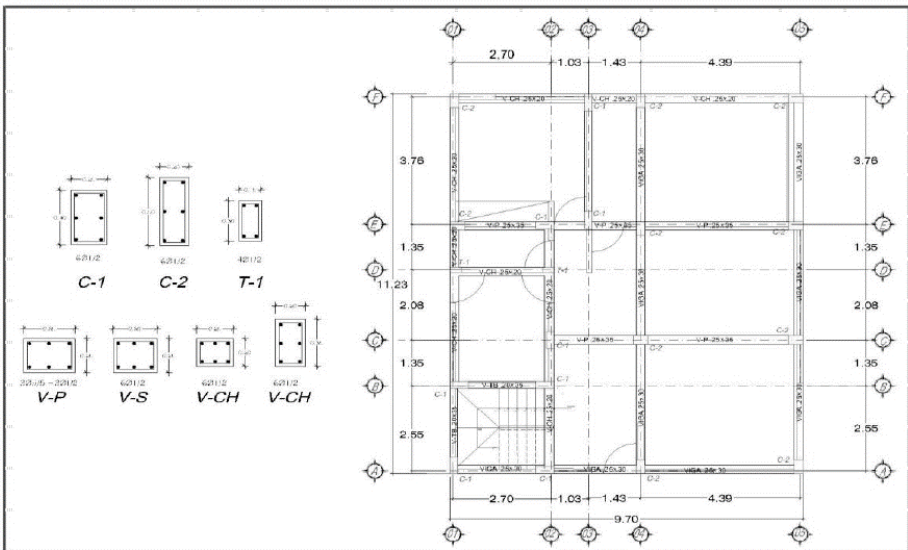
Secuencia de construcción de la vivienda:

Aspectos técnicos:

Elementos de la vivienda

Elementos	Características
Muros	Ladrillo King Kong, espesor de 15cm, incluyendo el tarrajeo
Techo	Losa aligerada con ladrillo hueco de 30x30x15cm. Peralte de 20cm. Viguetas de 10cm
Columnas	Concreto armado C-1:20x50cm, C-2:25x40cm, T-1:15x30cm. Acero corrugado G-60
Vigas	Concreto armado V-P:25x35cm, V-S:25x30cm, V-CH:20x25cm, VTB:20x35cm. Acero G-60

Gráficos:





FICHA DE ENCUESTA DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE ESPINAR

Antecedentes

Vivienda N°:

Ubicación:

Dirección técnica en el diseño:

Dirección técnica en la construcción:

Pisos construidos: Pisos proyectados:

Antigüedad de la vivienda:

Topografía y geología:

Estado de la vivienda:

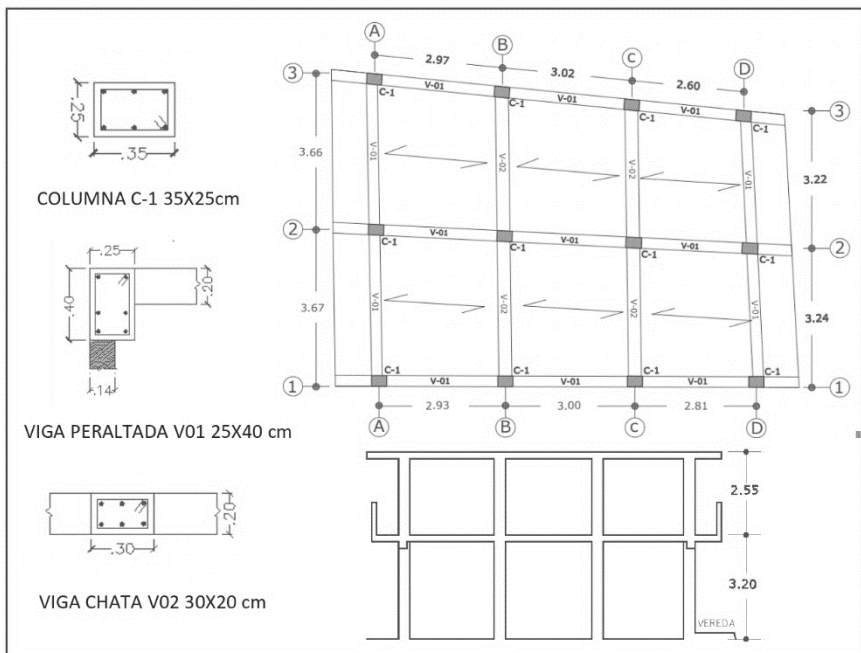
Secuencia de construcción de la vivienda:

Aspectos técnicos:

Elementos de la vivienda

Elementos	Características
Muros	Primer nivel: ladrillo king kong, espesor 14 cm, sin tarrajeo todos en sentido X-X Segundo Nivel: ladrillo pandereta, espesor 10 cm, con tarrajeo.
Techo	Ladrillo de techo 30x30x15cm, Espesor total 0.20 m, Ancho de vigueta 0.10 m
Coumnas	Dimensiones: 35x25 Altura 3.2 m en primer piso y 2.55 en segundo piso, 6 aceros de 1/2", estribos 3/8"
Vigas	Vigas Peraltadas: 25x40cm solo en primer nivel, 6 aceros longitudinales de 1/2", estribos 3/8" Vigas Chatas: 30x20cm en primer y segundo nivel 6 aceros longitudinales de 1/2", estribos 3/8"

Gráficos:





**FICHA DE ENCUESTA DE EDIFICACIONES DE CONCRETO
ARMADO EN LA CIUDAD DE ESPINAR**

Antecedentes

Vivienda N°:

Ubicación:

Dirección técnica en el diseño:

Dirección técnica en la construcción:

Pisos construidos: Pisos proyectados:

Antigüedad de la vivienda:

Topografía y geología:

Estado de la vivienda

Secuencia de construcción de la vivienda

Aspectos técnicos:

Elementos de la vivienda

Elementos	Características
Muros	Muros no portantes con ladrillos king kong artesanales
Techo	Losa aligerada de 20cm
Coumnas	Columna I 25x50 Columna II 25x40 Acero corrugado G-60
Vigas	Viga 25x40 Acero corrugado G-60

Gráficos:

