



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ESCUELA DE POSGRADO

**PROGRAMA ACADÉMICO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**

**Vulnerabilidad sísmica y respuesta estructural no lineal en
edificaciones educativas de la provincia de Tumbes**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

AUTOR:

Quispe Aleman, Dagner Gilberto (ORCID: 0000-0002-1084-0877)

ASESORA:

Dra. Sotomayor Nunura, Gioconda del Socorro (ORCID:0000-0003-0030-7072)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño sísmico y estructural

CHICLAYO – PERÚ

2021

Dedicatoria

A mi esposa Julissa Elizabeth, a mis hijos Gabriel Alejandro y Jesús André; por su amor y comprensión.

A mi padre Alejandro Gilberto en el cielo; y, a mi madre Vilma Consuelo; por su confianza y fortaleza.

Dagner Gilberto

Agradecimiento

A Dios; por la vida, la salud y la voluntad concedidas en todo momento.

A la Escuela de Posgrado de la Universidad César Vallejo; a sus autoridades y docentes, en las personas de la Dra. Mercedes Collazos Alarcón; y, la Dra. Gioconda Sotomayor Nunura.

A mis compañeros del programa de Maestría en Ingeniería Civil.

El autor

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Tipo y diseño de investigación	13
3.2. Variables y operacionalización.....	14
3.3. Población, muestra y muestreo	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.5. Procedimiento	18
3.6. Método de análisis de datos.....	19
3.7. Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS.....	20
V. DISCUSIÓN	41
VI. CONCLUSIONES.....	47
VII. RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS	50
ANEXOS.....	56
Anexo 1: Matriz de consistencia	
Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables	
Anexo 3: Instrumentos de recolección de datos y fichas técnicas	
Anexo 4: Validación de los instrumentos	
Anexo 5: Base de datos	

Índice de tablas

Tabla 1: Número de edificaciones educativas, provincia de Tumbes.....	15
Tabla 2: Determinación de la muestra	16
Tabla 3: Valores de medición de la variable vulnerabilidad sísmica.....	20
Tabla 4: Valores de medición de la variable respuesta no lineal de estructuras.....	21
Tabla 5: Datos obtenidos del análisis de las variables (Vulnerabilidad vs Respuesta)...	21
Tabla 6: Descripción del tipo de edificación.....	22
Tabla 7: Datos obtenidos del análisis de las variables (Tipo vs Respuesta).....	23
Tabla 8: Niveles de vulnerabilidad sísmica.....	24
Tabla 9: Resumen de dimensiones de la variable vulnerabilidad sísmica.....	25
Tabla 10: Nivel de daño por control de esfuerzos.....	28
Tabla 11: Códigos de diseño para estimación de daño probable.....	34
Tabla 12: Valores de probabilidad de daño para edificaciones 780 NDSR 97.....	36
Tabla 13: Valores de probabilidad de daño para edificaciones 780 NDSR 2003.....	38
Tabla 14: Valores de probabilidad de daño para edificaciones 780 NDSR 2016.....	40

Índice de figuras

Figura 1: Esquema de diseño de investigación	13
Figura 2: Cálculo del tamaño de la muestra	16
Figura 3: Gráfico de niveles de vulnerabilidad.....	25
Figura 4: Nivel de dimensiones de la variable vulnerabilidad sísmica	26
Figura 5: Niveles de desempeño según el ATC-40.....	27
Figura 6: Niveles de desempeño para albañilería.....	27
Figura 7: Curva de capacidad bilineal en X-X (Edif.1), calculado con ASCE 41-17.....	28
Figura 8: Punto de desempeño en X-X (Edif. 1), calculado con FEMA 440.....	29
Figura 9: Curva de capacidad bilineal en X-X (Edif.2), calculado con ASCE 41-17.....	30
Figura 10: Punto de desempeño en X-X (Edif. 2), calculado con FEMA 440.....	30
Figura 11: Curva de capacidad bilineal en X-X (Edif.3), calculado con ASCE 41-17.....	31
Figura 12: Punto de desempeño en X-X (Edif. 3), calculado con FEMA 440.....	32
Figura 13: Curva de capacidad bilineal en Y-Y (Edif.3), calculado con ASCE 41-17.....	33
Figura 14: Punto de desempeño en Y-Y (Edif. 3), calculado con FEMA 440.....	33
Figura 15: Tabla 5.9d HAZUS – Parámetros para curvas de fragilidad (Pre código)	35
Figura 16: Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño – Pre código.....	36
Figura 17: Tabla 5.9c HAZUS – Parámetros para curvas de fragilidad (Código bajo)....	37
Figura 18: Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño – Código bajo.....	37
Figura 19: Tabla 5.9b HAZUS – Parámetros curvas de fragilidad (Código moderado)...	38
Figura 20: Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño en X-X – Código moderado.....	39
Figura 21: Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño en Y-Y – Código moderado.....	40

Resumen

El presente trabajo de tesis, tiene como objetivo determinar la vulnerabilidad sísmica estructural mediante la evaluación de la respuesta no lineal en edificaciones educativas construidas en la provincia de Tumbes a partir del año 1997. Se planteó un tipo de investigación básica correlacional con enfoque cuantitativo que mostró una alta relación positiva entre sus variables de estudio con un valor de 0.9496 del coeficiente de Spearman; además de un diseño no experimental, transversal – descriptivo. Para medir dimensiones de vulnerabilidad sísmica se adaptó un cuestionario elaborado en base al Manuel técnico HAZUS MR4; y, para la respuesta no lineal tanto de los componentes como del sistema estructural un cuestionario basado en la norma americana del ATC-40, cuyos resultados permitieron estimar niveles de vulnerabilidad relacionadas a la respuesta estructural para tres tipos de edificaciones educativas construidas en la provincia de Tumbes con las normas de diseño sísmico de los años 1997, 2003 y 2016. Concluyendo que la evolución de las normas de diseño sísmico en Perú, incrementaron sus parámetros de resistencia, mejorando el desempeño de las edificaciones escolares, desplazando la rigidez y fragilidad de los sistemas de albañilería por la mayor ductilidad de los sistemas de pórticos de concreto armado.

Palabras claves: vulnerabilidad, respuesta, daño, desempeño.

Abstract

The present thesis work aims to determine the structural seismic vulnerability by evaluating the non-linear response in educational buildings built in the province of Tumbes from the year 1997. A type of correlational basic research was proposed with a quantitative approach that showed a high positive relationship between its study variables with a value of 0.9496 of the Spearman coefficient; in addition to a non-experimental, cross-sectional - descriptive design. To measure dimensions of seismic vulnerability, a questionnaire prepared based on the HAZUS MR4 technical manual was adapted; and, for the non-linear response of both the components and the structural system, a questionnaire based on the American standard ATC-40, whose results allowed estimating levels of vulnerability related to the structural response for three types of educational buildings built in the province of Tumbes with the seismic design standards of the years 1997, 2003 and 2016. Concluding that the evolution of the seismic design standards in Peru, increased their resistance parameters, improving the performance of school buildings, displacing the rigidity and fragility of the masonry systems due to the greater ductility of reinforced concrete portal systems.

Keywords: vulnerability, response, damage, performance

I. INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad sísmica, es entendida como la condición de daño que podría sufrir un elemento que forma parte de un sistema estructural expuesto a riesgo sísmico. Esta condición tanto individual como en conjunto nos expresa una estimación de las pérdidas que deberán esperarse de una edificación o un conjunto de edificaciones. (The Institution of Civil Engineers, 1999; citado por Maldonado, 2019).

A nivel internacional, México, convive con una de las problemáticas más álgidas de atender sin duda alguna los eventos sísmicos; luego del ocurrido en setiembre de 2017 en Ciudad de México, se observó de acuerdo con el atlas de riesgo nacional, la mayor vulnerabilidad sísmica se presentó en edificaciones de tipo esencial. Estudios preliminares reportaron 44 edificios de entre 5 y 10 niveles que colapsaron, centros médicos y educativos reportaron daños considerables que atentaron contra la atención de heridos y damnificados. A raíz de este suceso, investigadores mexicanos, realizaron evaluaciones estructurales en base a estudios no lineales para determinar distorsiones máximas permisibles y ofrecer alternativas de reforzamiento de edificaciones existentes. (Cortés, 2020).

En Colombia, el interés en atenuar el riesgo sísmico se ha convertido en prioridad, habiendo realizado evaluaciones de la vulnerabilidad de un grupo de escuelas aplicando el método del índice prioritario formulado por Hassan y Sözen (1997) en edificaciones de concreto reforzado de poca altura, referenciando las que presentan una mayor vulnerabilidad; y, que requieren de evaluación detallada. El 60% de este grupo de edificaciones, identificadas como vulnerables, propensas a sufrir gran daño o daño cercano al colapso, ante un evento sísmico intenso que permanece como amenaza latente en esta parte de la región continental. (Zora y Acevedo; 2019).

En Ecuador, luego del terremoto de Pedernales (Magnitud 7.8 MW) en abril de 2016, implementaron procedimientos de evaluación de vulnerabilidad sísmica de forma individual, empleando para ello las normas americanas ASCE/SEI 41 y FEMA P-154, compararon los daños que sufrieron siete edificios educacionales ubicados en un radio de 171 km del epicentro, específicamente en la ciudad de

Manta, justificando la importancia y la necesidad de contar con procedimientos de estimación de daños a fin de determinar con mayor precisión el riesgo sísmico para implementar estrategias de refuerzo. (Rodríguez, Aguilar y Palazzo; 2021).

La respuesta no lineal de una estructura, aporta procedimientos de cálculo para obtener esfuerzos y deformaciones inelásticas de los elementos de una edificación que afrontaría un terremoto de gran magnitud. Mediante la aplicación de cargas laterales monótonamente crecientes, un modelo representativo de la edificación, con similares características físicas de comportamiento mecánico, se desplaza horizontalmente excediendo el rango elástico de deformación hasta llegar al límite de su capacidad. Este comportamiento, en su función espectral nos permitirá determinar niveles de fragilidad relacionados con la vulnerabilidad estructural de la edificación. (ASCE/SEI 41-17, 2017).

En El Salvador, país centroamericano con alta sismicidad; uno de los más poblados de América, donde se han implementado métodos analíticos que representan el comportamiento estructural y permiten determinar la respuesta no lineal de un colectivo característico de estructuras sometidas a niveles de intensidad sísmica variables; posteriormente, mediante métodos estadísticos, procesan los niveles de daño encontrado, generando gráficamente las denominadas curvas de fragilidad que reportan una estimación de pérdidas ante futuros eventos sísmicos. (Alas y Grijalva; 2018).

En Colombia, las teorías de desempeño sísmico llevaron a reformular el concepto mismo de comportamiento no lineal de estructuras, adecuando la filosofía de solo rigidizarlas con la intención que cumplan con la capacidad de atender satisfactoriamente un evento de esta naturaleza, se tomó en cuenta que dicho comportamiento se caracterizó por el desempeño inelástico de sus elementos estructurales frente a cargas sísmicas, que generan estados de cargas cíclicas con consecuente pérdida de rigidez local de los elementos y pérdida de la rigidez global de la estructura. (Mafla, 2018).

En Perú, se han desarrollado diversas metodologías de evaluación del comportamiento no lineal de estructuras que refieren una cuantificación de pérdidas en edificios de concreto armado y albañilería, siendo la más reciente la

metodología de curvas de fragilidad de Abrams y Shinozuka (1997), estudio que representa gráficamente la relación entre la intensidad sísmica y el daño producido, concluyendo para el caso de colegios peruanos, que las curvas de fragilidad estiman con razonable aceptación, las pérdidas por daños sísmicos, tomando en cuenta los grados de incertidumbre presentes en la construcción de la edificación y su respuesta como sistema estructural. (Ruiz, 2018).

Luego de lo mencionado se plantea la siguiente interrogante ¿En qué medida se puede determinar la vulnerabilidad sísmica analizando la respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas en la provincia de Tumbes?

Se justifica la investigación, debido a que la provincia de Tumbes, se asienta en una zona de alta sismicidad, en donde la colisión de los bordes de contacto de las placas oceánica continental, generan un movimiento denominado subducción; este fenómeno, es el principal responsable de la ocurrencia de sismos de gran intensidad, larga duración y elevado número de réplicas similares al sismo principal en la superficie terrestre. A pesar de ello, Tumbes no presenta investigaciones relacionadas, que determinen la vulnerabilidad en edificaciones de carácter esencial como son las edificaciones educativas.

El objetivo general es Determinar la relación existente entre la vulnerabilidad sísmica y la respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas en la provincia de Tumbes. Y como objetivos específicos: Determinar la relación entre los niveles de respuesta no lineal de estructuras y el tipo de edificación sismorresistente construida en la provincia de Tumbes. Identificar niveles de vulnerabilidad por comportamiento sísmico en las edificaciones educativas existentes. Aplicar los procedimientos del análisis no lineal para calcular valores de respuesta en los sistemas estructurales existentes. Evaluar las condiciones de vulnerabilidad en las edificaciones educativas existentes, mediante la estimación de la probabilidad de daño acorde a su norma de diseño sismorresistente.

Por último, se formula la siguiente hipótesis: Es posible determinar la vulnerabilidad sísmica analizando la respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes.

II. MARCO TEÓRICO

Antecedentes relacionados con la investigación, a nivel internacional:

Garzón (España, 2020) en su tesis *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Aplicación de edificios convencionales, de especial importancia y esenciales*, propone un estudio para conocer el grado de vulnerabilidad sísmica en edificaciones esenciales, identificó causas que alientan su comportamiento inadecuado a elevadas intensidades sísmicas, ponderó entre otros aspectos los geométricos, constructivos y estructurales, evaluó vulnerabilidad sísmica mediante métodos cualitativos: escalas macrosísmicas MSK-64 y EMS-98 que estiman daños por apreciación del evaluador empleando estados que van de pocos (5%) a la mayoría (75%) para la escala MKS-64; y, grado 1 (leve), hasta el grado 5 (destrucción) para la escala EMS-98, evaluó el daño con matrices de probabilidad en base a la utilización estadística de criterios de expertos; además, utilizó el manual técnico HAZUS desarrollado en la norma FEMA 178, sus valores de distorsión tanto angular y por desplazamiento expresados en la gráfica de la capacidad estructural determinada con un procedimiento no lineal estático. Concluyó que la evaluación de la vulnerabilidad física de edificios esenciales debe basarse en modelos numéricos que representen información a detalle de la estructura del edificio. Este antecedente aporta a mi investigación complementando el empleo de la metodología analítica en la determinación de la vulnerabilidad en una edificación de tipo esencial en una zona altamente sísmica como es la provincia de Tumbes.

Orozco (Guatemala, 2019) en su tesis *Análisis de vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería confinada, mediante análisis no lineal de cargas laterales incrementales en Guatemala*, evaluó los cambios en la metodología constructiva de este país, a causa de los daños ocasionados por los terremotos de 1976 y de 2012, daños que en su mayoría se produjeron por cortante (falla en diagonal) o por compresión en muros de mampostería confinada. Para su evaluación numérica mediante análisis no lineales propone el método de columna ancha, integrando un sistema de pórticos unidos a losa de rigidez infinita que simule un diafragma rígido. Desarrolló la curva de capacidad para la evaluación

del desempeño y curvas de fragilidad en muros de mampostería confinada para determinar porcentajes de daño esperado. Concluyó que, en Guatemala, la vulnerabilidad en edificaciones de mampostería es relevante dada la informalidad de las construcciones y el desordenado crecimiento poblacional; además, la metodología propuesta por el FEMA 440 se aplica a fallas por cortante para bajos desplazamientos. Los resultados sirven de aporte en la presente investigación, como alternativa para analizar los muros de albañilería confinada que conforman las edificaciones educativas, y poder desarrollar con mayor confiabilidad la determinación de su capacidad estructural mediante procedimientos de análisis inelástico.

Alas y Grijalva (El Salvador, 2018) en su tesis *evaluación de la vulnerabilidad sísmica, por medio de curvas de fragilidad, utilizando el análisis dinámico no lineal incremental*, grafican curvas de fragilidad para determinar qué tan probable será exceder el límite de daño respecto a una determinada intensidad sísmica, se enfocaron en edificaciones públicas educacionales de baja altura, construidas con pórticos de concreto armado, combinados con muros de albañilería reforzada, ubicados en territorio afectado por sismos intensos hace más de un siglo. Aplicaron la metodología del análisis dinámico no lineal incremental, extrajeron la respuesta estructural para diferentes niveles de demanda sísmica, excediendo los dominios del comportamiento elástico llegando al colapso global, utilizando registros obtenidos de las redes acelerográficas distribuidas en todo el territorio salvadoreño. Estimaron estados de daño usando la metodología del Comité Visión 2000 (SEAOC, 1995). Concluyeron que, ante la tipología de edificación estudiada, la ocurrencia de un terremoto que represente las características de respuesta para amenaza sísmica que se produciría en El Salvador, se tendría una probabilidad menor al 3% de presentar daño completo, menor al 8.5% de obtener daño severo, entre un 94% y 100% de obtener daño moderado, finalmente un 100% de probabilidad de obtener daño leve. Esta información interesa de sobremanera a nuestra investigación, debido a que la provincia de Tumbes comparte características de alta sismicidad con efecto potencial de subducción de placas tectónicas, que nos podría servir como antecedente para advertir efectos destructivos en edificaciones locales.

A nivel nacional; Maldonado (Perú, 2019) en su tesis *Estimación de funciones de vulnerabilidad sísmica en edificaciones con base en procedimientos probabilísticos*, estimó las pérdidas por sismo mediante métodos analíticos, empleados en regiones en las que el prolongado silencio sísmico limita la observación de daños. Con el objetivo de brindar aportes a la meta de reducir las condiciones de vulnerabilidad sísmica de edificaciones, plantea usar el software de simulación PSVT 2015 (Probabilistic Seismic Vulnerability Tool) para edificaciones comunes de poca altura y obteniendo valores de respuesta representados en modelos de un grado de libertad no lineales. Los resultados en una edificación esencial (aulas) representados en curvas de fragilidad para componentes estructurales y no estructurales, los estima para una intensidad sísmica PGA de 0.35g, un 90% se producirá daño leve a moderado, mientras que el componente no estructural reflejó un 58% de sufrir daño severo a completo; además, en comparación con una edificación de uso común, para una aceleración PGA de 3 m/s², la edificación esencial presentó un 32% de vulnerabilidad frente a un 42% para la edificación común. Concluyó que, analizar una estructura dentro del dominio inelástico el profesional a cargo del proyecto estructural tendrá mayor conocimiento de los límites de comportamiento de la edificación, frente a una perturbación de origen sísmico. Los resultados de este antecedente, justifican el empleo de análisis inelástico en la presente investigación, se considera que se puede aportar a estimar vulnerabilidad sísmica como una contribución a la prevención de daños, pérdidas humanas y materiales.

Pérez (Perú, 2019) en su tesis *Evaluación del desempeño sísmico en edificaciones esenciales mediante la aplicación del análisis inelástico por desplazamientos*, evaluó el comportamiento sísmico de una edificación existente de tipo educativo mediante la metodología del diseño por desempeño. Realizó el modelamiento de una edificación destinada para aulas de dos niveles y con el techo superior inclinado a dos aguas, ejecutando un análisis no lineal estático (pushover), dando como resultados que en la evaluación de la dirección de los muros estructurales se presenta la mayor fuerza cortante, por lo cual, de acuerdo a la aplicación de lo establecido por el FEMA 440 la edificación presentará un desempeño sísmico: “seguridad de vida”, es decir reportará daños que no

comprometerán su estabilidad estructural; asimismo, verificó que ante la ocurrencia del sismo de diseño de la norma peruana la edificación tendrá un comportamiento funcional, y no sufrirá daños estructurales de consideración. Concluyó que, si se produjeran sismos frecuentes hasta el sismo de diseño normativo la estructura tendrá un comportamiento satisfactorio, sin embargo, ante la ocurrencia de un sismo raro, se presentarán daños que comprometerían su estabilidad para afrontar réplicas. La investigación aporta al proyecto de tesis criterios de apoyo para la aplicación de los lineamientos del análisis inelástico en la determinación de daños estructurales por desplazamiento límite.

Quiroz (Perú, 2017) en su tesis *Vulnerabilidad sísmica de una edificación escolar típica módulo 780 Pre NDSR-1997 mediante modelos inelásticos*, evaluó las características de vulnerabilidad que presenta una edificación escolar ubicada en el departamento de Lima; mediante estimación porcentual del daño asociado a un límite de distorsión de entrepiso determinada por la representación bilineal equivalente de la curva de capacidad propuesta por la norma FEMA 356, relacionó el máximo desplazamiento horizontal del techo del último nivel, con los límites de deriva asociadas a una ocurrencia de daño según el ATC-40 y el SEAOC; sus resultados estiman que el módulo educativo 780 actual desarrolla un 25% de la máxima distorsión del módulo 780 pre NDSR 1997. Esto debido a la menor rigidez con la que se proyectó el módulo 780 antes de la norma de diseño sísmico. Además, la convivencia estructural de los elementos conformantes de pórticos de concreto armado con muros de albañilería que complementan la arquitectura de la edificación presentó fallas por efecto de columna corta. Concluyó que, mediante la metodología del diseño por desempeño, se puede determinar la respuesta no lineal de edificaciones, relacionando parámetros de ductilidad y amortiguamiento que reflejen su comportamiento ante diferentes solicitaciones de carga. Esta investigación garantiza la consecución de resultados confiables en base a las normas del SEAOC, ATC y FEMA que serán utilizadas en la presente investigación, considerando edificaciones similares.

En Tumbes, tanto a nivel regional como a nivel provincial, no se registran trabajos previos relacionados con el tema de la investigación.

Entre las teorías relacionadas al estudio científico de los sismos, tenemos:

La Teoría de la tectónica de placas: aparece en 1968, como un nuevo paradigma que complementó la hipótesis de la deriva continental (Wegener, 1915); y, la hipótesis de la expansión del fondo oceánico (Hess, 1960); discutida intensamente, buscó explicar el desplazamiento de la capa exterior de la corteza terrestre por efecto de la desigual distribución de calor en el interior del planeta; considera fragmentada la litósfera en placas que se apoyan en un manto que fluye por la mayor o menor densidad del material rocoso sometido a grandes cambios de temperatura, desplazándose simultáneamente hacia arriba y hacia abajo. En las fronteras de las placas tectónicas, por efecto del movimiento descrito, se producen roces que por su mecanismo de contacto generan perturbaciones sísmicas que podrían desencadenar en terremotos intensos en la superficie epicentral, el conocido fenómeno de la subducción es responsable de los más grandes terremotos producidos en el mundo. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

Se reconocen siete placas principales, dentro de las que destaca la placa Sudamericana sobre la que se asienta nuestro país; y, otras siete placas de tamaño mediano, dentro de las cuales se encuentra la placa de Nazca frente a la costa peruana; además, de más de una docena de placas más pequeñas. Nuestro país se ubica frente a una falla de borde convergente, la placa oceánica de Nazca tiene mayor densidad que la astenosfera subyacente, mientras que la placa continental Sudamericana por su menor densidad resiste la subducción, el borde frontal de la placa oceánica se introduce por debajo de la placa continental, en un ángulo de descenso pequeño que suele provocar una considerable interacción interplaca, transmitiendo a la superficie intensos y prolongados terremotos, reportados en el historial sísmico de la costa Perú-Chile.

Conocer el origen y la forma como se genera la actividad sísmica, aporta a la evaluación del daño que produce a las edificaciones, para lo cual existen numerosas metodologías:

La evaluación de la respuesta estructural no lineal, se sustenta en bases teóricas, dentro de las que podemos mencionar:

La Teoría de Diseño por Estados Límites: un elemento que forma parte de un sistema estructural, diseñado para soportar cargas convencionales, puede exceder sus esfuerzos internos por la intensidad de la acción sísmica; en el instante que los esfuerzos generados al interior del elemento igualan el valor de su resistencia teórica, se considera que dicho elemento ha alcanzado su estado límite. Consecuentemente, cuando un grupo de elementos alcanzan este comportamiento, se puede asegurar que la estructura presenta estados límite, que van desde el límite de servicio o ligero, hasta el límite último que involucra la probabilidad de colapso de la edificación. (Ottazzi, 2004)

En el diseño convencional de edificaciones, para el dimensionamiento de los elementos y el acero de refuerzo, se utiliza el estado límite último de rotura o agotamiento (Diseño por Resistencia), a partir de allí, los márgenes de seguridad buscan alejarnos de la posibilidad que la estructura alcance uno de los estados límites detallados.

Los factores de seguridad, que relacionan la resistencia y el valor tolerado de respuesta en una determinada condición de servicio (flexión, axial, cortante y torsión), garantizan que la estructura posee una resistencia superior a la demanda de cargas.

Brindamos algunas definiciones de vulnerabilidad sísmica:

Miranda (1997, citado por Reyes, 2017) manifiesta que, dentro de las principales metodologías para determinar la vulnerabilidad sísmica, se encuentran los métodos analíticos asociados a estados de daño, el parámetro utilizado es la respuesta estructural para el cálculo de la deriva máxima de entrepiso.

Bommer (1998, citado por López & Rodríguez, 2018) considera que la vulnerabilidad es el reflejo de la falta de resistencia que muestra una edificación frente a sollicitaciones sísmicas, expone una o más deficiencias del sistema estructural adoptado, desde su etapa de diseño.

Caicedo (1994, citado por Maldonado, 2019) refiere a la vulnerabilidad como una característica intrínseca de las estructuras, que guarda relación con la forma como han sido diseñadas y con el nivel de peligro de la ubicación del

proyecto, cada tipo de estructura presenta un grado de vulnerabilidad en función al comportamiento de su sistema estructural y de sus elementos conformantes.

Asimismo, brindamos definiciones de respuesta no lineal de estructuras:

Nishant (2015, citado por Poma, 2018) refiere que la relación fuerza-desplazamiento representada por la curva de capacidad es la respuesta de la estructura, obtenida por un análisis estático no lineal pushover, grafica valores de cortante en la base frente al desplazamiento lateral en algún punto a nivel del techo en etapas incrementales de carga.

Chopra & Goel (2001, citado por Huaman, 2016), indican que el cálculo de la demanda sísmica de una estructura se realiza mediante análisis estático no lineal, sometiendo a cargas monótonas distribuidas por la altura de la edificación, hasta alcanzar un desplazamiento objetivo.

El estudio de la vulnerabilidad sísmica, se asocia a estados de daño, que responden a condiciones de esfuerzo del material, del elemento estructural o de toda la edificación, permiten la evaluación de la continuidad funcional para asegurar la vida de los ocupantes y/o advertir condiciones que lleven al posterior colapso por efectos de un sismo. (López & Rodríguez, 2018). Se tendrán en cuenta las siguientes dimensiones:

El daño físico: producido en los elementos estructurales (daño local) o en el sistema estructural (daño global), se pueden establecer mediante la estimación de parámetros tales como el control de desplazamientos y la rotación plástica, los cuales han sido normalizados en documentos técnicos propuestos por ATC y FEMA. El análisis del daño global de una edificación propone el uso de matrices que caracterizan la evolución del daño individual agrupado de elementos estructurales y no estructurales. En vigas y columnas, los estados de daño local se extraen de la evaluación de su curvatura y rotación. En albañilería confinada, se definirán estados de daño según su comportamiento por corte. (Chacón, 2016). La deformación plástica, representa la capacidad que se otorga a una estructura, para soportar una alta proporción de su resistencia inicial cuando un terremoto de

gran intensidad impone grandes deformaciones, más allá del límite elástico. (Paulay & Priestley, 1990)

El daño probable: vinculado con la estimación de los niveles de vulnerabilidad. Se construyen curvas de fragilidad, en las cuales se puede medir gráficamente valores probabilísticos que aproximan la ocurrencia de un daño real por efecto sísmico de una determinada intensidad, en un escenario que analiza la aceleración y el desplazamiento espectral, la velocidad pico o la aceleración pico. (Milutinovic & Trendafiloski, 2003, citado por Garzón, 2020)

Mediremos los resultados de esta variable, en una escala ordinal tomada del manual técnico Hazus MR4, que considera los siguientes valores:

1. Ligero	2. Moderado	3. Extensivo	4. Completo
-----------	-------------	--------------	-------------

En lo relacionado a la respuesta estructural no lineal, podemos manifestar que, formaliza un análisis metódico aproximado para evaluar la respuesta de elementos y/o sistemas estructurales sometidos a intensos movimientos sísmicos; reconocida como herramienta útil para describir el comportamiento total a través de las relaciones fuerza-desplazamiento y esfuerzo-deformación. El análisis matemático no lineal, en el cual, un modelo con características de los elementos y la estructura principal, se desplaza con un aumento monótonico de la fuerza lateral, hasta exceder un desplazamiento objetivo o alcanzar la condición de colapso de la edificación, nos da referencia gráfica para evaluar otras edificaciones similares. (Manohar & Madhekar, 2015). Se tomarán en cuenta las siguientes dimensiones:

La capacidad de elementos estructurales: cuando la deformación, promueve la formación de zonas críticas de plastificación, en elementos tales como vigas y columnas, de concreto armado o de acero, se denominan rótulas por Momento – Rotación ($M - \theta$) en sus extremos. En elementos de albañilería se consideran rótulas por carga axial ($F - D$). Las rótulas que se presentan por el comportamiento en flexión ($M - \theta$), se obtienen de un diagrama momento-curvatura que resulta del análisis esfuerzo-deformación del concreto y el acero en una sección crítica del elemento; y, asumiendo una longitud de plastificación que concentra el daño a partir del extremo del elemento. (Loa, 2017)

El comportamiento inelástico para el concreto confinado y no confinado se puede representar mediante los modelos de Mander, considerando una deformación máxima de 0.004 y de 0.015 respectivamente. Asimismo, para el comportamiento del acero de refuerzo se propone el modelo de Paulay & Park, considerando una deformación máxima unitaria de 0.09 y un esfuerzo último 50% mayor al esfuerzo de fluencia. La albañilería se modeló como elementos columna de gran ancho, considerando el comportamiento por carga axial en los muros, se asume que la rótula plástica se producirá en el centro de la altura del elemento.

La capacidad del sistema estructural: que considera la representación gráfica, del valor de la fuerza cortante en la base con el desplazamiento de la parte superior del último nivel de la edificación, se extrae mediante un proceso analítico de variación ascendente de cargas laterales con consecuentes desplazamientos incrementales, denominado análisis pushover. (ATC-40, 1996)

Este análisis; nos muestra un desarrollo de puntos, con un valor de desplazamiento que corresponde a la aplicación de una fuerza horizontal en la edificación, en función a la intensidad sísmica. En el ámbito espectral, la intersección de este patrón de comportamiento, con niveles teóricos de demanda sísmica, nos presentará puntos notables denominados “puntos de desempeño”. Estos puntos representan comportamientos de coincidencia entre la energía disipada por el comportamiento histerético de la edificación durante el sismo, con el espectro elástico reducido por sus condiciones de amortiguamiento inherente. (Moscoso, 2019)

Mediremos los resultados de esta variable, en una escala ordinal que haremos extensiva con la propuesta para valores de ductilidad, que considera los siguientes valores:

1. Ocupación inmediata (IO)	2. Control de daños (DC)	3. Seguridad de vida (LS)	4. Estabilidad estructural (SS)
-----------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------------

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación:

La investigación es básica; se orientó a la comprensión de los aspectos más relevantes de la sismología, para estimar el impacto que podría producirse en los elementos de una estructura, observando las características de su respuesta inelástica. (CONCYTEC, 2018)

Tendrá un enfoque cuantitativo, que es apropiado para estimar valores numéricos, magnitudes, ocurrencia de fenómenos que nos lleven a comprobar una hipótesis. (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018)

Diseño de investigación:

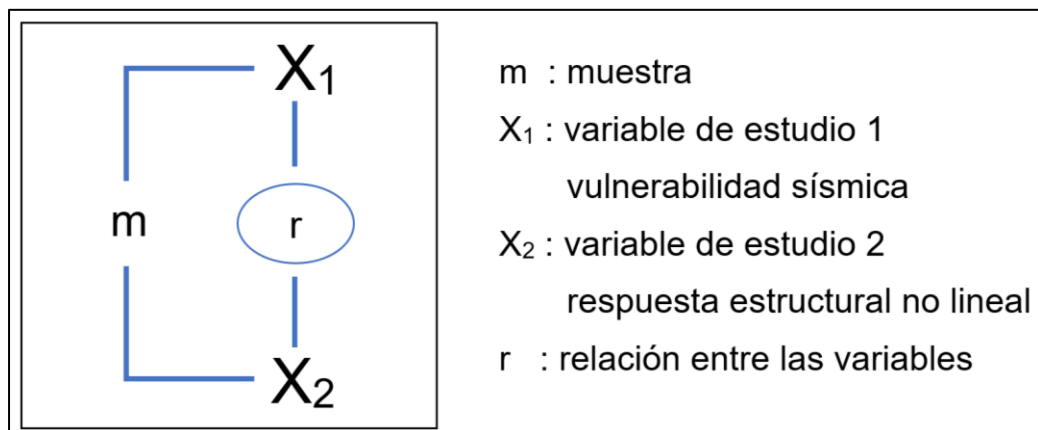
Se llevó a cabo un diseño no experimental, transversal correlacional.

Una investigación es no experimental cuando se desarrolla sin realizar manipulación deliberada de las variables de estudio, se limita a observar situaciones reales existentes, sin alteraciones. Es transversal correlacional, porque describe la relación entre dos o más variables en un mismo instante de tiempo. (Hernández et al., 2014)

Podemos interpretar el diseño, observando el siguiente esquema:

Figura 1.

Esquema de diseño de investigación.



Nota. La figura muestra la correlación transversal entre las dos variables.

3.2. Variables y operacionalización

La investigación analizó el comportamiento de dos variables de estudio: La vulnerabilidad sísmica y la respuesta estructural no lineal; seguidamente, se brinda su definición conceptual, para luego detallar sus dimensiones e indicadores en la matriz de operacionalización que figura en el Anexo 2.

Definición conceptual

Variable dependiente: Vulnerabilidad sísmica

Entendida como la condición de daño que podría sufrir un elemento que forma parte de un sistema estructural expuesto a riesgo sísmico. (Maldonado, 2019)

Variable independiente: Respuesta estructural no lineal

Son valores numéricos de esfuerzo que generan deformaciones inelásticas, producidos en los elementos de una estructura que afronta un terremoto de gran magnitud; estos datos son obtenidos mediante procedimientos analíticos de cálculo normalizado, que contemplan el comportamiento límite de la edificación. (ASCE/SEI 41-17, 2017)

Definición operacional

Variable dependiente: Vulnerabilidad sísmica

Para la operacionalización de esta variable, se tomará en cuenta los requerimientos del manual técnico HAZUS MR4.

Se evaluaron 2 dimensiones, del total de sistemas estructurales que muestran las edificaciones construidas con fines educativos en la provincia de Tumbes.

- El daño físico; y,
- El daño probable.

Variable independiente: Respuesta estructural no lineal

Para operacionalizar esta variable, se tomará como instrumento, la norma americana del ATC-40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings; asimismo, se han evaluado 2 dimensiones para el estudio de esta variable:

- Comportamiento en elementos estructurales; y,
- Capacidad del sistema estructural.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

Dentro de una determinada jurisdicción espacial, la población la constituyen todos los elementos que comparten las características solicitadas para la investigación. (Carrasco, 2005)

Se consideró que la población está constituida por todas las edificaciones para uso educativo (aulas) de las instituciones públicas de enseñanza regular en los niveles primaria y secundaria que se ubican en la provincia de Tumbes, de acuerdo al reporte del portal web Estadística de la Calidad Educativa – ESCALE, del Ministerio de Educación.

Tabla 1

Número de edificaciones educativas, provincia de Tumbes.

UBICACIÓN	NIVEL EDUCATIVO		TOTAL
	PRIMARIA	SECUNDARIA	
TUMBES	29	17	46
LA CRUZ	4	2	6
CORRALES	14	5	19
SAN JACINTO	14	9	23
SAN JUAN DE LA VIRGEN	6	4	10
PAMPAS DE HOSPITAL	17	4	21
	84	41	125

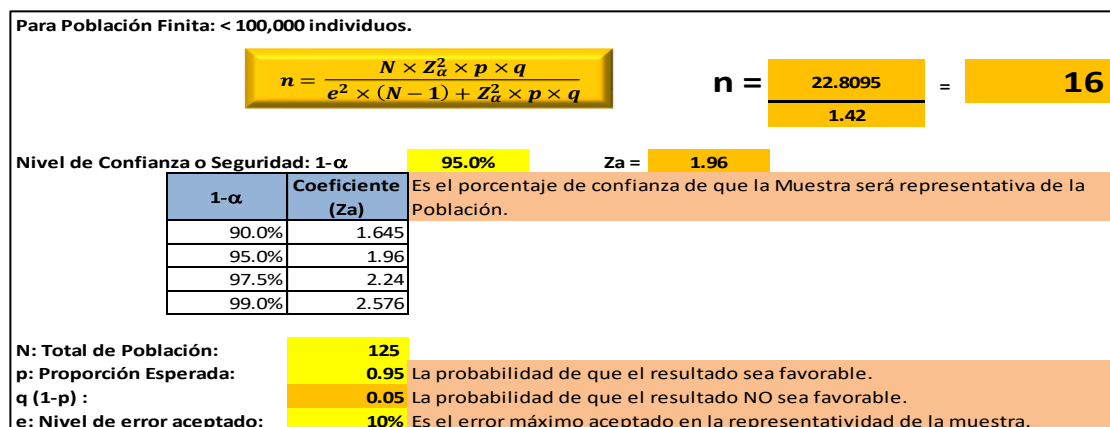
Nota. Datos de la población, tomados de la web ESCALE del MINEDU.

Muestra

Grupo de elementos escogidos de la población, comparten características esenciales, cuyos resultados permitan al investigador generalizar el comportamiento de dicha población (Carrasco, 2005).

Figura 2

Cálculo del tamaño de la muestra.



Nota. La figura muestra el cálculo de la muestra en Excel.

Constituimos la muestra con 20 elementos.

Muestreo

Muestra no probabilística, intencionalmente se han seleccionado elementos sin tomar en cuenta reglas estadísticas o matemáticas. (Carrasco, 2005).

Se adoptó como criterio de inclusión, edificaciones educativas de gestión pública, construidas dentro del ámbito urbano, a partir del año 1997 (NTP E.030).

Tabla 2

Determinación de la muestra.

UBICACIÓN	TOTAL	MUESTRA	NIVEL EDUCATIVO	
			PRIMARIA	SECUNDARIA
TUMBES	46	9	4	5
LA CRUZ	6	1	0	1
CORRALES	19	3	2	1
SAN JACINTO	23	3	2	1
SAN JUAN DE LA VIRGEN	10	1	0	1
PAMPAS DE HOSPITAL	21	3	2	1
	125	20	10	10

Nota. Datos de la muestra según su ubicación.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica, constituye una versión particular del método, involucra procedimientos científicos mediante los cuales obtenemos información válida y confiable para la investigación. Los instrumentos de medición, son los dispositivos o herramientas que utilizamos para generar datos y documentar la información que valide o rechace nuestra hipótesis. (Yuni & Urbano, 2014)

Técnica: La observación

La observación, más que la simple visualización, involucra procesos para obtener conocimientos que reflejen la realidad en esencia. (Ñaupas et al, 2014)

Se empleó la técnica de la observación, para reconocer los datos relevantes del análisis numérico y relacionarlas con parámetros normativos establecidos, de forma tal, que nos permita adecuar los resultados de la aplicación de los métodos propuestos en la tarea de obtener datos confiables.

Instrumento: Los cuestionarios

Cuando se requiere extraer un tipo de información de un grupo de individuos, podemos listar interrogantes enfocadas con un tema particular, buscando obtener datos que sean tratados estadísticamente. (Martínez, 2012)

La investigación sobre “Vulnerabilidad sísmica” y “Respuesta no lineal de estructuras” se realizó mediante la extracción de resultados producto de una práctica analítica, la cual es plasmada en cuestionarios apoyados en manuales y documentos técnicos de instituciones que investigan el comportamiento de edificaciones ante eventos sísmicos de gran intensidad producidos en diferentes partes del mundo.

Para la variable dependiente: Vulnerabilidad sísmica, estimamos parámetros de su intensidad, relacionada al nivel de daño, en una escala ordinal: 1. Ligero; 2. Moderado; 3. Extensivo; y, 4. Completo

Para la variable independiente: Respuesta no lineal de estructuras, extraemos valores del comportamiento plástico estimado en una escala ordinal de intensidad: 1. Ocupación inmediata (IO); 2. Control de daños (DC); 3. Seguridad de vida (SS); y, 4. Estabilidad estructural (SS).

Validez

La validez, veracidad o exactitud del instrumento, es condición exigible que permite medir características concretas de las variables de estudio, siempre acordes con el diseño de la investigación. (Mejía, 2005)

Para validar nuestros instrumentos, se utilizó la técnica delphi o juicio de expertos, el instrumento empleado para ambas variables fue validado por cuatro expertos bajo dos conceptos:

- Aspecto de validación; y,
- Opinión de la aplicabilidad.

Confiabilidad

La confiabilidad del instrumento, redundante en el grado de seguridad que adquiere el investigador en el proceso de establecer la coherencia de los resultados por aplicación del instrumento empleado. (Mejía, 2005)

Para determinar la confiabilidad de ambos instrumentos, se analizó la consistencia interna de cada uno mediante el cálculo del coeficiente Alpha de Cronbach.

Obteniendo para el cuestionario de la variable Vulnerabilidad sísmica un coeficiente de 0.822; y, para el cuestionario de la variable Respuesta no lineal de estructuras un coeficiente de 0.809, con lo que se determinó que ambas aplicaciones presentaron un fuerte grado de confiabilidad.

3.5. Procedimiento

El procedimiento implica, un proceso esquematizado de pasos necesarios en la obtención de la información que nos permita responder a los objetivos y validar la hipótesis de la investigación (Bernal, 2006)

El procedimiento de recolección de datos será el siguiente:

1. Seleccionar las edificaciones educativas representativas a analizar.
2. Aplicar los instrumentos para recopilar la información necesaria.
3. Validar los datos obtenidos, y garantizar que cuenten con un grado de confiabilidad suficiente.
4. Procesar los datos e ilustrar los resultados obtenidos.
5. Analizar y discutir los resultados.

3.6. Método de análisis de datos

El método redanda en el conjunto de procedimientos que nos indican el camino adecuado, para obtener los resultados propuestos. (Baena, 2017)

1. Aplicando procedimientos analíticos para ensayar modelos digitales de las edificaciones con diferentes sistemas estructurales (pórticos y albañilería confinada), establecemos mediante observación, parámetros comunes de comportamiento a fin de definir lo solicitado en los cuestionarios.
2. Luego de practicar los cuestionarios y extraer datos representativos de comportamiento de las edificaciones, procesamos en una hoja Excel para analizar y representar sus resultados mediante tablas y gráficos.
3. Se interpretaron y discutieron los resultados con carácter científico.

3.7. Aspectos éticos

La dignidad del ser humano, sustentada en la práctica de principios y valores, guían su accionar a través del camino del conocimiento con honestidad y creatividad, impulsa al investigador a realizar aportes a la ciencia propiciando nuevos esquemas sociales (Cruz, Olivares & Gonzáles, 2014)

Por ética, asumo el firme compromiso, de cumplir cabalmente los aspectos de confidencialidad, reserva, legalidad y profesionalismo; en alto grado de suficiencia a fin que la presente investigación se sustente en principios de profunda moral y apego a las buenas prácticas de la ingeniería civil.

Es mi anhelo que los resultados obtenidos, sean útiles para futuras generaciones involucradas en el tema, convirtiéndose en un aporte para beneficio de la población, y que se cumpla con un principio fundamental de la filosofía del diseño sismo resistente, el cual es la preservación de la vida.

IV. RESULTADOS

En el presente capítulo, analizamos los resultados obtenidos para ambas variables que conforman la población de nuestro estudio.

Objetivo general: Determinar la relación existente entre la vulnerabilidad sísmica y la respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas en la provincia de Tumbes.

Cuando debemos determinar correlación entre variables con escala ordinal con múltiples categorías, es conveniente la utilización del índice de correlación de Spearman (Véliz, 2011, pág. 89).

Se han establecido valores numéricos del 1 al 4, de acuerdo a la examinación de nuestros cuestionarios (instrumentos), para el estudio estadístico de nuestras variables, que presentan alto grado de confiabilidad.

Los valores obtenidos de acuerdo a la aplicación de las tablas 3 y 4, servirán para el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman; y, determinar el grado de correlación entre nuestras variables y la validez de nuestra hipótesis.

Tabla 3

Valores de medición de la variable vulnerabilidad sísmica

VULNERABILIDAD	NIVEL	Daño físico		Daño probable		TOTALES	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Bajo (ligero)	1	4	6	2	4	6	10
Medio (moderado)	2	7	10	4	5	11	15
Alto (extensivo)	3	11	13	5	7	16	20
Muy alto (completo)	4	14	16	7	8	21	24

Nota. Datos de valoración de variable vulnerabilidad sísmica, tomados del instrumento con base en el manual técnico HAZUS MR4.

Tabla 4

Valores de medición de la variable respuesta no lineal de estructuras

RESPUESTA NO LINEAL	Control esfuerzos		Desempeño		TOTALES	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Ocupación Inmediata (IO)	4	6	2	4	6	10
Control de daños (DC)	7	10	4	5	11	15
Seguridad de vida (LS)	11	13	5	7	16	20
Estabilidad estructural (SS)	14	16	7	8	21	24

Nota. Datos de valoración de variable respuesta no lineal, tomados del instrumento con base en el documento técnico ATC-40.

Tabla 5

Datos obtenidos del análisis de las variables (Vulnerabilidad vs Respuesta)

Edific.	Vulnerabilidad sísmica (X)	Respuesta no lineal (Y)
1	1	9
2	1	10
3	1	10
4	2	11
5	2	11
6	2	13
7	2	13
8	2	14
9	2	14
10	2	15
11	2	15
12	2	15
13	3	17
14	3	17
15	3	17
16	3	19
17	3	19
18	4	20
19	4	20
20	4	21

Nota: Datos ordenados ascendente.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

ρ : Coeficiente de correlación de Spearman

d : es la diferencia entre los correspondientes datos de orden de x - y.

n : número de parejas de datos.

$$\rho = 0.94962$$

PRUEBA DE HIPÓTESIS

$H_0: \rho = 0$ (No existe correlación lineal)

$H_1: \rho \neq 0$ (Existe correlación lineal)

Estadístico de prueba

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1 - \rho^2}{n - 2}}} \quad t = 12.856$$

Valor crítico: $n = 20$
 $gl = (n-2) = 18$
 $\alpha = 0.05$ 5%
 $t(\alpha/2, n-2) = 2.10$

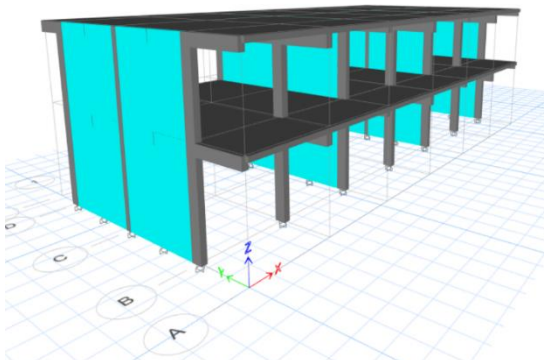
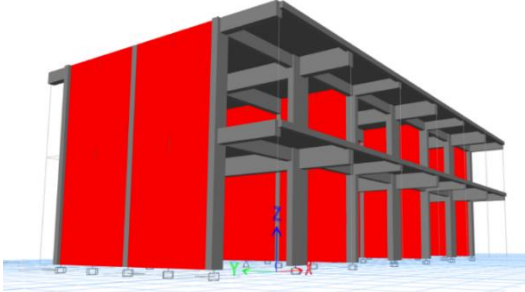
Con los datos de la tabla 6, se determinó el coeficiente de correlación de Spearman con un valor de 0.94962, lo que demuestra la existencia de una alta correlación positiva, entre ambas variables.

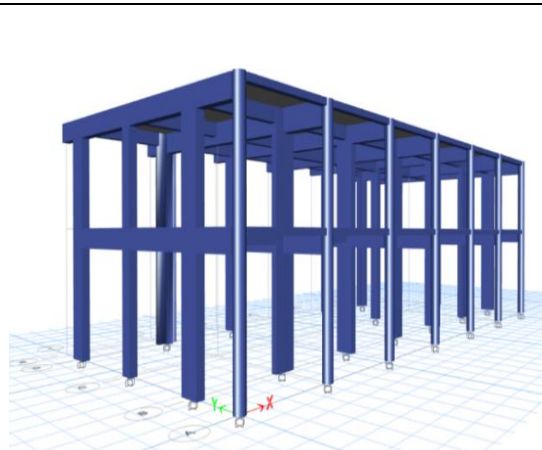
Asimismo, realizada la prueba de hipótesis, el valor de prueba es mayor que el valor crítico, por lo cual, se rechaza la hipótesis nula; y, con evidencia suficiente podemos afirmar que la hipótesis de nuestra investigación es válida. Por lo tanto: Si es posible determinar la vulnerabilidad sísmica analizando la respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes.

Objetivo específico 1: Determinar la relación entre los niveles de respuesta no lineal de estructuras y el tipo de edificación sismorresistente construida en la provincia de Tumbes.

Tabla 6

Descripción del tipo de edificación

IMAGEN DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
 <p data-bbox="395 1525 815 1559">INFES 780 post NDSR 1997</p>	<p data-bbox="919 1104 1434 1234">Diseñada bajo los requerimientos de la NTP E.030 vigente desde el año 1997.</p> <p data-bbox="919 1249 1434 1379">En la dirección longitudinal, se compone de pórticos semi rígidos de concreto armado.</p> <p data-bbox="919 1395 1434 1525">En la dirección transversal, se compone de muros de albañilería confinada.</p>
 <p data-bbox="395 1951 815 1984">INFES 780 post NDSR 2003</p>	<p data-bbox="919 1588 1434 1664">Diseñada bajo los requerimientos de la NTP E.030 modificada el año 2003.</p> <p data-bbox="919 1680 1434 1816">En la dirección longitudinal, se compone de pórticos rígidos de concreto armado (columnas T y L).</p> <p data-bbox="919 1832 1434 1962">En la dirección transversal, se compone de muros de albañilería confinada.</p>



INFES 780 post NDSR 2016

Diseñada bajo los requerimientos de la NTP E.030 modificada el año 2016. En la dirección longitudinal, se compone de pórticos rígidos de concreto armado (columnas T y L). En la dirección transversal, se compone de pórticos rígidos de concreto armado. Se refuerza con pórtico frontal de voladizo con columnas circulares.

Nota: Datos referenciales de acuerdo al tipo de edificación analizada.

Tabla 7

Datos obtenidos del análisis de las variables (Tipo vs Respuesta)

Edific.	Tipo (X)	Respuesta (Y)
2	1	9
5	1	10
7	1	10
17	1	11
19	1	11
1	2	14
3	2	13
4	2	14
8	2	13
9	2	17
12	2	15
13	2	15
16	2	17
18	2	17
20	2	15
6	3	19
10	3	19
11	3	21
14	3	20
15	3	20

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

ρ : Coeficiente de correlación de Spearman
 d : es la diferencia entre los correspondientes datos de orden de x - y.
 n : número de parejas de datos.

$\rho = 0.9282$

PRUEBA DE HIPÓTESIS

$H_0: \rho = 0$ (No existe correlación lineal)
 $H_1: \rho \neq 0$ (Existe correlación lineal)

Estadístico de prueba

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1 - \rho^2}{n - 2}}} \quad t = 10.583$$

Valor crítico: $n = 20$
 $gl = (n-2) = 18$
 $\alpha = 0.05$ 5%
 $t(\alpha/2, n-2) = 2.10$

Nota. Datos ordenados ascendente.

Con los datos de la tabla 7, se determinó el coeficiente de correlación de Spearman de 0.9282, que demuestra la existencia de una alta correlación positiva, entre la variable respuesta no lineal de estructuras y el tipo de edificación educativa con diseño sismorresistente, construida en la provincia de Tumbes.

Asimismo, realizada la prueba de hipótesis, el valor del estadístico de prueba es mayor que el valor crítico; además, el valor de correlación es diferente de cero, podemos concluir que tenemos evidencia suficiente para establecer la firme relación entre el tipo de edificación y la respuesta no lineal estructural.

Objetivo específico 2: Identificar niveles de vulnerabilidad por comportamiento sísmico en las edificaciones educativas existentes.

Los niveles de vulnerabilidad, adaptados del documento HAZUS MR4 y valorados de acuerdo a la tabla 4, se contabilizó la cantidad de edificaciones que muestran un determinado nivel de vulnerabilidad, lo que resumimos en la tabla 8.

Tabla 8

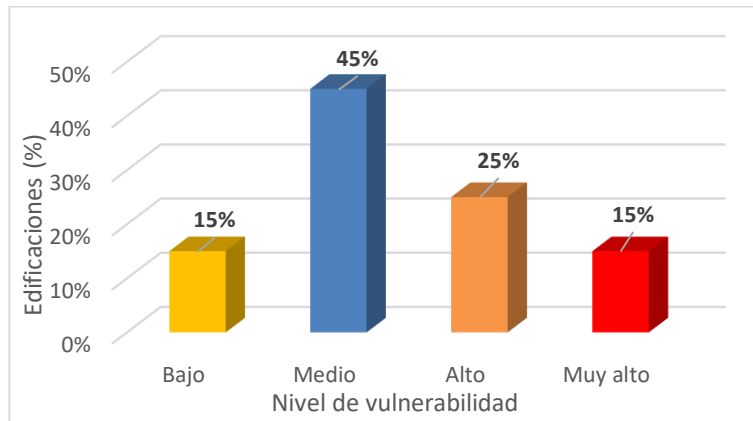
Niveles de vulnerabilidad sísmica

Nivel	Frecuencia	Porcentaje
Bajo	3	15%
Medio	9	45%
Alto	5	25%
Muy alto	3	15%
Total	20	100%

Nota: Datos obtenidos de la muestra.

Figura 3

Gráfico de niveles de vulnerabilidad



Nota. La figura muestra las frecuencias en niveles de vulnerabilidad.

En la tabla 8 y figura 3, se observa que el 45% de las edificaciones de la muestra presentan un nivel medio de vulnerabilidad sísmica, que implica que los daños ante la ocurrencia de un evento sísmico intenso podrán ser rehabilitados para recuperar las condiciones óptimas de operatividad de la edificación. El 25% de las edificaciones muestran un nivel alto de vulnerabilidad sísmica, que implica que los daños que producirá un sismo intenso podrían dañar la estructura al punto de dejarla inoperativa para soportar las réplicas, necesita reforzamiento. El 15% de las edificaciones alcanzaron un nivel de daño muy alto, significa que colapsarán ante la ocurrencia de un sismo intenso, poniendo en riesgo la vida de sus ocupantes. Además, solo el 15% de las edificaciones presentan un nivel bajo de vulnerabilidad sísmica, lo que implica que el daño que mostraría ante la ocurrencia de un evento sísmico sería mínimo y no necesitará reforzamiento.

Tabla 9

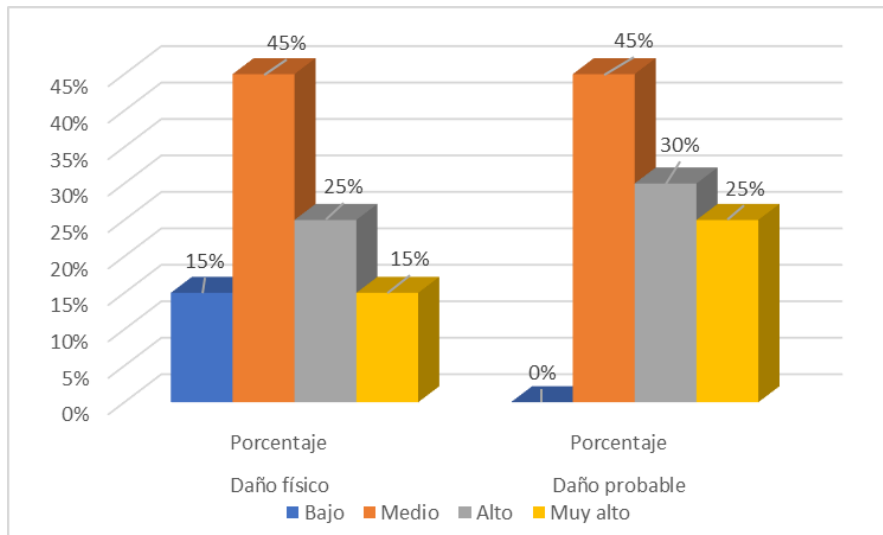
Resumen de dimensiones de la variable vulnerabilidad sísmica

Nivel	Daño físico		Daño probable	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Bajo	3	15%	0	0%
Medio	9	45%	9	45%
Alto	5	25%	6	30%
Muy alto	3	15%	5	25%
Total	20	100%	20	100%

Nota: Datos de daños estimados en las edificaciones de la muestra.

Figura 4

Nivel de dimensiones de la variable vulnerabilidad sísmica



Nota. La figura muestra frecuencias en niveles de daño.

De la tabla 9 y figura 4, se observa similitud en los porcentajes presentados por ambas dimensiones; el 45% de las edificaciones coincidieron en presentar daño físico y daño probable de nivel medio. Por lo demás, en cuanto a daño físico, el 25% presentó nivel alto, un preocupante 15% presentará un daño muy alto, mientras que el restante 15% no presentará daños de consideración. En cuanto al daño probable, además del 45% que presentó daño medio, el 30% presentó daño alto, este porcentaje sumado al 25% que presentó nivel de daños muy alto, alertaron que más de la mitad de las edificaciones probablemente no sean capaces de soportar un sismo intenso, por lo demás, ninguna edificación presentaría un probable daño bajo.

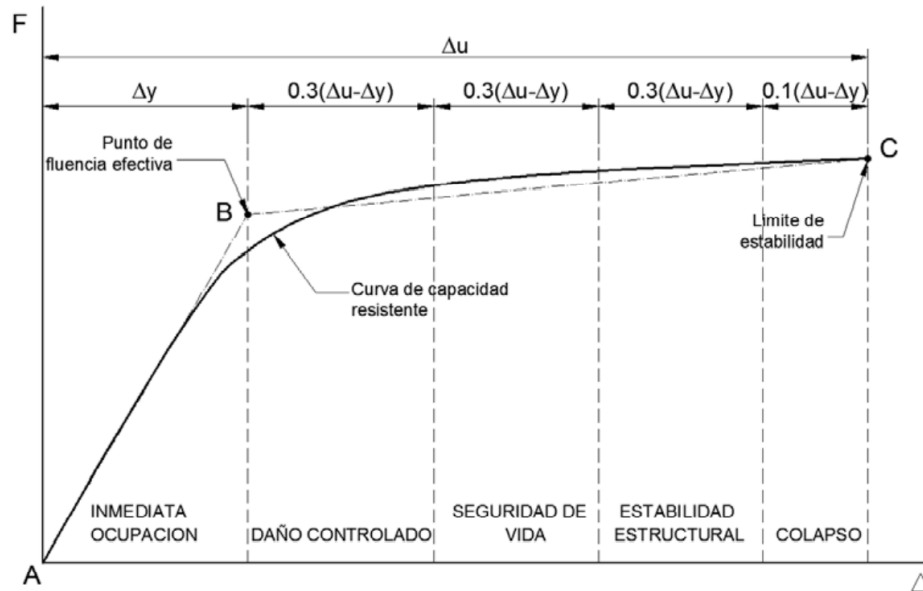
Objetivo específico 3: Aplicar los procedimientos del análisis no lineal para calcular valores de respuesta en los sistemas estructurales existentes.

En los resultados de este objetivo, se ha evaluado la respuesta sísmica de los tres tipos de edificaciones modelo 780 construidos en la provincia de Tumbes, descritos en la tabla 6, tomando en cuenta la antigüedad de su norma de diseño.

Para la evaluación del desempeño sísmico del sistema estructural, empleamos la sectorización de la curva de capacidad propuesta por el ATC-40 para sistemas estructurales de concreto armado

Figura 5

Niveles de desempeño según el ATC-40

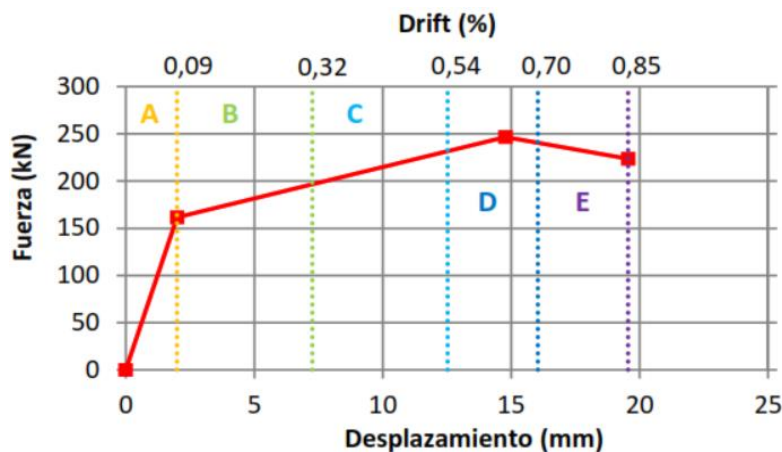


Nota. La figura muestra la sectorización de la curva de capacidad según niveles de daño, propuesta por Applied Technology Council. Fuente: ATC-40 (1996).

Para sistemas estructurales de albañilería, se propone evaluar su desempeño, empleando la curva trilineal, propuesta por Coral (2017), que fue producto de la calibración de ensayos normalizados en los laboratorios de la Universidad Católica del Perú:

Figura 6

Niveles de desempeño para albañilería



Nota. La figura muestra la sectorización de la curva de capacidad según niveles de daño en albañilería, propuesta por Coral, M. (2017) Fuente: Ensayos cíclicos en muros de albañilería confinada construidos con ladrillos King Kong de fabricación industrial – Tesis PUCP.

La zona A representa el límite de ocupación inmediata (IO); la zona B el límite de daño controlado (DC); la zona C el límite de seguridad de vida (LS); y, las zonas D y E los límites de estabilidad estructural (SS).

Para el control de esfuerzos en elementos estructurales, adecuamos la tabla propuesta por Park, Ang & Wen (1987).

Tabla 10

Nivel de daño por control de esfuerzos

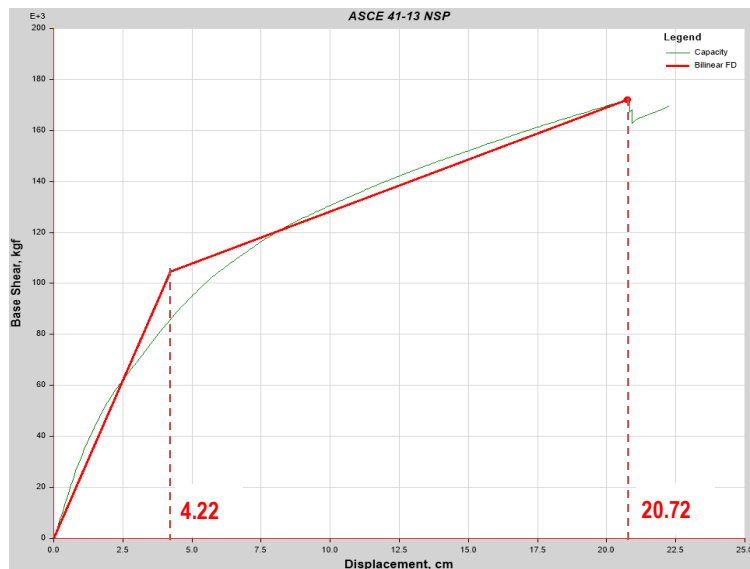
ESCALA	Ocupación inmediata (IO)	Control de daños (DC)	Seguridad de vida (LS)	Estabilidad estructural (SS)
Control de esfuerzos	Agrietamiento del concreto; $F_c > 50\% f'_c$	Fluencia del acero de refuerzo; $F_y > F'_y$	Rotura del concreto confinado; $\epsilon_u \geq 0.004$	Pandeo local del acero de refuerzo; $\epsilon_p \geq 0.019$

Nota. Datos propuestos de la teoría del comportamiento del concreto

Respuesta no lineal para edificación INFES 780 (NDS E.030 – 1997); para la dirección longitudinal X-X, la curva de capacidad:

Figura 7

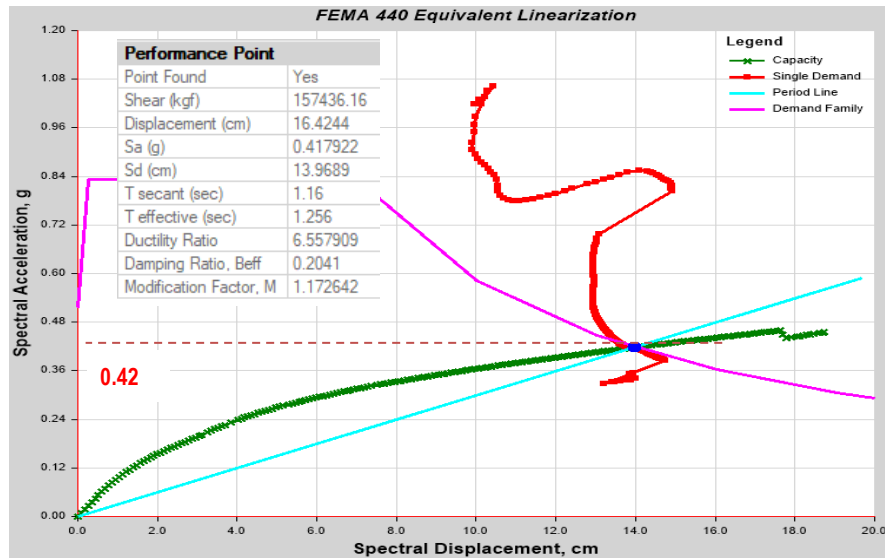
Curva de capacidad bilineal en X-X (Edif. 1), calculado con ASCE 41-17



Nota. La figura muestra el comportamiento fuerza – desplazamiento de una edificación INFES 780 (1997) en la dirección longitudinal.

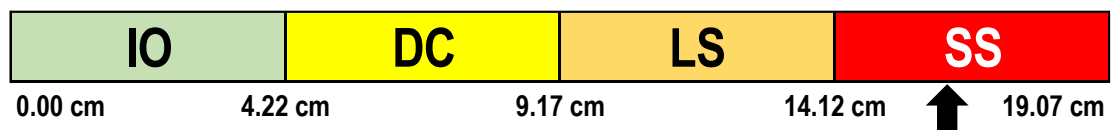
Figura 8

Punto de desempeño en X-X (Edif. 1), calculado con FEMA 440



Nota. La figura muestra el desempeño de la estructura INFES 780 (1997) ante un sismo raro, superior al sismo de diseño, mediante el método de linealización equivalente del FEMA 440.

De los valores obtenidos, podemos observar que el desplazamiento en el punto de desempeño es de 16.42cm, y ubicando conforme a los rangos de desempeño propuestos por el ATC-40 apreciados en la Figura 5, tenemos que su nivel de desempeño será Seguridad estructural (SS).

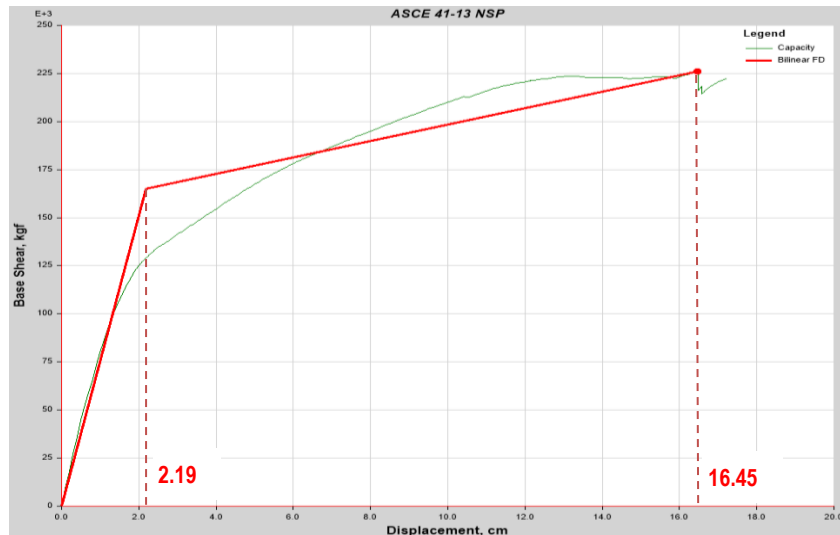


En la dirección transversal Y-Y, se aprecia una muy elevada rigidez proporcionada por los muros de albañilería confinada, los cuales limitan las derivas al dominio elástico; sin embargo, la excesiva flexibilidad de la dirección longitudinal hace que el desempeño de ésta provoque desplazamientos muy altos que no serían tolerados por la albañilería en la dirección transversal, lo cual nos lleva a asegurar que para este tipo de edificación el desempeño en ambas direcciones sería crítico (SS) en presencia de un sismo intenso.

La respuesta no lineal para edificación INFES 780 (NDS E.030 – 2003); para la dirección longitudinal X-X, en afán de limitar los desplazamientos en esta dirección, se propone rigidizar con columnas T y L; la curva de capacidad:

Figura 9

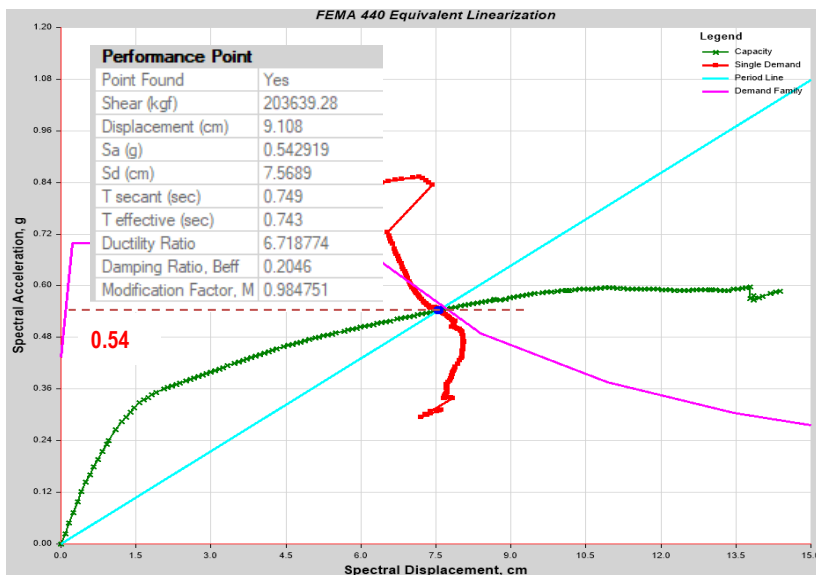
Curva de capacidad bilineal en X-X (Edif.2), calculado con ASCE 41-17



Nota. La figura muestra el comportamiento fuerza – desplazamiento de una edificación INFES 780 (2003) en la dirección longitudinal.

Figura 10

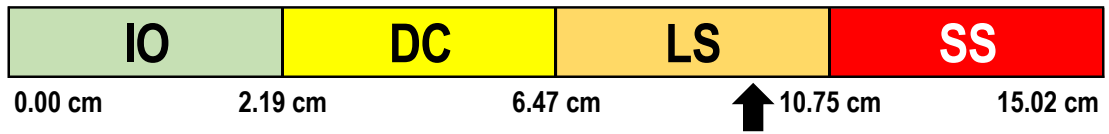
Punto de desempeño en X-X (Edif. 2), calculado con FEMA 440



Nota. La figura muestra el desempeño de la estructura INFES 780 (2003) ante un sismo raro, superior al sismo de diseño, mediante el método de linealización equivalente del FEMA 440, en la dirección longitudinal.

De los valores obtenidos, podemos observar que el desplazamiento en el punto de desempeño es de 9.11cm, y ubicando conforme a los rangos de

desempeño, propuestos por el ATC-40 apreciados en la Figura 5, tenemos que su nivel de desempeño será Seguridad de vida (LS).

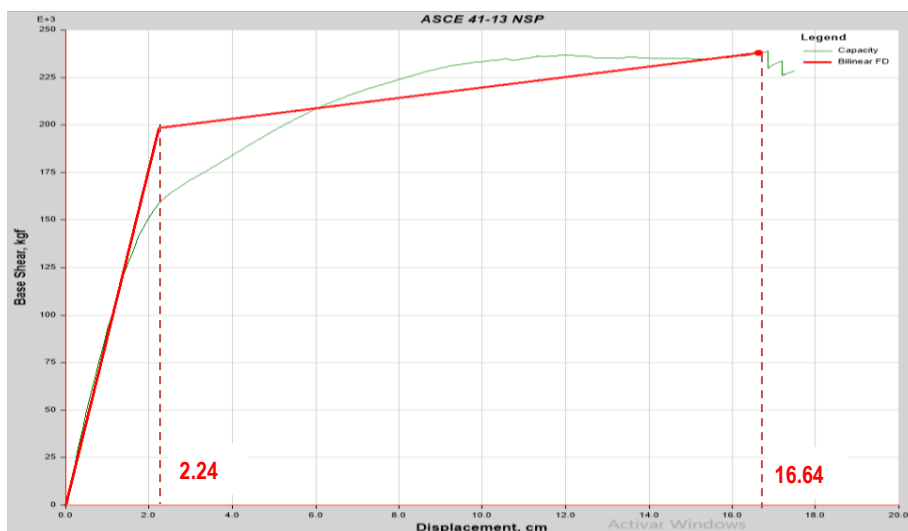


La dirección transversal Y-Y, no ofreció mejoras significativas que permitan asegurar un mejor nivel de desempeño que el mostrado en la edificación diseñada con la norma de 1997; por lo tanto, en promedio este tipo de edificación tendrá un desempeño entre seguridad de vida y daño controlado en la dirección longitudinal; y, un desempeño entre estabilidad estructural y seguridad de vida en la dirección transversal, se ponderará la evaluación de los esfuerzos en los elementos estructurales.

La respuesta no lineal para edificación INFES 780 (NDS E.030 – 2016); para la dirección longitudinal X-X, en afán de limitar los desplazamientos en esta dirección, propone adicional pódico con columnas circulares en el voladizo, la curva de capacidad:

Figura 11

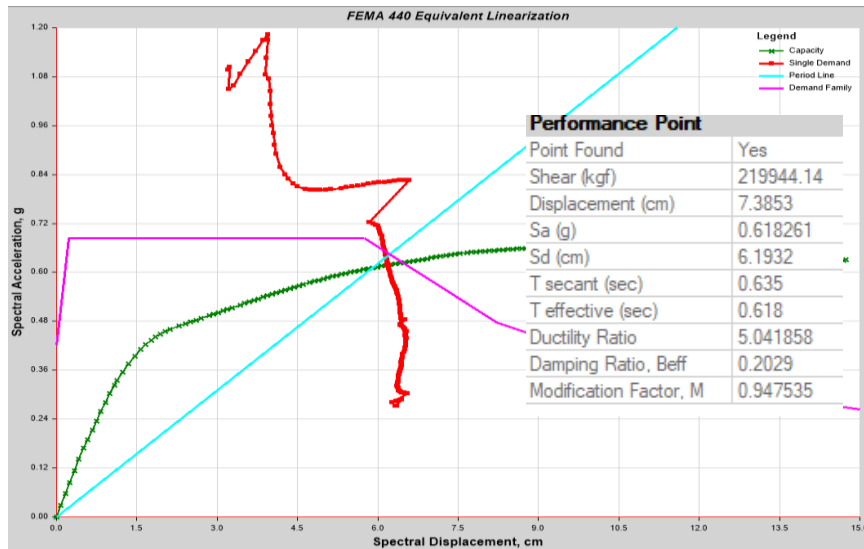
Curva de capacidad bilineal en X-X (Edif.3), calculado con ASCE 41-17



Nota. La figura muestra el comportamiento fuerza – desplazamiento de una edificación INFES 780 (2016) en la dirección longitudinal.

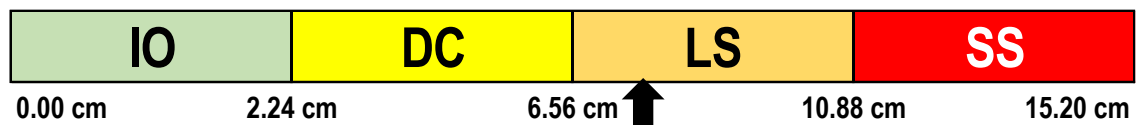
Figura 12

Punto de desempeño en X-X (Edif. 3), calculado con FEMA 440



Nota. La figura muestra el desempeño de la estructura INFES 780 (2016) ante un sismo raro, superior al sismo de diseño, mediante el método de linealización equivalente del FEMA 440, en la dirección longitudinal.

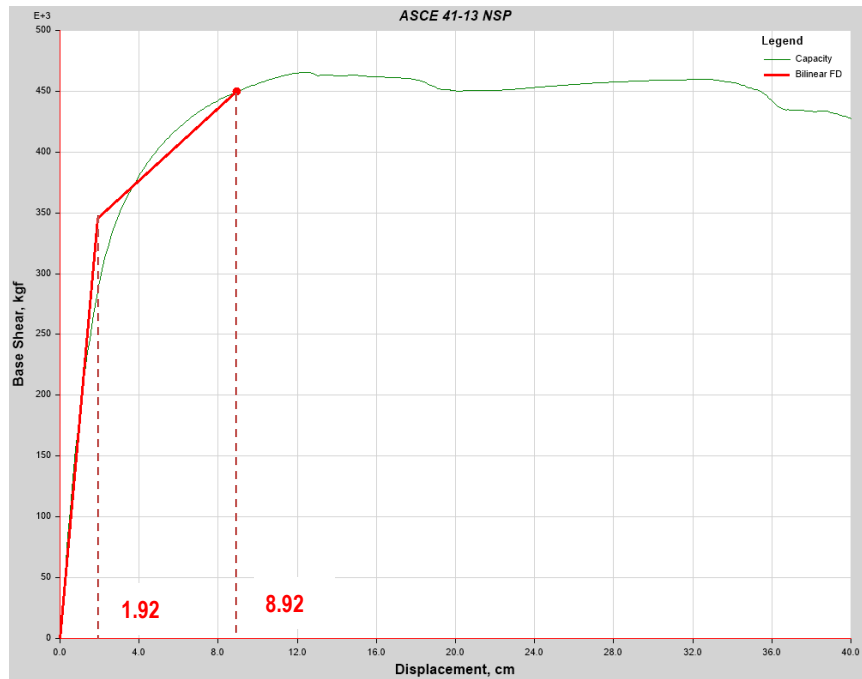
De los valores obtenidos, podemos observar que el desplazamiento en el punto de desempeño es de 7.38cm, y ubicando conforme a los rangos de desempeño propuestos por el ATC-40 apreciados en la Figura 5, tenemos que su nivel de desempeño se encuentra en el límite de Seguridad de vida (LS) y Control de daños (DC).



En la dirección transversal Y-Y, se proponen pórticos rígidos, la curva de capacidad:

Figura 13

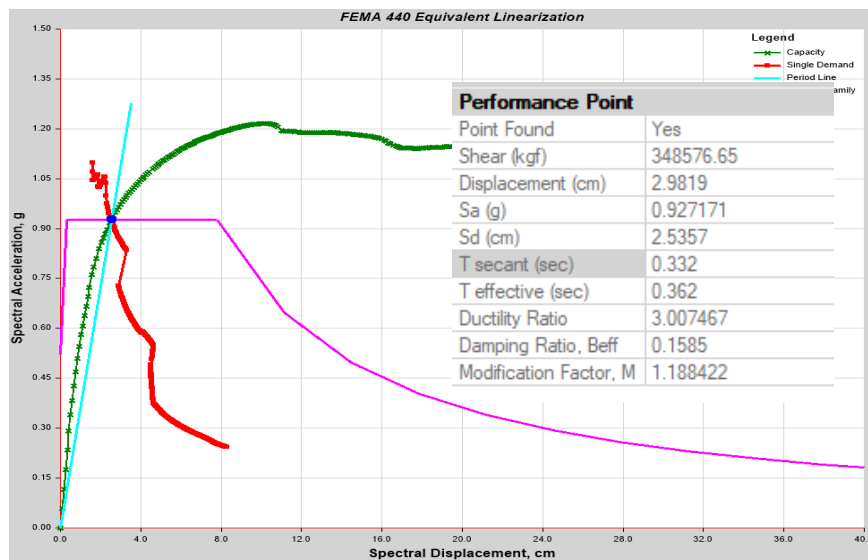
Curva de capacidad bilineal en Y-Y (Edif.3), calculado con ASCE 41-17



Nota. La figura muestra el comportamiento fuerza – desplazamiento de una edificación INFES 780 (2016) en la dirección transversal.

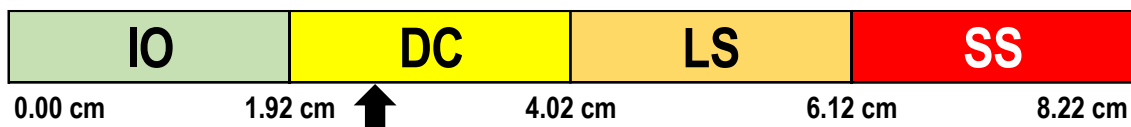
Figura 14

Punto de desempeño en Y-Y (Edif. 3), calculado con FEMA 440



Nota. La figura muestra el desempeño de la estructura INFES 780 (2016) ante un sismo raro, superior al sismo de diseño, mediante el método de linealización equivalente del FEMA 440, en la dirección transversal.

De los valores obtenidos, podemos observar que el desplazamiento en el punto de desempeño es de 2.98cm, y ubicando conforme a los rangos de desempeño propuestos por el ATC-40 apreciados en la Figura 5, tenemos que su nivel de desempeño se encuentra en el nivel de Control de daños (DC) y Ocupación inmediata (IO)



Por los resultados obtenidos, vemos que es posible analizar la respuesta estructural ni lineal de las edificaciones educativas construidas en la provincia de Tumbes a partir del año 1997, con la vigencia de la norma de diseño sismorresistente. Conforme dicha norma ha ido actualizándose, ha incorporado conceptos de rigidez y ductilidad a los sistemas estructurales de manera que puedan desempeñarse de mejor manera ante la ocurrencia de un sismo que exceda los parámetros del sismo de diseño normativo.

Objetivo específico 4: Evaluar las condiciones de vulnerabilidad en las edificaciones educativas existentes, mediante la estimación de la probabilidad de daño acorde a su norma de diseño sismorresistente.

Empleamos la metodología propuesta por el manual HAZUS MR4 desarrollada por el FEMA, para los casos de análisis de una edificación de baja altura con niveles de diseño sísmico establecidos en códigos que relacionamos con la norma peruana de la siguiente manera:

Tabla 11

Códigos de diseño para estimación de daño probable

HAZUS	NTP E.030
Pre código de diseño	Norma del año 1997
Diseño con código bajo	Norma del año 2003
Diseño con código moderado	Norma del año 2016

Nota. Datos propuestos para uso del manual técnico HAZUS MR4.

Para la evaluación, acorde a la NDSR del año 1997 (pre código de diseño) se emplean los valores siguientes:

Figura 15

Tabla 5.9d HAZUS – Parámetros para curvas de fragilidad (Pre código)

Building Properties			Spectral Displacement (inches)							
Type	Height (inches)		Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Modal	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
C1L	240	180	0.72	0.98	1.15	0.94	2.88	0.90	7.20	0.97
C1M	600	450	1.20	0.73	1.92	0.77	4.80	0.83	12.00	0.98
C1H	1440	864	1.73	0.71	2.76	0.80	6.91	0.94	17.28	1.01
C2L	240	180	0.58	1.11	1.10	1.09	2.84	1.07	7.20	0.93
C2M	600	450	0.96	0.86	1.83	0.83	4.74	0.80	12.00	0.98
C2H	1440	864	1.38	0.73	2.64	0.75	6.82	0.92	17.28	0.97
C3L	240	180	0.43	1.19	0.86	1.15	2.16	1.15	5.04	0.92
C3M	600	450	0.72	0.90	1.44	0.86	3.60	0.90	8.40	0.96
C3H	1440	864	1.04	0.73	2.07	0.75	5.18	0.90	12.10	0.95

Nota. La figura muestra los valores de beta de una edificación de concreto armado de baja altura, para graficar curvas de fragilidad con pre código (NDSR 1997)

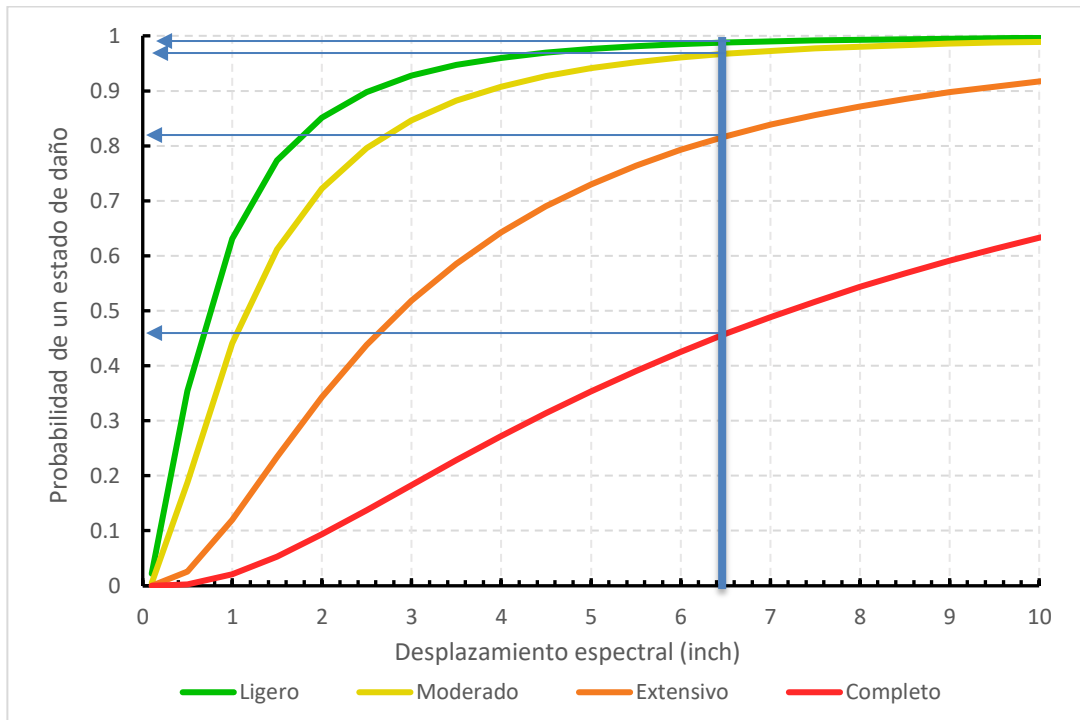
Valores de media ($S_{d,ds}$) y beta (β_{ds}), que serán empleados, para graficar funciones de fragilidad, acorde a valores de desplazamiento espectral en pulgadas:

$$P[ds|S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}} \right) \right]$$

En este tipo de edificación, se había calculado un valor de desplazamiento del punto de desempeño de 16.42cm ósea 6.5 pulgadas.

Figura 16

Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño – Pre código



Nota. La figura muestra las curvas de fragilidad para niveles de daño: ligero, moderado, extensivo y completo, en el punto de desempeño calculado por linealización equivalente (FEMA 440), con pre código (NDSR 1997).

El punto de desempeño, que es producido por un sismo raro, de mayor intensidad que el sismo de diseño normativo, producirá los siguientes valores de daño probable:

Tabla 12

Valores de probabilidad de daño para edificaciones 780 NDSR 97

Nivel de daño	Ligero	Moderado	Extensivo	Completo
Probabilidad	2.3%	15.0%	35.7%	46.0%

Nota. Datos obtenidos del gráfico de curvas de fragilidad de la figura 16.

Para la evaluación, acorde a la NDSR del año 2003 (diseño con código bajo) se emplean los valores siguientes:

Figura 17

Tabla 5.9c HAZUS – Parámetros para curvas de fragilidad (Código bajo)

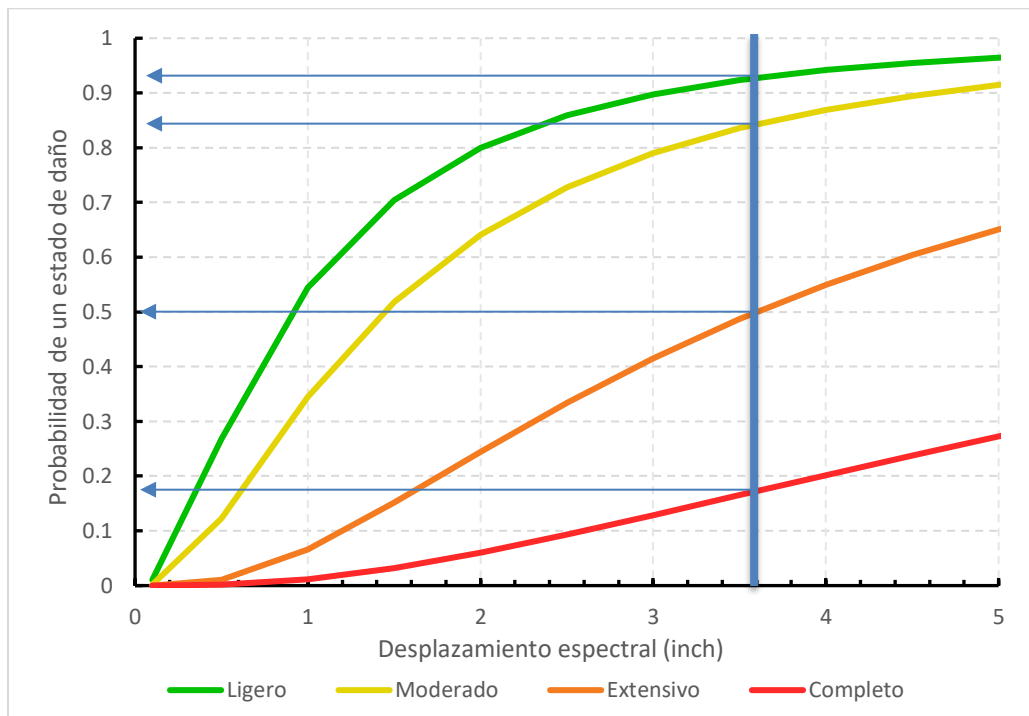
Building Properties			Spectral Displacement (inches)							
Type	Height (inches)		Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Modal	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
C1L	240	180	0.90	0.95	1.44	0.91	3.60	0.85	9.00	0.97
C1M	600	450	1.50	0.70	2.40	0.74	6.00	0.86	15.00	0.98
C1H	1440	864	2.16	0.70	3.46	0.81	8.64	0.89	21.60	0.98
C2L	240	180	0.72	1.04	1.37	1.02	3.55	0.99	9.00	0.95
C2M	600	450	1.20	0.82	2.29	0.81	5.92	0.81	15.00	0.99
C2H	1440	864	1.73	0.68	3.30	0.73	8.53	0.84	21.60	0.95
C3L	240	180	0.54	1.09	1.08	1.07	2.70	1.08	6.30	0.91
C3M	600	450	0.90	0.85	1.80	0.83	4.50	0.79	10.50	0.98
C3H	1440	864	1.30	0.71	2.59	0.74	6.48	0.90	15.12	0.97

Nota. La figura muestra los valores de beta de una edificación de concreto armado de baja altura, para graficar curvas de fragilidad con código bajo (NDSR 2003)

En este tipo de edificación, se había calculado un valor de desplazamiento del punto de desempeño de 9.11cm ósea 3.6 pulgadas.

Figura 18

Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño – Código bajo



Nota. La figura muestra las curvas de fragilidad para niveles de daño: ligero, moderado, extensivo y completo, en el punto de desempeño calculado por linealización equivalente (FEMA 440), con código bajo (NDSR 2003).

El punto de desempeño, producirá los siguientes valores de daño probable:

Tabla 13

Valores de probabilidad de daño para edificaciones 780 NDSR 2003

Nivel de daño	Ligero	Moderado	Extensivo	Completo
Probabilidad	8.5%	34.5%	31.5%	18.0%

Nota. Datos obtenidos del gráfico de curvas de fragilidad de la figura 18.

Para la evaluación, acorde a la NDSR del año 2016 (diseño con código moderado) se emplean los valores siguientes:

Figura 19

Tabla 5.9b HAZUS – Parámetros para curvas de fragilidad (Código moderado)

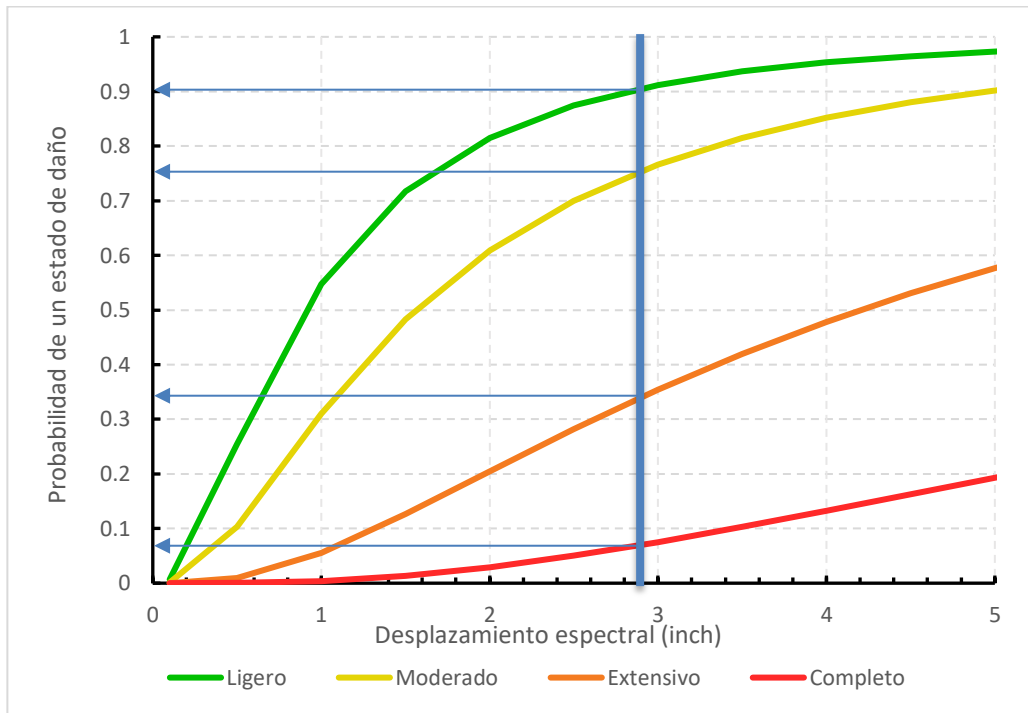
Building Properties			Spectral Displacement (inches)							
Type	Height (inches)		Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Modal	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
C1L	240	180	0.90	0.89	1.56	0.90	4.20	0.90	10.80	0.89
C1M	600	450	1.50	0.70	2.60	0.70	7.00	0.70	18.00	0.89
C1H	1440	864	2.16	0.66	3.74	0.66	10.08	0.76	25.92	0.91
C2L	240	180	0.72	0.91	1.52	0.97	4.17	1.03	10.80	0.87
C2M	600	450	1.20	0.81	2.53	0.77	6.95	0.73	18.00	0.91
C2H	1440	864	1.73	0.66	3.64	0.68	10.00	0.70	25.92	0.87
C3L										
C3M										
C3H										

Nota. La figura muestra los valores de beta de una edificación de concreto armado de baja altura, para graficar curvas de fragilidad con código moderado (NDSR 2016)

En este tipo de edificación, se había calculado un valor de desplazamiento del punto de desempeño en X-X de 7.38cm ósea 2.9 pulgadas.

Figura 20

Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño en X-X – Código moderado

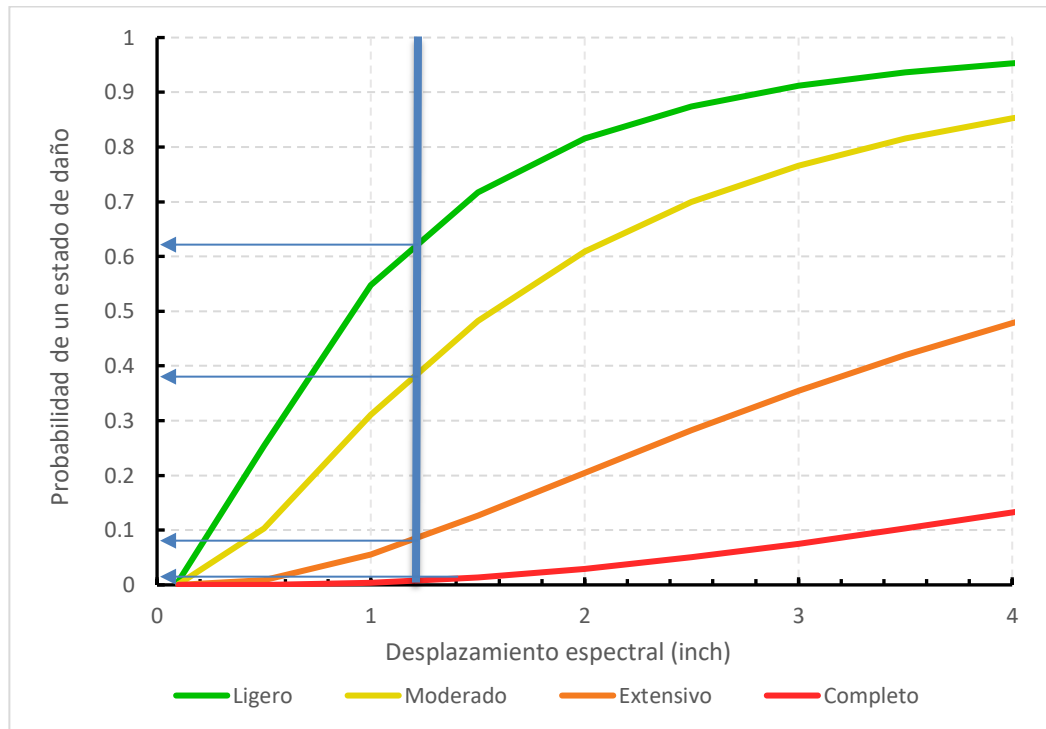


Nota. La figura muestra las curvas de fragilidad para niveles de daño: ligero, moderado, extensivo y completo, en el punto de desempeño calculado por linealización equivalente (FEMA 440), con código moderado (NDSR 2016), en la dirección longitudinal.

En este tipo de edificación, se había calculado un valor de desplazamiento del punto de desempeño en Y-Y de 2.98cm ósea 1.2 pulgadas.

Figura 21

Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño en Y-Y – Código moderado



Nota. La figura muestra las curvas de fragilidad para niveles de daño: ligero, moderado, extensivo y completo, en el punto de desempeño calculado por linealización equivalente (FEMA 440), con código moderado (NDSR 2016), en la dirección transversal.

El punto de desempeño, producirá los siguientes valores de daño probable:

Tabla 14

Valores de probabilidad de daño para edificaciones 780 NDSR 2016

Nivel de daño	Ligero	Moderado	Extensivo	Completo
Probabilidad X-X	15.0%	41.0%	25.5%	8.5%
Probabilidad Y-Y	22.0%	30.0%	7.0%	1.0%

Nota. Datos obtenidos de gráficos de curvas de fragilidad de las figuras 20 y 21.

V. DISCUSIÓN

Del objetivo general: Determinar la relación existente entre la vulnerabilidad sísmica y la respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas en la provincia de Tumbes; y, luego del análisis de los resultados obtenidos de una muestra de 20 edificaciones diseñadas con las normas de diseño sismorresistente de los años 1997, 2003 y 2016; se determinó la existencia de una correlación positiva cuyo valor fue de 0.9496 empleando el coeficiente de Spearman, que acorde a su escala se considera como alta correlación, por lo tanto, descarta la hipótesis nula y se acepta nuestra hipótesis: Es posible determinar la vulnerabilidad sísmica analizando la respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes.

Los valores de confiabilidad para la presente investigación, son los siguientes: 0.822 para la variable: vulnerabilidad sísmica; y, 0.809 para la variable: respuesta estructural no lineal; además, de una alta correlación positiva cuyo valor es de 0.9496. Estos datos guardan relación con los resultados obtenidos por Huamán (2019), que trabajó con una variable similar denominada: predicción de comportamiento sísmico por desplazamiento, para la cual, obtuvo un valor de confiabilidad de 0.9033, y un coeficiente de correlación de 0.7551, relacionando su variable de estudio con la propuesta de análisis no lineal en edificaciones. De tal manera, se puede precisar que esta herramienta de cálculo brinda resultados confiables de comportamiento sísmico de una edificación y se relacionan positivamente con sus niveles de vulnerabilidad a través del daño calculado, tal como se propone en las normas del ASCE 41 (2017) y del FEMA 440 (2005).

Asimismo, podemos incorporar el concepto de desempeño sísmico, iniciado por el SEAOC a través de su propuesta técnica Visión 2000 (1995); y, posteriormente por el ATC-40 (1996); utilizados por Samillán (2019) para analizar una edificación de ocho pisos en la ciudad de Chiclayo, donde propone parámetros de comportamiento acordes a la capacidad del sistema estructural y al valor de los desplazamientos lineales y rotacionales en sus elementos verticales y horizontales. Sus resultados le indican que su estructura tendrá un comportamiento en el límite de desempeño funcional, es decir que no presentará

daños de consideración ante la ocurrencia de un sismo intenso. Finalmente concluye que el análisis no lineal estático permitió evaluar el desempeño de su edificación.

Respecto al objetivo específico 1: Determinar la relación entre los niveles de respuesta no lineal de estructuras y el tipo de edificación sismorresistente construida en la provincia de Tumbes, obtenemos resultados que nos permiten asegurar que existe una positiva y fuerte relación entre el tipo de edificación evaluada y su respuesta no lineal estructural, esto debido a que se ha calculado un valor del coeficiente de correlación de Spearman de 0.9282.

El tipo de edificación, nos permite clasificar en la población y en la muestra, parámetros similares que comparten los sistemas estructurales, en función a las actualizaciones de la norma peruana de diseño sismorresistente desde el año 1997 y sus modificatorias en los años 2003 y 2016; obviamente, la evolución de la norma sísmica otorga mayor rigurosidad a los parámetros de diseño, por lo que las edificaciones mostraron un comportamiento diferente que es evaluado, realizando un análisis no lineal estático para cada una de ellas.

Similar criterio muestra Ramírez (2017), en su investigación sobre módulos educativos 780, ensayados instrumentalmente en laboratorio, sobre los cuales se han tomado datos reales de deformación, producidas con simulaciones dinámicas, comparó los resultados reales con los resultados analíticos, encontrando similitud en sus valores, lo que le permitió calibrar un modelo cuyo comportamiento garantice una semejanza de daños con la estructura real, identificó fallas y deficiencias experimentales proponiendo un modelo reforzado que se espera tenga mejores indicadores de desempeño sísmico.

Asimismo, Quiroz (2017) también realiza distinción entre edificaciones a fin de evaluar su comportamiento no lineal, compara los módulos INFES 780 anteriores a la norma sísmica de 1997 y la actual, clasificándolos por su número de pisos: de dos y tres niveles. Identifica la superioridad en el comportamiento de la edificación actual, concluyendo que sus valores de desplazamiento se limitan respecto a la resistencia de deformación de sus materiales frágiles como el concreto o la albañilería, prevalece la importancia de parámetros como la

ductilidad y el amortiguamiento, que le confieran a la edificación la propiedad de deformarse sin dañarse y disipar esta energía de deformación dentro del rango inelástico.

Respecto al objetivo específico 2: Identificar niveles de vulnerabilidad por comportamiento sísmico en las edificaciones educativas existentes, notamos que la mayor frecuencia es un nivel de vulnerabilidad medio con un 45% de los casos evaluados, un 15% de las edificaciones presenta un bajo nivel de vulnerabilidad, correspondiendo a edificaciones con código de diseño actual; sin embargo, preocupa que un 40% de las edificaciones muestren un nivel de vulnerabilidad alto y muy alto (25% y 15% respectivamente), esto se da fundamentalmente por la antigüedad de la norma de diseño con que se han diseñado.

Chacón y Paz (2016), identificaron cuatro tipos de edificaciones escolares construidos a lo largo de la costa peruana, identificaron sus niveles de vulnerabilidad evaluando su desempeño sísmico y sus parámetros de fragilidad, estimaron pérdidas y analizaron estados de daño locales y globales. Concluyeron que las edificaciones modelo 780 construidas posterior a la norma sísmica E.030 de 1997 mostraron un buen desempeño ante la ocurrencia de sismos intensos, estimando que a medida que los códigos de diseño se han ido actualizando aumentando su rigurosidad, estas edificaciones muestran una menor vulnerabilidad, conclusión que es compartida con nuestro trabajo de investigación.

Para el estudio de nuestra variable vulnerabilidad sísmica, se ha propuesto dos dimensiones: el daño físico y el daño probable, para lo cual, se han recopilado datos medidos por nuestro instrumento sustentado en el manual HAZUS MR4, observando que en ambas dimensiones el nivel medio de vulnerabilidad predomina; sin embargo, los niveles de vulnerabilidad alto y muy alto del daño probable alcanzan el 55% de las edificaciones analizadas, valor mayor al 40% que se tendría en el daño físico; por lo demás, sólo el 15% restante del daño físico presentará un nivel bajo de vulnerabilidad. El daño probable global de la estructura, es menos optimista que el daño físico local evaluado en elementos estructurales, estimación que nos invita a adoptar un criterio conservador de analizar el diseño de elementos estructurales con mayor detalle.

Apreciación compartida con Loa (2017), quien evaluó daños estructurales físicos mediante análisis no lineal dinámico; y, los daños probables mediante el cálculo de pérdidas esperadas con la técnica ACMAC, identificando que los modelos educativos 780 anteriores a la norma sísmica E.030 de 1997, no presentan un desempeño sísmico adecuado, sobre todo en su dirección transversal, que muestra mayor rigidez en comparación con la longitudinal. Si bien, el análisis sísmico de pérdidas advierte un valor de probabilidad de daño estructural, la evaluación de la capacidad estructural identifica los elementos con mayor debilidad y mecanismos de falla con fines de reforzamiento, el investigador propone incluir un enfoque probabilístico para la estimación de daños.

Respecto al objetivo específico 3: Aplicar los procedimientos del análisis no lineal para calcular valores de respuesta en los sistemas estructurales existentes, se practicaron procedimientos analíticos de análisis estructural no lineal, para determinar el comportamiento por desempeño, importante herramienta de evaluación resultó ser la curva de capacidad, sobre la cual se miden valores de desplazamiento en los puntos de fluencia y en los puntos de colapso de la edificación.

Las estructuras conformadas por pórticos de concreto armado, muestran elevados valores de deformación; las más antiguas diseñadas con la norma sísmica del año 1997, puede alcanzar valores de deformación de 16.42cm ante la ocurrencia de un sismo raro, indudablemente estas deformaciones no podrían ser tomadas por materiales rígidos como el concreto y la albañilería, por lo que, ubica su desempeño dentro de los límites de seguridad estructural, muy cerca al colapso. Con la evolución de la norma sísmica, a partir del año 2003, se aportó mayor rigidez a los sistemas de pórticos de concreto armado, buscando un equilibrio de desplazamientos en ambas direcciones de la edificación; no se considera un aporte definitivo, si bien mejoraron las mediciones de evaluación de desempeño y estas edificaciones podrían no llegar al colapso, si quedarán seriamente dañadas y en algunos casos irreparables. Con la aplicación de la norma vigente de diseño sismorresistente, se propone sistemas de pórticos de concreto armado en ambas direcciones, independizando los muros de albañilería; se diseñaron edificaciones con mejor desempeño sísmico, no solo se controló los

límites de deriva, sino que se procuró una mejor ductilidad del sistema y una mayor capacidad de disipación de energía.

Resultado que coincide con lo que concluye Quiroz (2017), el cual calcula los daños que se produjeron en una edificación escolar similar a que se evaluó en el presente trabajo de investigación, el módulo educativo 780 de dos pisos presenta un alto valor de deformación que la coloca en una situación cercana al colapso ante la ocurrencia de un sismo intenso.

Respecto al objetivo específico 4: Evaluar las condiciones de vulnerabilidad en las edificaciones educativas existentes, mediante la estimación del daño acorde a su norma de diseño sismorresistente; se construyeron curvas de fragilidad, sobre las cuales se midieron valores de probabilidad de daño para un tipo de edificación educativa, según las exigencias de su código de diseño sísmico, obviamente las edificaciones más antiguas obtuvieron los resultados más desfavorables: Una edificación diseñada con la norma del año 1997 tiene más del 96% de probabilidades de sufrir algún tipo de daño ante un sismo intenso; y, casi el 50% de probabilidad de colapso, datos preocupantes que podrían producir una desgracia en este tipo de edificaciones que aún existen en la provincia de Tumbes.

La evolución de la norma al año 2003, no mejoró significativamente esta realidad, de acuerdo a la presente evaluación, ante la ocurrencia de un sismo intenso en la provincia de Tumbes estas edificaciones tienen un 84% de probabilidad de sufrir algún tipo de daño; si bien, su probabilidad de colapso se ha reducido a un 18%, el daño irreparable tiene más del 31% de probabilidad de ocurrir.

En las edificaciones diseñadas con la norma actual, se aprecia que la probabilidad de colapso se ha reducido a menos del 10%; la probabilidad que la edificación sufra daños fluctúa entre el 38% y el 75% dependiendo de la dirección de análisis que resulte más afectada, el daño irreparable se ve reducido entre un 7% y 25%; y, la mayor probabilidad es que ocurran daños moderados, es decir que pudieran ser reparables posterior a un sismo intenso.

Resultado que es compartido con Maldonado (2019), quien promedió en un 50% en nivel de vulnerabilidad para una edificación educativa (esencial) con sistema de pórticos de concreto armado, concluyendo que dicho nivel de vulnerabilidad representa el 41% del costo total de la edificación.

Finalmente, se realiza especial énfasis en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones educativas en la provincia de Tumbes, la evaluación de su respuesta estructural es un método válido que nos proporcionará información eficiente para el sustento de la toma de decisiones en la rehabilitación, reforzamiento o reconstrucción de este tipo de edificaciones que tiene carácter de esencial para la población.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó que existe una relación positiva entre la vulnerabilidad sísmica en edificaciones educativas en la provincia de Tumbes; y, su respuesta estructural no lineal; el coeficiente de Spearman arrojó un valor de 0.9496 correspondiente a una correlación alta, que además valida la hipótesis de investigación.
2. Se determinó la existencia de una relación positiva entre los niveles de respuesta no lineal de estructuras y el tipo de edificación sismorresistente construida en la provincia de Tumbes, que nos permitió, localizar la vulnerabilidad presente en los elementos característicos de la muestra, que redundan en nuestra población; el coeficiente de Spearman arrojó 0.9282 de correlación.
3. Se identificó los niveles de vulnerabilidad por comportamiento sísmico en las edificaciones educativas existentes, los cuales mostraron un preocupante 40% de edificaciones con niveles de vulnerabilidad de alto a muy alto; 45% presentaron un nivel de vulnerabilidad medio; y, solo el 15% presentó un nivel bajo de vulnerabilidad.
4. Se aplicaron, los procedimientos del análisis no lineal para calcular valores de respuesta en los sistemas estructurales existentes, mostrando que los altos valores de deformación de los sistemas de pórticos de concreto armado combinados con albañilería estructural no son los más convenientes para afrontar sismos intensos, el desbalance de rigidez entre una dirección de análisis y la otra hace que cuando la más frágil falle, la otra aún continúe desarrollando deformaciones, llevando a todo el sistema estructural a la pérdida de la estabilidad estructural (colapso).
5. Se evaluó las condiciones de vulnerabilidad en las edificaciones educativas existentes, mediante la estimación del daño acorde a su norma de diseño sismorresistente, verificando que la evolución de la norma sísmica del año 1997 al año 2003 no mejoró considerablemente los niveles de vulnerabilidad ante un sismo intenso, por el contrario, se construyeron más

de este tipo de edificaciones que en la actualidad deberán ser reforzadas o reconstruidas.

6. Se determinó, que existe un alto nivel de vulnerabilidad global en las edificaciones educativas en la provincia de Tumbes, la evaluación de su sistema estructural es solo una parte del estudio general, queda pendiente de evaluación otros factores como el tipo de suelo, las deficiencias constructivas apreciables y la inadecuada aplicación de los códigos y normas de diseño sismorresistente.

VII. RECOMENDACIONES

Se mencionan las siguientes recomendaciones:

A los profesionales de ingeniería civil de las unidades formuladoras y ejecutoras de proyectos de infraestructura educativa de las entidades públicas, valorar la evaluación del comportamiento no lineal de las estructuras que forman parte de las edificaciones que se construirán en una zona altamente sísmica como lo es la provincia de Tumbes, incluir dentro de su memoria de cálculo estructural, la evaluación por desempeño y sus niveles de vulnerabilidad como garantía que dicha edificación cumplirá con su encargo social de proteger la vida de sus ocupantes, antes, durante y después de la ocurrencia de un terremoto.

A los miembros del consejo departamental Tumbes del Colegio de Ingenieros del Perú, difundir entre los profesionales afiliados, los alcances de la presente investigación, discutir sus resultados; y, proponer medidas de atención a la problemática y/o reforzamiento de ser necesario; consecuentemente, identificar las edificaciones educativas que podrían colapsar ante un sismo intenso e instruir a los profesionales de la ingeniería civil que se desempeñen como funcionarios públicos a fin de alertar a las autoridades civiles y políticas, para destinar los recursos necesarios, como medida de proteger la vida de la población.

A las autoridades académicas de la Universidad César Vallejo, profundizar los conocimientos del análisis no lineal de sistemas estructurales, para reforzar la formación de profesionales, que a futuro tendrán la responsabilidad de diseñar y construir la infraestructura, que siempre estará expuesta a riesgo sísmico. Toda la costa norte de nuestro país se encuentra asentada en una zona de alta sismicidad, el prolongado silencio sísmico acumula energía, que se podría liberar de forma súbita en perturbaciones sísmicas de gran magnitud.

REFERENCIAS

- Alas, R. y Grijalva, S. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, por medio de curvas de fragilidad, utilizando el análisis dinámico no lineal incremental* [Tesis de posgrado, Universidad de El Salvador].
- American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI 41-17, 2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Reston, Virginia, U.S.A.
- Applied Technology Council (ATC-40, 1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. Redwood City, California, U.S.A.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación (3ra ed.)*. Grupo editorial Patria – México.
- Bazán, J. (2007). *Vulnerabilidad sísmica de las viviendas de albañilería confinada en la ciudad de Cajamarca* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Bernal, C. (2006). *Metodología de la investigación (2da ed.)*. Editorial Pearson – México.
- Blanco, J. (2005). *Las estructuras de los Centros Educativos (Colegios) en el siglo XX en el Perú. Diversos proyectos de reforzamiento y ejemplos de estructuración de edificaciones de la Universidad Católica del Perú* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Boomer, J., Salazar, W. & Samayoa, R. (1998). Riesgo sísmico en la región metropolitana de San Salvador.
- https://www.prisma.org.sv/wp.content/uploads/2020/02/riesgo_sismico_en_la_RMSS.pdf
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica (1ra ed.)*. Editorial San Marcos.

- Chacón, R. y Paz, I. (2016). *Análisis de desempeño sísmico de los edificios escolares típicos 780 post 97 de la costa peruana* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC, 2018) *Reglamento de calificación, clasificación y registro de los investigadores del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación tecnológica – Reglamento RENACYT.*
- https://portal.concytec.gob.pe/images/renacyt/reglamento_renacyt_version_final.pdf
- Cortéz, C. (2020). *Vulnerabilidad sísmica de edificios en esquina durante el temblor del 19 de septiembre de 2017* [Tesis de posgrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México]
- Cruz, C., Olivares, S. y González, M. (2014). *Metodología de la investigación.* Grupo editorial Patria – México.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA 440, 2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures.* Redwood City, California, U.S.A.
- Federal Emergency Management Agency (HAZUS MR4, 2003). *Multi-hazard loss estimation methodology earthquake model.* Washington D.C. U.S.A.
- Flores, J. (1996). Un modelo del comportamiento histerético de elementos de concreto armado basado en la teoría del daño concentrado. *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*, 12(4), 411-426.
- Garzón, A. (2020). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Aplicación a edificios convencionales, de especial importancia y esenciales* [Tesis de posgrado, Universidad Politécnica de Cataluña, España].
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación (6ta ed.)*. Editorial Mc Graw Hill Interamericana – México.

- Hernández Sampieri, R y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación, las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (1ra ed.)*. Editorial Mc Graw Hill Interamericana – México.
- Huamán, J. (2016). *Predicción del comportamiento sísmico por desplazamiento mediante el análisis no lineal en las edificaciones de la universidad César vallejo* [Tesis de posgrado, Universidad César Vallejo, Perú].
- La Torre, J. (2018) *Optimización del diseño estructural, enfocado en el costo de edificaciones educativas de concreto armado* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Loa, G. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- López, A. (2018). *Efecto del ángulo de incidencia sísmica en la respuesta no-lineal de edificaciones de concreto armado con sistema dual* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- López, S. y Rodriguez, C. (2018). *Construcción de curvas de fragilidad para viviendas unifamiliares de muros de ductilidad limitada* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Lozano, G. (2019). *Detección y localización de daño estructural en construcciones históricas de tierra* Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Mafla, A. (2018). *Metodologías de análisis y evaluación del comportamiento de edificios en concreto reforzado dentro del rango inelástico* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Colombia].
- Maldonado, O. (2019). *Estimación de funciones de vulnerabilidad sísmica en edificaciones con base en procedimientos probabilísticos* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].

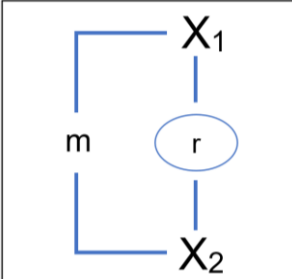
- Manohar, S. & Madhekar, S. (2015). *Seismic Design of RC Buildings. Theory and Practice*. Sello Editorial Springer.
- Martínez, H. (2012). *Metodología de la investigación, con enfoque en competencias*. Cengage Learning Editores S.A. – México.
- Mejía, E. (2005). *Técnicas e instrumentos de investigación (1ra ed.)*. Centro de producción editorial e imprenta de la Universidad Mayor de San Marcos.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú.
- Miranda, E. (1997). *Estimación de las demandas máximas de deriva entre pisos en el diseño basado en el desplazamiento. Metodologías de diseño sísmico para la próxima generación de códigos*. Editorial Balkema.
- Moscoso, J. (2019). *Evaluación del desempeño de edificaciones hospitalarias prefabricadas con aislamiento sísmico en el Perú* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E. y Villagómez, A. (2014) *Metodología de la investigación cuantitativa – cualitativa y redacción de la tesis (4ta ed.)*. Ediciones de la U.
- <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2019/03/Metodologia-de-la-investigacion-Naupas-Humberto.pdf>
- Orosco, G. (2019). *Análisis de vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería confinada, mediante análisis no lineal de cargas laterales incrementales en Guatemala* [Tesis de posgrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Ottazzi, G. (2004). *Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de diseño y comportamiento del concreto armado* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Park, R. y Paulay, T. (1988). *Estructuras de concreto reforzado (4ta ed.)*. Editorial Limusa – México.

- Paulay, T. & Priestley, M. J. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. Editorial Wiley Interscience.
- Pérez, A. (2019). *Evaluación del desempeño sísmico en edificaciones esenciales mediante la aplicación del análisis inelástico por desplazamientos* [Tesis de posgrado, Universidad César Vallejo, Perú].
- Poma, J. (2018). *Software educativo para la automatización del análisis no lineal estático pushover en estructuras de concreto armado* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Porras, M. (2019). *Metodología para la evaluación post sismo de la seguridad de las edificaciones de concreto reforzado y albañilería en el Perú* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Quiroz, E. (2017). *Vulnerabilidad sísmica de una edificación escolar típica módulo 780 Pre NDSR-1997 mediante modelos no lineales* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Ramirez, P. (2017). *Evaluación experimental de una propuesta de reforzamiento estructural para las edificaciones escolares construidas antes de 1997, Perú* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Reyes, C. (2017). *Estudio analítico de vulnerabilidad sísmica de edificios de muros de ductilidad limitada (EMDL) en la costa central del Perú* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Rodriguez, Y., Aguilar-Meléndez, A. y Palazzo, G. (2021, del 10 al 14 de mayo). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un conjunto de edificios educacionales en Ecuador [conferencia]. 26º Jornadas argentinas de ingeniería estructural, Buenos Aires, Argentina.
- Ruiz, J. (2018) *Estimación de pérdidas por sismos mediante funciones de fragilidad analíticas: caso de dos pabellones universitarios del Cusco* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].

- Samillán, R. (2019). *Análisis del desempeño sísmico no lineal estático (pushover) en una edificación de ocho pisos Chiclayo-Lambayeque* [Tesis de posgrado, Universidad César Vallejo, Perú].
- Tarback, E. J. y Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física* (8va ed.). Editorial Pearson Educación S.A. www.librosite.net/tarback
- The Institution of Civil Engineers (1999). *Estructuras resistentes a desastres*. Editorial Grupo de Desarrollo. Perú – Reino Unido.
- Velásquez, J. (2006). *Estimación de pérdidas por sismos en edificios peruanos mediante curvas de fragilidad analíticas* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Veliz, C. (2011). *Estadística para la administración y los negocios*. Editorial Pearson – México.
- Villareal, G. (2017). *No-linealidad física en edificaciones de concreto armado*. Editora & Imprenta Gráfica Norte S.R.L.
- Yucra, M. (2018). *Evaluación del desempeño sísmico de hospitales aislados en el Perú* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Yuni, J. y Urbano, C. (2014). *Técnicas para investigar. Recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación* (2da ed.). Editorial Brujas.
- Zora, F. N. & Acevedo, A. B. (2019). Índice de vulnerabilidad sísmica de escuelas del Área Metropolitana de Medellín, Colombia. *Revista EIA*, 16(32), 195-207.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivo general	Objetivos específicos	Hipótesis	Metodología	Población
¿En qué medida podremos determinar la vulnerabilidad sísmica analizando la respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas en la provincia de Tumbes?	Determinar la relación existente entre la vulnerabilidad sísmica y la respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas en la provincia de Tumbes	<p>Determinar la relación entre los niveles de respuesta no lineal de estructuras y el tipo de edificación sismorresistente construida en la provincia de Tumbes.</p> <p>Identificar niveles de vulnerabilidad por comportamiento sísmico en las edificaciones educativas existentes.</p> <p>Aplicar los procedimientos del análisis no lineal para calcular valores de respuesta en los sistemas estructurales existentes.</p> <p>Evaluar las condiciones de vulnerabilidad en las edificaciones educativas existentes, mediante la estimación de la probabilidad de daño acorde a su norma de diseño sismorresistente.</p>	Es posible determinar la vulnerabilidad sísmica analizando la respuesta estructural no lineal en edificaciones esenciales de la provincia de Tumbes.	<p>Tipo: El tipo de investigación es básica, correlacional. Enfoque cuantitativo.</p> <p>Diseño:</p>  <p>Diseño No experimental, transversal – descriptivo. M=Muestra V1= Vulnerabilidad sísmica. V2= Respuesta estructural no lineal r=Relación entre las variables.</p>	<p>Población: La población está conformada por 125 edificaciones de instituciones educativas ubicadas en la provincia de Tumbes.</p> <p>Muestra: Determinada por muestreo no probabilístico: 20 edificaciones.</p>

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Escala de medición
Vulnerabilidad sísmica	La vulnerabilidad sísmica, es entendida como el nivel de daño que podría sufrir un elemento que forma parte de un sistema estructural expuesto a riesgo sísmico. (Maldonado, 2019)	Para operacionalizar esta variable, se tomará en cuenta los lineamientos del manual técnico HAZUS MR4	Daño físico	- Control de desplazamientos - Rotación plástica	Ordinal: 1. Ligero 2. Moderado 3. Extensivo 4. Completo
			Daño probable	Curva de fragilidad	
Respuesta estructural no lineal	Son valores numéricos de esfuerzos y deformaciones inelásticas de los elementos de una edificación que afrontaría un terremoto de gran magnitud; obtenidos a través de procedimientos de cálculo normalizado. (ASCE/SEI 41-17, 2017)	Para operacionalizar esta variable, se tomará como base para elaborar nuestro instrumento, el documento normativo ATC 40	Capacidad de elementos estructurales	Control de esfuerzos	Ordinal: 1. Ocupación inmediata (IO) 2. Control de daños (DC) 3. Seguridad de vida (LS) 4. Estabilidad estructural (SS)
			Capacidad del sistema estructural	Desempeño	

Anexo 3: Instrumentos de recolección de datos y fichas técnicas

Para la variable: Vulnerabilidad sísmica

Manual técnico HAZUS MR4 (adaptado)

Instrumento de evaluación, para identificar vulnerabilidad sísmica en edificaciones escolares, por medio de la observación de resultados de análisis no lineal.

Tipo de edificación:

1. INFES post NDSR 1997	2. INFES post NDSR 2003	3. INFES post NDSR 2016
- Pórticos en X - Albañilería en Y	- Pórticos en X (Col. T y L) - Albañilería en Y	- Pórticos en X (Col. T y L) - Pórticos en Y

Denominación:

Escala	Elementos de concreto armado	Muros de albañilería confinada
1. Ligero	Comportamiento mayormente elástico, finos agrietamientos por corte y flexión. - Deriva < 1.0%	Comportamiento elástico, inicia etapa plástica, agrietamientos menores de 1mm. - Deriva \leq 0.32%
2. Moderado	Agrietamiento superficial controlado por flexión y corte, se identifican zonas potenciales de plastificación. - $1.0\% \leq$ Deriva < 2.0%	Aumentan agrietamientos de 1mm a 5mm, se producen fisuras diagonales a la mitad del muro. - $0.32\% <$ Deriva \leq 0.54%
3. Extensivo	Inicia formación de rótulas en la parte inferior de elementos verticales, y en unión de vigas, rotura del concreto de revestimiento por flexión y aplastamiento, fluencia en acero de refuerzo. - $2.0\% \leq$ Deriva < 3.5%	Inicia degradación de rigidez y resistencia, se observan grietas diagonales entre 5mm y 10mm en vértices superiores de muros. - $0.54\% <$ Deriva \leq 0.7%
4. Completo	Daño completo, falla por compresión en elementos verticales y uniones con elementos horizontales, se genera inestabilidad en la estructura. - Deriva \geq 3.5%	Degradación final de la resistencia, el muro se encuentra cerca al colapso. - Deriva > 0.7%

Instrucciones:

Con los resultados de la evaluación estructural, se identifican indicadores de comportamiento, acorde a las dimensiones propuestas.

Marcar con un aspa el casillero que represente la mejor respuesta (una por ítem).

Variable: Vulnerabilidad sísmica	Ligero	Moderado	Extensivo	Completo
<u>Dimensión: Daño directo</u>				
1. En la dirección principal, los valores de desplazamiento (deriva) indican daño físico.				
2. En la dirección transversal, los valores de desplazamiento (deriva) indican daño físico.				
3. En la dirección principal, los valores de rotación plástica indican daño físico.				
4. En la dirección transversal, los valores de rotación plástica indican daño físico.				
<u>Dimensión: Daño probable</u>				
5. En la dirección principal, los valores de fragilidad indican daño probable.				
6. En la dirección transversal, los valores de fragilidad indican daño probable.				

Para la variable: Respuesta no lineal de estructuras

Documento normativo ATC-40 (adaptado)

Instrumento de evaluación, para identificar características de respuesta no lineal de estructuras por medio de la observación de sus resultados obtenidos.

Tipo de edificación:

1. INFES post NDSR 1997	2. INFES post NDSR 2003	3. INFES post NDSR 2016
- Pórticos en X - Albañilería en Y	- Pórticos en X (Col. T y L) - Albañilería en Y	- Pórticos en X (Col. T y L) - Pórticos en Y

Denominación:

Escala	Elementos de concreto armado	Muros de albañilería confinada
1. Ocupación inmediata (IO)	Agrietamientos por flexión o cortante del concreto en algunas vigas y columnas. $f_c > 50\% f'_c$	Agrietamiento diagonal en vértices del marco del muro.
2. Control de daños (DC)	La mayoría de vigas y columnas presentan fisuras. En pórticos dúctiles, algunos elementos alcanzan el límite de resistencia del concreto no confinado, el acero longitudinal alcanza sus valores de fluencia. $F_s > F'_y$	Superficie de muros exhiben grietas diagonales u horizontales, se puede presentar aplastamiento de ladrillos en conexiones viga-columna.
3. Seguridad de vida (LS)	Algunos elementos del pórtico han alcanzado la deformación última del concreto, plasticidad en uniones viga-columna, algunos elementos muestran pandeo en refuerzo principal en columnas. $\epsilon_{uc} = 0.004$	Mayoría de muros presentan grandes grietas con desprendimiento de ladrillos, punzonamiento en muros. Deformaciones laterales apreciables.
4. Estabilidad estructural (SS)	Colapso estructural, mayoría de columnas se aprecia pandeo del acero de refuerzo. Más del 13% del área total de la edificación presenta daños completos.	Falla total de los muros, derrumbe por punzonamiento y deformación. Más del 15% del área total de la edificación presenta daños completos.

Instrucciones:

Con los resultados de la evaluación estructural, se identifican indicadores de comportamiento, acorde a las dimensiones propuestas.

Marcar con un aspa el casillero que represente la mejor respuesta (una por ítem).

Variable: Respuesta no lineal de estructuras	IO	DC	LS	SS
<u>Dimensión:</u> Capacidad en elementos estructurales				
1. Por los límites de esfuerzos desarrollados, la respuesta de los elementos verticales en la dirección longitudinal corresponde al nivel:				
2. Por los límites de esfuerzos desarrollados, la respuesta de los elementos horizontales en la dirección longitudinal corresponde al nivel:				
3. Por los límites de esfuerzos desarrollados, la respuesta de los elementos verticales en la dirección transversal corresponde al nivel:				
4. Por los límites de esfuerzos desarrollados, la respuesta de los elementos horizontales en la dirección transversal corresponde al nivel:				
<u>Dimensión:</u> Capacidad del sistema estructural				
5. Por su desempeño sísmico, la respuesta del sistema estructural en la dirección longitudinal, corresponde a:				
6. Por su desempeño sísmico, la respuesta del sistema estructural en la dirección transversal, corresponde a:				

Anexo 4: Validación de los instrumentos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del Experto: Marín Bardales Noe Humberto
- 1.2. Institución donde labora/cargo: Universidad Señor de Sipán / Docente del Área de Estructuras
- 1.3. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: **Valores de vulnerabilidad sísmica**
- 1.4. Título de la Investigación: **Vulnerabilidad sísmica y respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes**
- 1.5. Autor del Instrumento: **Manual HAZUS MR4** (adaptado por el autor)
- 1.6. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Escuela del Post Grado Universidad "César Vallejo"-Filial Chiclayo.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:


INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41- 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado					85
Objetividad	Esta expresado en conductas observables					85
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					85
Organización	Existe una organización lógica					82
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					86
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de estrategias					85
consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos					90
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores					90
Metodología	Responde a aspectos metodológicos					90
Pertinencia	El instrumento es adecuado para el propósito de la investigación					90
Promedio de Validación						

PROMEDIO DE VALORACIÓN: . **87**

III. OPINION DE LA APLICABILIDAD:

(x) El instrumento puede ser aplicado tal como está elaborado

() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado


Noe Humberto Marín Bardales
Magister en Estructuras
Reg. CIP. 149326

Chiclayo, noviembre de 2021



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del Experto: Marín Bardales Noe Humberto
- 1.2. Institución donde labora/cargo: Universidad Señor de Sipán / Docente del Área de Estructuras
- 1.3. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: **Valores de respuesta no lineal**
- 1.4. Título de la Investigación: **Vulnerabilidad sísmica y respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes**
- 1.5. Autor del Instrumento: **Documento ATC-40** (adaptado por el autor)
- 1.6. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Escuela del Post Grado Universidad "César Vallejo"-Filial Chiclayo.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

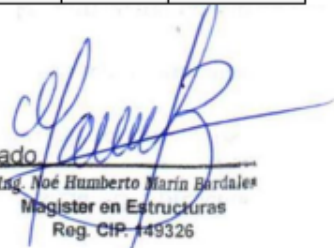
INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41- 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado					100
Objetividad	Esta expresado en conductas observables					100
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					100
Organización	Existe una organización lógica					90
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					90
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de estrategias					95
consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos					100
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores					100
Metodología	Responde a aspectos metodológicos					90
Pertinencia	El instrumento es adecuado para el propósito de la investigación					100
Promedio de Validación						

PROMEDIO DE VALORACIÓN: . 97

III. OPINION DE LA APLICABILIDAD:

(X) El instrumento puede ser aplicado tal como está elaborado.

() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.


Ing. Noé Humberto Marín Bardales
Magister en Estructuras
Reg. CIP. 449326

Chiclayo, noviembre de 2021



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del Experto: **Pérez Neyra Carlos**
- 1.2. Institución donde labora/cargo: **Pontificia Universidad católica del Perú / Ingeniero estructural especializado**
- 1.3. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: **Valores de vulnerabilidad sísmica**
- 1.4. Título de la Investigación: **Vulnerabilidad sísmica y respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes**
- 1.5. Autor del Instrumento: **Manual HAZUS MR4** (adaptado por el autor)
- 1.6. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Escuela del Post Grado Universidad "César Vallejo"-Filial Chiclayo.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41- 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado				80	
Objetividad	Esta expresado en conductas observables			60		
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología				65	
Organización	Existe una organización lógica				80	
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad				70	
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de estrategias				80	
consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos				75	
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores				75	
Metodología	Responde a aspectos metodológicos				80	
Pertinencia	El instrumento es adecuado para el propósito de la investigación				75	
Promedio de Validación				60	75.5	

PROMEDIO DE VALORACIÓN: **74.0**

III. OPINION DE LA APLICABILIDAD:

- (X) El instrumento puede ser aplicado tal como está elaborado.
() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Carlos Pérez Neyra
Profesional especializado -
Laboratorio de estructuras
CIP N° 264933

Chiclayo, noviembre de 2021



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del Experto: **Pérez Neyra Carlos**
- 1.2. Institución donde labora/cargo: **Pontificia Universidad católica del Perú / Ingeniero estructural especializado**
- 1.3. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: **Valores de respuesta no lineal**
- 1.4. Título de la Investigación: **Vulnerabilidad sísmica y respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes**
- 1.5. Autor del Instrumento: **Documento ATC-40** (adaptado por el autor)
- 1.6. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Escuela del Post Grado Universidad "César Vallejo"-Filial Chiclayo.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41- 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado					100
Objetividad	Esta expresado en conductas observables				80	
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					100
Organización	Existe una organización lógica					90
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					90
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de estrategias					95
consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos					100
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores					100
Metodología	Responde a aspectos metodológicos					90
Pertinencia	El instrumento es adecuado para el propósito de la investigación					100
Promedio de Validación					80	96.1

PROMEDIO DE VALORACIÓN: **94.5**

III. OPINION DE LA APLICABILIDAD:

- () El instrumento puede ser aplicado tal como está elaborado.
() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Carlos Pérez Neyra
Profesional especializado -
laboratorio de estructuras
CIP N° 264933

Chiclayo, noviembre de 2021



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del Experto: **Dr. Walter Antonio Campos Ugaz**
- 1.2. Institución donde labora/cargo: **Jefe de la oficina de gestión de la calidad – UNPRG.**
- 1.3. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: **Valores de vulnerabilidad sísmica**
- 1.4. Título de la Investigación: **Vulnerabilidad sísmica y respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes**
- 1.5. Autor del Instrumento: **Manual HAZUS MR4** (adaptado por el autor)
- 1.6. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Escuela del Post Grado Universidad "César Vallejo"-Filial Chiclayo.

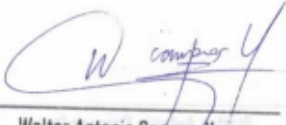
II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41- 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado					X
Objetividad	Esta expresado en conductas observables					X
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					X
Organización	Existe una organización lógica					X
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					X
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de estrategias					X
consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos					X
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores					X
Metodología	Responde a aspectos metodológicos					X
Pertinencia	El instrumento es adecuado para el propósito de la investigación					X
Promedio de Validación						100

PROMEDIO DE VALORACIÓN: Excelente 100.

III. OPINION DE LA APLICABILIDAD:

- (X) El instrumento puede ser aplicado tal como está elaborado.
() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.


Walter Antonio Campos Ugaz
Doctor en Ciencias de la Educación
Docente UNPRG - Lambayeque

Chiclayo, noviembre del 2021



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del Experto: **Dr. Walter Antonio Campos Ugaz**
- 1.2. Institución donde labora/cargo: **Jefe de la oficina de gestión de la calidad – UNPRG.**
- 1.3. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: **Valores de respuesta no lineal**
- 1.4. Título de la Investigación: **Vulnerabilidad sísmica y respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes**
- 1.5. Autor del Instrumento: **Documento ATC-40** (adaptado por el autor)
- 1.6. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Escuela del Post Grado Universidad "César Vallejo"-Filial Chiclayo.

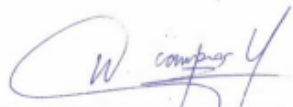
II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41- 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado					X
Objetividad	Esta expresado en conductas observables					X
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					X
Organización	Existe una organización lógica					X
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					X
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de estrategias					X
consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos					X
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores					X
Metodología	Responde a aspectos metodológicos					X
Pertinencia	El instrumento es adecuado para el propósito de la investigación					X
Promedio de Validación						100

PROMEDIO DE VALORACIÓN: Excelente 100.

III. OPINION DE LA APLICABILIDAD:

- (X) El instrumento puede ser aplicado tal como está elaborado.
() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.


Walter Antonio Campos Ugaz
Doctor en Ciencias de la Educación
Docente UNPRG - Lambayeque

Chiclayo, noviembre del 2021



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del Experto: **Samillán Farro, Ramón de Jesús**
- 1.2. Institución donde labora/cargo: **Ingeniero Civil / Magister en Estructuras**
- 1.3. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: **Valores de vulnerabilidad sísmica**
- 1.4. Título de la Investigación: **Vulnerabilidad sísmica y respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes**
- 1.5. Autor del Instrumento: **Manual HAZUS MR4** (adaptado por el autor)
- 1.6. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Escuela del Post Grado Universidad "César Vallejo"-Filial Chiclayo.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41- 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado					90
Objetividad	Esta expresado en conductas observables				80	
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología				80	
Organización	Existe una organización lógica					90
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					90
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de estrategias				80	
consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos					90
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores				80	
Metodología	Responde a aspectos metodológicos					90
Pertinencia	El instrumento es adecuado para el propósito de la investigación					90
Promedio de Validación					80	90

PROMEDIO DE VALORACIÓN: **85.0**

III. OPINION DE LA APLICABILIDAD:

- (X) El instrumento puede ser aplicado tal como está elaborado.
() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.


Ramón De Jesús Samillán Farro
INGENIERO CIVIL
CIP. 74056

Chiclayo, noviembre de 2021



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del Experto: **Samillán Farro, Ramón de Jesús**
- 1.2. Institución donde labora/cargo: **Ingeniero Civil / Magister en Estructuras**
- 1.3. **estructural especializado**
- 1.4. Nombre del Instrumento motivo de evaluación: **Valores de respuesta no lineal**
- 1.5. Título de la Investigación: **Vulnerabilidad sísmica y respuesta estructural no lineal en edificaciones educativas de la provincia de Tumbes**
- 1.6. Autor del Instrumento: **Documento ATC-40** (adaptado por el autor)
- 1.7. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Escuela del Post Grado Universidad "César Vallejo"-Filial Chiclayo.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41- 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado					100
Objetividad	Esta expresado en conductas observables					85
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					85
Organización	Existe una organización lógica					90
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					90
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de estrategias					90
consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos					100
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores					100
Metodología	Responde a aspectos metodológicos					90
Pertinencia	El instrumento es adecuado para el propósito de la investigación					100
Promedio de Validación					80	95

PROMEDIO DE VALORACIÓN: **93.0**

III. OPINION DE LA APLICABILIDAD:

- (X) El instrumento puede ser aplicado tal como está elaborado.
C () El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.




Chiclayo, noviembre de 2021

Anexo 5: Base de datos

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD
VARIABLE: VULNERABILIDAD SÍSMICA

N	VULNERABILIDAD: DIMENSIONES								TOTAL
	Daño físico					Daño probable			
	1	2	3	4	T	5	6	T	
1	2	2	3	2	9	2	3	5	14
2	2	1	2	1	6	2	2	4	10
3	2	2	2	2	8	2	3	5	13
4	2	2	3	2	9	2	3	5	14
5	2	1	2	1	6	2	2	4	10
6	4	2	3	3	12	4	4	8	20
7	2	1	2	1	6	2	2	4	10
8	2	2	2	2	8	2	3	5	13
9	3	2	3	3	11	3	4	7	18
10	4	2	3	3	12	4	4	8	20
11	4	4	4	3	15	4	4	8	23
12	2	2	3	2	9	3	3	6	15
13	2	2	3	2	9	3	3	6	15
14	4	3	4	2	13	4	4	8	21
15	4	3	4	2	13	4	4	8	21
16	3	2	3	3	11	3	4	7	18
17	2	1	3	2	8	2	2	4	12
18	3	2	3	3	11	3	4	7	18
19	2	1	3	2	8	2	2	4	12
20	2	2	3	2	9	3	3	6	15

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left[1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right]$$

K : Número de ítems = 20

Suma de Varianzas = 3.38

Vt : Varianza total = 15.44

Alfa de cronbach = 0.822

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD
 VARIABLE: RESPUESTA NO LINEAL DE ESTRUCTURAS

N	Capacidad en								TOTAL
	Elementos estructurales					Sistema estructural			
	1	2	3	4	T	5	6	T	
1	2	2	3	2	9	2	3	5	14
2	2	1	2	1	6	1	2	3	9
3	2	2	2	2	8	2	3	5	13
4	2	2	3	2	9	2	3	5	14
5	2	1	2	1	6	2	2	4	10
6	4	2	3	2	11	4	4	8	19
7	2	1	2	1	6	2	2	4	10
8	2	2	2	2	8	2	3	5	13
9	3	2	3	2	10	3	4	7	17
10	4	2	3	2	11	4	4	8	19
11	4	3	4	2	13	4	4	8	21
12	2	2	3	2	9	3	3	6	15
13	2	2	3	2	9	3	3	6	15
14	4	2	4	2	12	4	4	8	20
15	4	2	4	2	12	4	4	8	20
16	3	2	3	2	10	3	4	7	17
17	2	1	3	1	7	2	2	4	11
18	3	2	3	2	10	3	4	7	17
19	2	1	3	1	7	2	2	4	11
20	2	2	3	2	9	3	3	6	15

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left[1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right]$$

K : Número de ítems = 20

Suma de Varianzas = 2.98

Vt : Varianza total = 12.9

Alfa de cronbach = 0.809