

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“Factor de reducción de fuerza sísmica aplicando la
metodología fema 440 en muros de ductilidad limitada-
Huánuco - 2025”**

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

AUTOR: Claudio Pinto, Jose Maria

ASESOR: Boyanovich Ordoñez, Lili Tatiana

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

D

H

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Estructuras**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** 2020**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería Civil**Disciplina:** Ingeniería Civil**DATOS DEL PROGRAMA:****Nombre del Grado/Título a recibir:** Título Profesional de Ingeniero Civil**Código del Programa:** P07**Tipo de Financiamiento:**

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 76280846

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 41948561

Grado/Título: Maestría en Gestión Pública

Código ORCID: 0000-0003-1751-1336

DATOS DE LOS JURADOS:

N ^o	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda	Máster en dirección de proyectos	73645168	0009-0001-0745-5433
2	Mays Aquino, Ronald Gunter	Maestro en diseño y construcción de obras viales	41567508	0009-0009-5573-0880
3	Barzola Gómez, Renato Edu	Maestría en gestión pública	41570884	0000-0002-0745-3534



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 10:00 horas del día jueves 30 de abril de 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

- | | |
|--|------------|
| ❖ MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA | PRESIDENTE |
| ❖ MG. RONALD GÜNTER MAYS AQUINO | SECRETARIO |
| ❖ MG. RENATO EDU BARZOLA GOMEZ | VOCAL |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 0646-2026-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "FACTOR DE REDUCCION DE FUERZA SISMICA APLICANDO LA METODOLOGIA FEMA 440 EN MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA- HUÁNUCO - 2025", presentado por el (la) Bachiller. Bach: Jose Maria CLAUDIO PINTO, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de BUENO (Art. 47).

Siendo las 11:00 horas del día 30 del mes de abril del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA
DNI: 73645168
ORCID: 0009-0001-0745-5433
PRESIDENTE



MG. RONALD GÜNTER MAYS AQUINO
DNI: 41567508
ORCID: 0009-0009-5573-0880
SECRETARIO (A)



MG. RENATO EDU BARZOLA GOMEZ
DNI: 41570884
ORCID: 0000-0002-0745-3534
VOCAL



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: JOSE MARIA CLAUDIO PINTO, de la investigación titulada "Factor de reducción de fuerza sísmica aplicando la metodología fema 440 en muros de ductilidad limitada - Huánuco - 2025", con asesor(a) LILI TATIANA BOYANOVICH ORDOÑEZ, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1405-2025-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 21 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 15 de marzo de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

78. JOSE MARIA CLAUDIO PINTO.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

2%

4

pdfs.semanticscholar.org

Fuente de Internet

1%

5

geo-webonline.com

Fuente de Internet

1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mi madre, por inculcarme la importancia de cumplir mis metas y darme la formación para ser una profesional perseverante, y por su apoyo incondicional en este largo camino. Por lo tanto, esta investigación no habría sido posible sin el apoyo incondicional de mi madre a quien adoro; a pesar de todas las dificultades que he enfrentado, ella siempre estuvo apoyándome. Gracias a su constante compañía, he podido superar todos los obstáculos en mi camino y aprender de ellos. Además, he perseverado sin rendirme nunca. Por eso, le dedico este trabajo a mi madre.

A mis añoradas hermanas Katherine y Yuli por su apoyo en seguir adelante pese a las dificultades que se presentan mis logros se los debo a mi familia que siempre ha estado ahí inculcando a seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por quien guía mi camino y me ha dado fortaleza en los momentos más difíciles para seguir adelante como profesional de afrontar las dificultades que se presentan.

Agradezco a mi madre Mariela, por estar apoyándome en los momentos difíciles y guiarme por el buen camino para seguir adelante y cumplir mi meta como profesional.

A mis centros de estudios para las enseñanzas y aprendizajes aprendidos que fueron parte muy fundamental para mi formación como profesional.

A mi asesora de tesis porque me dio la oportunidad de llevar a cabo mi investigación.

A mis colegas de trabajo que gracias a su experiencia de una forma u otra me apoyaron en la realización de este trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCION.....	XIV
CAPÍTULO I.....	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	18
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRACTICA.....	19
1.4.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	19
1.4.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	20
1.4.4. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	20
1.4.5. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	21
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	23

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	26
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	31
2.2. BASES TEÓRICAS	33
2.2.1. METODOLOGÍA FEMA 440 (MÉTODO DE LINEALIZACIÓN EQUIVALENTE)	33
2.2.2. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO.....	36
2.2.3. CURVA PUSHOVER.....	38
2.2.4. EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	40
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	45
2.4. HIPÓTESIS.....	48
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	48
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	48
2.5. VARIABLES.....	48
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	48
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	48
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	49
CAPITULO III.....	50
METODOLOGÍA	50
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	50
3.2. ENFOQUE.....	50
3.3. NIVEL O ALCANCE DEL ESTUDIO	50
3.4. DISEÑO.....	51
3.5. POBLACIÓN.....	51
3.5.1. POBLACIÓN (CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN) ...	51
3.6. MUESTRA	52
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..	56
3.8. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	58

3.9. ASPECTOS ÉTICOS.....	59
CAPITULO IV.....	60
RESULTADOS.....	60
4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS.....	60
4.2. RESULTADOS INFERENCIALES.....	73
CAPITULO V.....	78
DISCUSION DE RESULTADOS.....	78
5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS.....	78
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	85
ANEXOS.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de Variables de la tesis	49
Tabla 2 Instrumentos de recolección de datos.....	56
Tabla 3 Instrumentos de recolección	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Edificio típico del sistema estructural de muros de ductilidad limitada	43
Figura 2 Población estimada de los edificios de muros de ductilidad limitada construidas en el Perú	52
Figura 3 Edificio nuevo Chimbote – Vista en planta.....	53
Figura 4 <i>Edificio nuevo Chimbote – Vista en planta de Piers</i>	53
Figura 5 Cargas sísmicas del edificio Nuevo Chimbote	55
Figura 6 presentación de datos del tipo tabular	57
Figura 7 presentación de datos del tipo de textos	57
Figura 8 Vista en planta del edificio nuevo Chimbote	60
Figura 9 Calidad del concreto utilizado del edificio nuevo Chimbote	61
Figura 10 Equivalencia del acero corrugado y malla electrosoldada del edificio nuevo Chimbote.	62
Figura 11 Apertura del software Csi Col	63
Figura 12 Propiedades del concreto no confinado en el software Csi Col ..	63
Figura 13 Curva no lineal del concreto 17.50 MPa	64
Figura 14 Curva no lineal del acero de refuerzo y malla electrosoldada	65
Figura 15 Cuadro de muros de ductilidad limitada en el edificio nuevo Chimbote	66
Figura 16 Control del nudo de la losa superior por desplazamiento prescrito	67
Figura 17 Lectura de la curva pushover en el eje X	68
Figura 18 Lectura de la curva de capacidad en el eje Y	68
Figura 19 Curvas pushover en ambos ejes	69
Figura 20 Transformación a coordenadas espectrales de las curvas de capacidad	70
Figura 21 Determinación del factor R – Dir.X	71
Figura 22 Determinación del factor R – Dir.Y	71
Figura 23 Espectro de respuesta – Dir.X	74
Figura 24 Espectro de respuesta – Dir.Y	74
Figura 25 Espectro de respuesta – Dir.X e Y, desde el software ETABS ...	75

Figura 26 Curvas de capacidad X e Y comparadas con E.030-2018	76
Figura 27 Método de la linealización equivalente	77

RESUMEN

Esta investigación fue idealizada con la finalidad de determinar el factor de reducción de fuerzas sísmicas en sistemas de muros de ductilidad limitada. Este sistema consiste en muros especialmente delgados con poco o reducido refuerzo, además se prescinde de extremos confinados como en muros estructurales, finalmente en espesores reducidos es poco probable generar concreto confinado, de allí recae su nombre de muros con ductilidades limitadas.

Para la obtención del factor de reducción de fuerzas sísmicas se vio por conveniente utilizar un edificio multifamiliar completo, este fue modelado bajo elementos finitos con modelos no lineales para los materiales constitutivos (concreto, acero de refuerzo dúctil y malla electrosoldada frágil), luego se sometió al análisis no lineal estático (pushover) por desplazamiento prescrito con la única finalidad de obtener la curva de capacidad en ambas direcciones.

Una vez determinadas las curvas de capacidad, se procedió a idealizar el espectro de respuesta probable considerando las disposiciones establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente en la norma E.030 "Diseño Sismorresistente". Con el propósito de contrastar dicho espectro, se utilizó el software de análisis estructural ETABS, en el cual se modeló el edificio Nuevo Chimbote, obteniéndose un espectro de respuesta de características similares

Finalmente se recurrió al escrutinio del FEMA 440 a través del método de la linealización equivalente que consistió en transformar tanto las curvas de capacidad de colapso y el espectro de respuesta elástico en coordenadas espectrales, es decir en formato ADRS, con la finalidad de determinar este

factor de reducción de fuerzas sísmicas en ambas direcciones. Los resultados sugieren que el R en la dirección X es de 5.22 mientras que en la dirección Y es de 3.50, que en promedio estarían conversando con el valor normativo.

Palabras clave: Factor de reducción de fuerzas sísmicas R, FEMA 440, análisis no lineal estático, muros de ductilidad limitada, curva de capacidad y espectro de respuesta elástico.

ABSTRACT

This investigation was designed to determine the seismic force reduction factor in limited-ductility wall systems. This system consists of especially thin walls with little or reduced reinforcement. Furthermore, confined ends are not present, as in structural walls. Finally, at reduced thicknesses, confined concrete is unlikely to be generated, hence the name "limited-ductility walls."

To obtain the seismic force reduction factor, it was deemed appropriate to use an entire multi-family building. This building was modeled using finite element methods with nonlinear models for the constituent materials (concrete, ductile reinforcing steel, and brittle welded mesh). It was then subjected to prescribed-displacement nonlinear static pushover analysis to obtain the capacity curve in both directions. After determining the capacity curves, the probable response spectrum was idealized using the provisions of the National Building Regulations in section E.030 "Earthquake-Resistant Design." To compare this response spectrum, the ETABS analysis software used for the new Chimbote building was used, and a similar spectrum was obtained.

Finally, FEMA 440 was analyzed using the equivalent linearization method, which consisted of transforming both the collapse capacity curves and the elastic response spectrum into spectral coordinates, i.e., in ADRS format, to determine this seismic force reduction factor in both directions. The results suggest that the R in the X direction is 5.22 while in the Y direction it is 3.50, which, on average, would be in line with the regulatory value.

KEY WORDS: Seismic force reduction factor R, FEMA 440, static nonlinear analysis, ductility limited walls, capacity curve and elastic response spectrum.

INTRODUCCION

Los factores de rendimiento sísmico son importantes para conocer las bondades y cualidades de cada sistema estructural aceptado por el reglamento nacional de edificaciones en el apartado E.030 "Diseño sismorresistente", el más importante es el factor de reducción de fuerzas sísmicas R , quien es un valor adimensional que básicamente permite pasar de una demanda elástica a una inelástica, por otro lado los MDL guardan mucha desinformación y confusión debido a la poca ductilidad que desarrolla, por lo cual esta investigación trató de obtener este factor tan importante en este tipo de sistema.

Los antecedentes de la investigación muestran el entusiasmo de conocer, interpretar y validar este factor de reducción de fuerzas sísmicas bajo diversas metodologías, sin embargo, solamente un investigador estudia este parámetro en sistemas de muros de ductilidad limitada. La literatura manifiesta que ejecutar análisis no lineales estáticos representan una muy buena aproximación a la realidad, ya que se modela de carácter no lineal desde los materiales constitutivos (en este caso concreto sin confinamiento + acero de refuerzo dúctil + malla electrosoldada frágil). Entonces bajo estas consideraciones el cómputo del factor de reducción también será de buena aproximación y aceptación.

Bajo lo anterior mencionado esta investigación buscó determinar el "R" aplicando la metodología FEMA 440 para muros con ductilidad limitada, primeramente, generando el espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 y posteriormente derivando la curva pushover. Al comparar estos

resultados, se observó que los valores calculados muestran una marcada concordancia con el valor normativo.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Con mucha frecuencia, los ingenieros civiles utilizan el factor de reducción de fuerza sísmica para el diseño estructural de distintos sistemas resistentes a fuerza sísmica aprobado por el reglamento nacional de edificaciones específicamente en el código E030-2018 “Diseño sismorresistente”, este factor representa un parámetro adimensional que se aplica para reducir la magnitud de la aceleración espectral dentro de un sistema estructural, en otras palabras sirve para convertir un sistema elástico en uno inelástico.

Nivel de diseño sísmico y la zona sísmica: Dependiendo de la ubicación geográfica (zona sísmica), las normativas o códigos de construcción permiten un factor de reducción mayor o menor. En zonas con alta actividad sísmica, la estructura debe ser diseñada con un factor de reducción menor para asegurar la seguridad.

Autores internacionales como Peso (2017), se propuso como objetivo analizar modelos bidimensionales para obtener la curva de capacidad, ya partir de estas curvas calcular el factor de reducción de aceleración espectral R , determinando si este valor hallado cumple o no con las exigencias de la normatividad sísmica de su país.

Dentro de nuestro país, Gálvez (2010) determina un valor de 6.00 para el sistema de muros de ductilidad limitada cuando la normativa vigente E030-2018 estableció un valor de 4.00. ¿Estamos subestimando este factor de reducción de fuerza sísmica en muros de ductilidad limitada?

Finalmente, a nivel local; Esteban (2023); utiliza el análisis Pushover, en el colegio Nacional Industrial Hermilio Valdizán (módulo 3), llegando a la conclusión de que el valor es igual a 10.00, siendo este diferente al valor 8.00.

El RNE a través de la norma E.030-2018 propone este factor del orden de 4.00, sin embargo, no se conoce con exactitud de dónde nace este valor y tampoco explica por qué considerar ese valor u otro inferior o superior, En la práctica profesional, los ingenieros estructurales suelen adoptar directamente este valor dentro de la ecuación de aceleración espectral empleada en el espectro de respuesta. No obstante, la metodología propuesta por el Federal Emergency Management Agency en el documento FEMA 440 permite estimar este factor de manera más adecuada mediante la transformación de la curva de capacidad en el espectro de capacidad. En ese contexto, la presente investigación tiene como objetivo validar dicho factor.

Uno de los objetivos principales de las metodologías FEMA 440 es proporcionar una base para la evaluación de los sistemas actuales aprobados por el código en cuanto a su capacidad para lograr los objetivos de desempeño sísmico previstos. Es posible que los resultados de trabajos futuros basados en esta metodología se puedan utilizar para modificar o eliminar aquellos sistemas o requisitos que no puedan cumplir de manera confiable con estos objetivos (FEMA, 2009).

Si el valor encontrado se asemeja a lo mencionado por la normativa E.030-2018 se podría concluir definitivamente el cómputo de este valor, sin embargo, si es que no fuera así, se presentaría un trabajo de investigación basado en la metodología extranjera denominado FEMA 440 que encuentra otro valor y merecería ser estudiado por las autoridades competentes.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el factor de reducción de fuerza sísmica aplicando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada- Huánuco - 2025?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es el espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada según la E.030-2018?

¿Cuál es la curva de capacidad utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada según la E.030-2018?

¿Cuál es el factor de reducción de fuerza sísmica comparando el espectro de respuesta y la curva de capacidad en el método de linealización equivalente según la E.030-2018?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el factor de reducción de fuerza sísmica aplicando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada- Huánuco - 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Generar el espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada según la E.030-2018.

Identificar la curva de capacidad utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada según la E.030-2018.

Proponer el factor de reducción de fuerza sísmica comparando el espectro de respuesta y la curva de capacidad en el método de linealización equivalente según la E.030-2018.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRACTICA

Esta investigación se orienta a generar nuevos aportes en el ámbito del análisis estructural. Tradicionalmente, el factor de reducción de fuerzas sísmicas ha estado fundamentado principalmente en criterios adoptados por diversos ingenieros estructurales a partir de la evaluación de colapsos observados en edificaciones. Sin embargo, gracias al avance de la ingeniería estructural y al mayor entendimiento del comportamiento no lineal de las estructuras, actualmente es posible estimar de manera más precisa un valor adecuado para este factor o, en su defecto, validar el valor propuesto por el Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E.030 “Diseño Sismorresistente”

1.4.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La presente investigación se orienta a contribuir a la mejora de la calidad de vida de la población. Al validar o determinar un valor adecuado del factor de reducción de fuerzas sísmicas, se puede establecer una aceleración sísmica de diseño apropiada para las edificaciones proyectadas con sistemas de muros de ductilidad limitada. Esto permitiría garantizar un nivel adecuado de seguridad estructural y reducir la probabilidad de colapso de las edificaciones frente a la ocurrencia de sismos severos

Al determinarse la real aceleración sísmica también se estaría destinando a la seguridad de vida frente a un sismo severo, ya que las edificaciones responderían de manera adecuada y serían capaces de soportar las acciones dinámicas del sismo.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

De acuerdo con Guillermo Baena Paz (2017), una investigación puede justificarse desde el punto de vista económico cuando existe la posibilidad de recuperar la inversión realizada en su desarrollo. En la misma línea, Mario Tamayo y Tamayo (1999) señala que este tipo de justificación se sustenta cuando los resultados obtenidos generan algún tipo de beneficio o ganancia para una organización o empresa.

Considerando lo expuesto por estos autores, la inversión realizada en la presente investigación no resulta recuperable desde una perspectiva estrictamente económica. No obstante, este trabajo constituye un esfuerzo personal orientado a contribuir a la reducción de brechas en el ámbito de la ingeniería estructural avanzada.

1.4.4. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Diversos autores señalan que la reducción o cierre de brechas de conocimiento puede abordarse mediante la justificación teórica de una investigación. En este contexto, la normativa E.030-2018 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones establece diferentes valores para el factor de reducción de fuerzas sísmicas según el sistema estructural empleado; sin embargo, en dicha normativa no se

especifica con claridad el procedimiento ni el fundamento mediante el cual se adoptan estos valores.

La literatura establece diversas maneras del cómputo y validación del mencionado factor, y como ya se mencionó el código no lo establece; es por ello que lo hallado dentro de esta investigación representara esa información no presentada, lo cual genera un recorte de brechas.

1.4.5. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Algunos autores definen la justificación metodológica como aquella orientada al desarrollo o aplicación de nuevos métodos o estrategias con el propósito de generar conocimientos confiables y consistentes.

La predicción del colapso con la cual trabaja la metodología extranjera utilizada en la presente investigación representa un tema muy poco estudiado, la aplicación al sistema de muros estructurales se vuelve un conocimiento nuevo y confiable, al proponer o validar dicho parámetro estructural.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Según Ávila, una limitación se presenta cuando algún aspecto del problema deja de ser estudiado por una razón específica, lo que implica que cada limitación debe estar debidamente justificada. Entre las principales limitaciones identificadas para esta investigación se consideran:

Tipo de sistema estructural. El código E.030 "Diseño sismorresistente" establece diversos valores de factores de reducción de fuerzas sísmicas en distintos sistemas de estructuras.

De ello se desprende que la presente investigación solamente está abocada en la validación del factor R en Muros de ductilidad limitada igual a 4.00.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Según R. Hernández Sampieri y colaboradores, la viabilidad de una investigación se entiende como la capacidad de responder de manera realista a cuestiones como: ¿es factible ejecutar la investigación? y ¿cuál será el tiempo requerido para su realización?

La investigación en mención es posible de ser realizada debido al conocimiento científico, experiencia del asesor y disponibilidad del tiempo. El autor ve por conveniente utilizar la metodología extranjera para evaluar lo que se dispone en nuestra normativa, lo cual también representa la habilidad de la investigación.

En cuanto al tiempo necesario para la ejecución del proyecto, este se establece en el apartado Cronograma de Actividades, determinándose un período máximo de cuatro meses (120 días calendario). Dicho plazo fue definido de manera que se garantice la correcta realización del presente proyecto de tesis, en concordancia con la normativa vigente de la Universidad de Huánuco.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Mohamed et al. (2021), mediante su artículo titulado “Evaluation of Seismic Response Modification Factor (R) for Moderate-Rise RC Buildings with Vertical Irregular Configurations”.

Objetivo principal: Analizar cómo las irregularidades geométricas en la vertical y el uso del factor de modificación de la respuesta sísmica (R) afectan a los edificios de concreto armado de altura media con configuraciones estructurales irregulares, evaluando de qué manera estas irregularidades influyen en su comportamiento frente a sismos y en la confiabilidad de los valores de R definidos por las normas de diseño sísmico.

Metodologías: Se modelaron edificios de concreto armado con diferentes configuraciones e irregularidades verticales y se evaluó su comportamiento frente a sismos mediante análisis no lineales. Con los resultados, se estimó el (R) y se comparó con los valores de las normas, para comprender cómo estas irregularidades influyen en el desempeño sísmico de las estructuras, dentro de un enfoque no experimental.

Principales resultados: Los resultados evidencian que el R no es uniforme entre estructuras con el mismo sistema resistente, y que los valores normativos tienden a sobreestimar la capacidad sísmica en edificaciones con irregularidades verticales, lo que hace necesario

ajustar los criterios de diseño estructural para este tipo de configuraciones.

Conclusiones: El factor R obtenidos a partir de análisis no lineales son, en general, menores que los valores prescritos por las normativas sísmicas vigentes, lo que indica que la aplicación directa de dichos valores normativos puede conducir a una sobreestimación de la capacidad estructural en edificaciones con configuraciones verticalmente irregulares. En consecuencia, se resalta la necesidad de reconsiderar o ajustar los valores de R, así como de incorporar criterios más específicos que tengan en cuenta el grado y tipo de irregularidad vertical por lo que no puede asumirse como un valor fijo para todas las estructuras con marcos resistentes al momento, sino que depende significativamente de la geometría vertical y de las irregularidades.

Peso et al. (2017), mediante su tesis denominada “Determinación del factor de reducción de la respuesta en pórticos de hormigón armado con núcleo de muro”, Chile.

Objetivo principal: Evaluar el R en sistemas estructurales de pórticos, evaluando su comportamiento sísmico mediante análisis estructurales avanzados, con el fin de verificar la adecuación de los valores empleados en el diseño y su coherencia con el desempeño real de este tipo de estructuras en el contexto normativo chileno.

Metodologías: Se desarrollaron en la modelación y análisis estructural de sistemas de pórticos de hormigón armado con núcleo de muros, representativos de edificaciones diseñadas bajo la normativa sísmica chilena. Los modelos son sometidos a análisis sísmicos no

lineales, tales como análisis estáticos incrementales (pushover) y análisis dinámicos, con el propósito de evaluar parámetros de desempeño estructural como la ductilidad, sobrerresistencia y capacidad de disipación de energía. A partir de los resultados obtenidos, se calcula el factor de reducción de la respuesta sísmica, permitiendo analizar la influencia del sistema estructural compuesto en el comportamiento sísmico global.

Principales resultados: Los sistemas mixtos mostraron un comportamiento sísmico más favorable que los pórticos aislados, alcanzando factores R entre 5 y 6 dependiendo de la configuración estructural, la presencia del núcleo de muro aumentó notablemente la rigidez y redujo las derivas laterales.

Conclusiones: Incorporar un núcleo de muro en pórticos de hormigón armado incrementa significativamente el desempeño sísmico lo cual es superior al de los pórticos convencionales, gracias a una mayor rigidez y ductilidad. Además, el R determinado a partir de los análisis no lineales difiere de los valores normativos. Los factores R determinados mediante análisis no lineales pueden ser superiores a los sugeridos por norma, lo cual podría justificar su actualización.

Vielma et al. (2018), en su trabajo de tesis final denominada “Alternative procedure to determine the response reduction factor for ductile RC framed buildings”.

Objetivo principal: El estudio de Vielma Pérez et al. (2018) propone una estrategia alternativa para determinar el R, basada directamente en análisis no lineales de la respuesta estructural y del suelo, en lugar de

depender únicamente de los valores prescritos por normas sismorresistentes formulados tradicionalmente por juicio ingenieril. El objetivo es obtener valores de R más racionales y representativos del comportamiento estructural real bajo excitación sísmica.

Metodologías: Se llevó a cabo un análisis no lineal de la respuesta sísmica tanto de sistemas estructurales de un solo grado de libertad como de estructuras de múltiples grados de libertad, específicamente marcos de concreto armado.

Principales resultados: los valores del factor de reducción de fuerzas sísmicas (R) obtenidos mediante el procedimiento alternativo resultaron superiores a los valores estipulados en la normativa venezolana para edificaciones dúctiles de concreto armado

Conclusiones: El procedimiento alternativo planteado proporciona un método más riguroso y fundamentado en análisis estructural real para la estimación del factor de reducción R, en contraste con los coeficientes establecidos por el código sismorresistente venezolano.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Gálvez (2010); desarrolló una investigación denominada “Propuesta del factor de reducción de fuerza sísmica para sistemas estructurales en concreto armado con muros reforzados por barras dúctiles y mallas electrosoldadas”

Objetivo principal: Establecer un valor adecuado del factor de reducción de fuerzas sísmicas (R) para sistemas estructurales con muros reforzados mediante barras dúctiles y mallas electrosoldadas, con el objetivo de optimizar la precisión y seguridad en el diseño sísmico de

este tipo de estructuras, considerando las características específicas de los MDL definidas en la Norma E.030 del Perú.

Metodologías: A partir del modelo estructural, se analizan los sistemas estructurales de concreto armado con muros reforzados mediante barras dúctiles y mallas electrosoldadas, diseñados conforme a la normativa vigente. Los modelos son sometidos a análisis sísmicos no lineales, incluyendo análisis pushover y dinámicos, con el objetivo de evaluar parámetros de desempeño estructural como ductilidad, rigidez, capacidad de disipación de energía y sobrerresistencia. A partir de los resultados obtenidos, se estiman de forma racional el factor R aplicable según esas condiciones particulares. (análisis numéricos y análisis experimentales).

Principales resultados: Se obtiene que los valores del (R) que propone Gálvez para estos sistemas es mayor que los valores normativos tradicionales, reflejando un comportamiento más eficiente y seguro. Además, se confirma que la interacción entre barras dúctiles y mallas electrosoldadas contribuye significativamente a la estabilidad y resistencia global de la estructura, lo que justifica la propuesta de un ajuste del factor R para un diseño sísmico más preciso. Para las condiciones señaladas (muros portantes, con los espesores, densidades, refuerzo y confinamientos definidos) son distintos a los que la Norma E.030 prescribía sin discriminar tantos detalles. (El trabajo sugiere ajustes menores para reducir la sobre-confianza en R cuando los muros no cumplen con ciertos criterios de ductilidad).

Conclusiones: El valor de R para estos sistemas puede ser mayor que los valores normativos actuales, lo que sugiere que la aplicación directa de los valores estándar podría subestimar la capacidad real de la estructura. utilizado en normativa debe depender de características específicas del muro: espesor, tipo de refuerzo, confinamiento y densidad de muros. No puede haber un único valor genérico sin distinguir estos factores, con el fin de reflejar de manera más precisa su acción frente a acciones sísmicas y mejorar la seguridad estructural.

Valdivia (2021); realizó la tesis denominada “Relación entre el factor de reducción de fuerzas sísmicas y la demanda de ductilidad para terremotos peruanos en la zona de períodos cortos”

Objetivo principal: Examinar el comportamiento inelástico de las estructuras en la zona de períodos cortos para sismos en Perú, con el propósito de establecer una razón entre el (R) y proponer criterios de diseño que reflejen de manera más fiel el comportamiento sísmico real de las edificaciones en la región.

Metodologías: Se aplican la modelación y análisis de estructuras para obtener los factores de reducción de sollicitaciones sísmicas correspondientes para cada estructura / ductilidad / período También se proponen dos versiones del espectro para la zona peruana, anteniendo la plataforma horizontal como en la norma E.030-2018; otra considerando una “rampa creciente” hasta el PGA para que haya caída hacia el PGA. (análisis numéricos y análisis no experimentales).

Principales resultados: Se evidencia una relación significativa entre el factor de reducción de fuerzas sísmicas (R) y la demanda de ductilidad

en estructuras sometidas a sismos de períodos cortos (0–0,25 s). Los desplazamientos calculados en estructuras inelásticas de un solo grado de libertad oscilan entre 1,62 y 6,72 veces. Estos resultados destacan la necesidad de ajustar o redefinir los valores de R, de manera que reflejen con mayor precisión el comportamiento sísmico real de las edificaciones de período corto bajo los lineamientos de la norma E.030 vigente.

Conclusiones: Los valores normativos de R pueden sobrestimar la capacidad de disipación de energía, especialmente en estructuras con menor ductilidad, lo que podría generar un diseño menos conservador. El valor del factor de reducción R no debería ser independiente del período estructural, como actualmente lo estipula la norma E.030; existe una dependencia significativa que debe considerarse.

Perez (2023); realizó una tesis denominada “Análisis comparativo del factor de reducción de respuesta sísmica R entre la norma E.030 y el código ASCE/SEI 7-16, en techos con coberturas a base de estructuras metálicas apoyadas en columnas de concreto armado”.

Objetivo principal: Comparar el factor de reducción de fuerzas sísmicas (R) definido en la norma peruana E.030 ($R = 8$) con el establecido en el código ASCE/SEI 7-16 ($R = 2,5$), aplicado a techos con cubiertas metálicas soportadas sobre columnas de concreto armado, con el objetivo de determinar cuál de ambos valores resulta más adecuado para este tipo de estructuras en el contexto peruano.

Metodologías: Se seleccionaron tres techos con cubiertas metálicas soportadas por columnas de concreto armado, ubicados en Perú, como muestra de estudio, diseñados conforme a la norma peruana

E.030 y al código ASCE/SEI 7-16. Se realizaron análisis sísmicos lineales y no lineales para evaluar la respuesta de los sistemas ante cargas sísmicas representativas, con el propósito de comparar los valores del factor de reducción de fuerzas sísmicas (R) obtenidos según ambas normativas. A partir de los resultados, se identificaron las diferencias en los criterios normativos y su repercusión en el diseño y la seguridad estructural de los techos analizados. El análisis se desarrolló de manera cuantitativa, analítica y comparativa, durante un periodo de siete meses.

Principales resultados: Los resultados indican que el factor de reducción sísmica $R = 2,5$ del código ASCE/SEI 7-16 es más adecuado que el valor $R = 8$ establecido por la norma peruana E.030. Se observa una diferencia significativa entre los valores del factor de reducción de fuerzas sísmicas (R) al comparar ambas normativas para techos con cubiertas metálicas soportadas por columnas de concreto armado. Estos hallazgos evidencian que la elección de la normativa aplicada influye directamente en la seguridad y el diseño sísmico de los techos estructurales, resaltando la importancia de seleccionar la regulación más apropiada de acuerdo con las características específicas del sistema estructural.

Conclusiones: Bajo ASCE/SEI 7-16 con $R=2.5$, los momentos últimos calculados resultan mayores que los obtenidos al usar $R=8$ de la norma E.030 en coberturas de estructuras metal apoyadas en columnas de concreto armado. Los resultados evidencian que la norma E.030 tiende a sobreestimar la capacidad de disipación de energía, lo que

implica un diseño más conservador cuando se usa el código ASCE/SEI proporciona valores más conservadores.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

A nivel regional solo se encontró una investigación que guarde similitud con el trabajo que se pretende ejecutar, y es reportada a continuación:

Esteban (2023): realizó la tesis denominada “Evaluación no lineal del coeficiente de reducción sísmico según los códigos ATC -19 y ATC - 34 mediante un análisis Pushover usando la Metodología del Fema 356 y ASCE 41, Colegio Nacional Industrial Hermilio Valdizán (módulo 3), Distrito de Huánuco, Provincia de Huánuco 2021”

Objetivo principal: Evaluar el coeficiente de reducción sísmica R para la estructura aporticada del módulo 3 del Colegio Nacional Industrial Hermilio Valdizán, mediante un método estático no lineal (Pushover) aplicando las metodologías del FEMA-356 y ASCE-41, y usando los criterios de cálculo propuestos en los códigos ATC-19 y ATC-34, con el propósito de determinar la adecuación de los coeficientes normativos frente al comportamiento real de la estructura ante cargas sísmicas.

Metodologías: Tipo de investigación: explicativa y aplicada ya que se modeló la estructura del Colegio Nacional Industrial Hermilio Valdizán, módulo 3 (una edificación aporticada de 3 niveles: talleres, aulas, baños) . Los análisis se realizan siguiendo la metodología de FEMA 356 y ASCE 41, aplicando los coeficientes de reducción sísmica según los códigos ATC-19 y ATC-34. Se evalúan parámetros de

desempeño estructural como desplazamientos, ductilidad, capacidad de disipación de energía y sobrerresistencia, con el objetivo de comparar los valores normativos del coeficiente de reducción con el comportamiento real de la estructura, permitiendo determinar su adecuación frente a las cargas sísmicas locales.

Principales resultados: muestran que los valores del coeficiente de reducción sísmica obtenidos mediante análisis pushover no lineales difieren entre los códigos ATC-19 y ATC-34. Se observó que la ATC-34 tiende a proporcionar valores más conservadores, mientras que la ATC-19 puede sobreestimar la capacidad de disipación de energía de la estructura. Además, los resultados indican que la metodología basada en FEMA 356 y ASCE 41 permite identificar con mayor precisión la capacidad real de deformación, ductilidad y sobrerresistencia del módulo 3 del Colegio Nacional Industrial Hermilio Valdizán, lo que evidencia El valor del coeficiente de reducción sísmica R obtenido para la estructura analizada resultó ser igual a 10.

Conclusiones: El estudio demuestra que los coeficientes de reducción sísmica obtenidos mediante análisis pushover no lineales varían significativamente entre los códigos ATC-19 y ATC-34, siendo la ATC-34 más conservadora y la ATC-19 más propensa a sobreestimar la capacidad de disipación de energía. Asimismo, se evidencia que la metodología basada en FEMA 356 y ASCE 41 permite evaluar de manera precisa la ductilidad, desplazamientos y sobrerresistencia de la estructura que para la edificación específica analizada.

2.2. BASES TEÓRICAS

A continuación, se presentan los fundamentos teóricos relacionados con la determinación del factor de reducción de fuerzas sísmicas (R) calculado mediante la metodología del FEMA 440, basada en el método de linealización equivalente. Según esta literatura, tanto la curva de capacidad como el espectro de diseño deben transformarse a coordenadas espectrales. En este proceso, es posible evaluar el factor R sin necesidad de considerar la ductilidad basada en el período y la sobrerresistencia del sistema, tal como lo requieren otras metodologías que no forman parte del alcance de la presente investigación

2.2.1. METODOLOGÍA FEMA 440 (MÉTODO DE LINEALIZACIÓN EQUIVALENTE)

El marco teórico de la metodología FEMA 440, también conocida como el Método Mejorado de Linealización Equivalente, se basa en la mejora de los procedimientos de ANLE previamente establecidos en los documentos FEMA 356 y ATC-4012. A continuación, se presenta un resumen de los aspectos clave (Computers and Structures, Inc (2020). ETABS (Versión 19.0.0) [Software])

Introducción

La metodología FEMA 440 fue desarrollada para proporcionar una evaluación más precisa del desempeño sísmico de las estructuras mediante el uso de técnicas de linealización equivalente. Este método permite estimar la respuesta estructural sujeta a consideraciones sísmicas, considerando tanto el rango elástico como inelástico

(Computers and Structures, Inc. (2020). ETABS (Versión 19.0.0) [Software].).

Antes de la implementación de FEMA 440, los métodos ANLE, como los descritos en FEMA 356 y ATC-40, eran ampliamente utilizados. Sin embargo, estos métodos presentaban limitaciones en la precisión de la estimación del desempeño estructural bajo cargas sísmicas (Computers and Structures, Inc. (2020). ETABS (Versión 19.0.0) [Software].).

Fundamentos Teóricos

El método de linealización equivalente, propuesto por FEMA 440, se basa en un procedimiento gráfico e iterativo que permite comparar el espectro de demanda sísmica modificado con el espectro de capacidad de la estructura. Los pasos fundamentales del procedimiento incluyen:
Conversión de la curva de capacidad: Se construye la curva de capacidad mediante un análisis pushover y, posteriormente, se transforma en un espectro de capacidad (ADRS), utilizando el software ETABS (Versión 19.0.0, 2020).

Espectro de demanda: Se grafica el espectro de demanda sísmica en formato ADRS.

Identificación del punto de desempeño: Se determina el punto de desempeño sísmico donde la capacidad y la demanda se igualan.

Iteración y ajuste: Se realizan iteraciones para ajustar tanto el espectro de demanda como la curva de capacidad, hasta lograr un punto de cruce que cumpla con los criterios de aceptación.

Aplicaciones y Limitaciones

La metodología FEMA 440 ha sido aplicada en diversas evaluaciones de vulnerabilidad sísmica de edificaciones, proporcionando una herramienta robusta para ingenieros y diseñadores. (Computers and Structures, Inc. (2020). ETABS (Versión 19.0.0) [Software]).

El método de linealización equivalente, propuesto por FEMA 440, consiste en obtener la curva pushover de la estructura y transformarla a coordenadas de aceleración espectral frente a desplazamiento espectral, con el fin de graficarla en el mismo plano que el espectro de demanda. Esta representación permite una comprensión más clara del estado y comportamiento de la estructura, ya que posibilita relacionar en una sola gráfica el desempeño estructural, la capacidad del sistema y la demanda sísmica a la que está sometido. (flores et al. 2021).

El método lineal equivalente es una forma de modelar el comportamiento no lineal de las capas de suelo bajo carga sísmica. Supone que el suelo puede estar representado por una serie de resortes elásticos lineales y dashpots, con parámetros que dependen del nivel de deformación y la frecuencia de la carga. El método implica un procedimiento iterativo, donde los parámetros del suelo se actualizan después de cada ciclo de análisis hasta que convergen en una solución estable. El método lineal equivalente también se conoce como método SHAKE, por el nombre de un popular programa informático que lo implementa (Ingeniería estructural, LinkedIn .URL).

Opinión propia del autor: Este método constituye un modelo matemático no lineal que permite representar de manera precisa el

comportamiento no lineal de la estructura. Al superponer en un mismo gráfico la curva del espectro de respuesta y la curva pushover, es posible comparar la respuesta lineal con la no lineal, siendo la diferencia entre ambas respuestas la base para determinar el factor de reducción de fuerzas sísmicas (R).

2.2.2. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO

Los espectros de respuesta constituyen representaciones gráficas de un conjunto de respuestas máximas obtenidas de múltiples osciladores de un grado de libertad, con masa y amortiguamiento constantes, sometidos a diversos registros sísmicos. Los códigos de diseño establecen espectros de respuesta tipificados, basados en el análisis de información recopilada de la respuesta de numerosas edificaciones instrumentadas y de estaciones de medición. Dichos registros se evalúan sobre osciladores de un grado de libertad con distintos períodos, lo que permite representar las infinitas configuraciones estructurales posibles. A partir de esta información, es posible determinar los espectros de diseño, según lo descrito en la Guía de laboratorio para la determinación de la respuesta de estructuras a sismos a partir de espectros de respuesta (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017. Guía de laboratorio para la determinación de la respuesta de estructuras a sismos a partir de espectros de respuesta).

Inicialmente, Es importante destacar que los movimientos sísmicos se registran mediante acelerogramas, los cuales representan la variación de la aceleración inducida por un sismo en el sitio donde se

ubica la estación sismológica, a lo largo de la duración del evento. A partir del registro contenido en el acelerograma, es posible determinar, mediante una integración numérica sencilla, la aceleración máxima que se induciría en un oscilador lineal simple con amortiguamiento específico ζ y un período natural T . La gráfica de estas aceleraciones máximas como función del período T , para un oscilador simple supuesto con un amortiguamiento dado, constituye el espectro de respuesta de aceleraciones. Del mismo modo, mediante un tratamiento matemático relativamente sencillo del acelerograma, es posible obtener las señales correspondientes a velocidades y desplazamientos, así como generar los espectros de respuesta asociados. En consecuencia, el espectro de respuesta permite determinar de manera directa los desplazamientos, velocidades y aceleraciones máximas que un movimiento sísmico induciría en estructuras modelables como osciladores lineales simples, así como en los distintos modos de vibración de estructuras modelables como sistemas de múltiples grados de libertad (Espectros de respuesta sísmica: la intersección entre la ingeniería geotécnica y el diseño sismorresistente de estructuras. Geo-webonline).

Heredia 2023, menciona que para Se generan espectros de respuesta sísmica probabilísticos con el objetivo de evaluar la respuesta estructural de edificaciones de concreto armado en Perú. Para ello, se aplica la metodología propuesta por Kramer, que caracteriza la actividad sísmica considerando la información histórica e instrumental, utilizando un total de 22 399 registros sísmicos, excluyendo precursores y réplicas. Además, se consideran 33 fuentes sismogénicas y seis modelos de

leyes de atenuación para sismos de subducción, a fin de determinar las ordenadas espectrales correspondientes a distintos niveles de peligro sísmico, con probabilidades de excedencia de 50% en 50 años, 10% en 50 años, 10% en 100 años, 2% en 50 años y 2% en 100 años.

Opinión del autor: Los espectros de respuesta representan las aclaraciones máximas para cada tipo de edificación, para graficar un espectro se comparan períodos de vibración (T , sg.) versus aceleraciones espectrales (S_a , g), y mediante esta herramienta son diseñadas todas las edificaciones en nuestro territorio. Este parámetro considera el tipo de suelo, zona de la edificación, uso de la edificación y el tipo de suelo.

2.2.3. CURVA PUSHOVER

La curva de capacidad resistente relaciona el cortante basal V con el desplazamiento lateral máximo en la parte superior del edificio D_t la misma que se halla aplicando la técnica del pushover. A partir de esta curva se obtiene un modelo bilineal, que está con línea continua en el gráfico de la izquierda. En el modelo bilineal el punto de fluencia, que determina el límite del rango elástico, tiene las siguientes coordenadas: D_{ty} que es el desplazamiento a nivel de fluencia y V que es el cortante a nivel de fluencia. El punto de fluencia se halló aplicando el criterio de iguales áreas y teniendo en cuenta que la rigidez elástica pase por el punto 0.6 de V y el punto de fluencia, que determina el límite del rango elástico, tiene las siguientes coordenadas: D_{ty} , que es el desplazamiento a nivel de fluencia (desplazamiento de fluencia), y V_y , que es el cortante a nivel de fluencia. El fallo de la estructura está

asociado a las coordenadas D_{tu} y V_u . En el gráfico de la derecha, el modelo bilineal se representa con líneas entrecortadas, mientras que el modelo elasto-perfectamente plástico se muestra con línea continua. Este último modelo incorpora un cortante VU^* calculado como el promedio entre el cortante de fluencia y el cortante último, es decir, la suma de ambos dividida entre dos (Aguilar, 2003).

Se trata de un procedimiento simplificado de evaluación sísmica, en el cual la curva de capacidad se define como una propiedad intrínseca de la estructura que permite estimar su desempeño frente a demandas sísmicas. Estas demandas se representan comúnmente mediante distribuciones de cargas laterales, siguiendo las recomendaciones de diversos códigos de diseño sísmico que aceptan el método estático como procedimiento de análisis. No obstante, ante situaciones de demanda extrema, este enfoque puede producir resultados que no coinciden con los obtenidos mediante análisis más rigurosos y realistas de la respuesta sísmica. Investigaciones previas han demostrado que esta limitación se debe a la alta sensibilidad de la curva de capacidad respecto al vector de cargas utilizado, la técnica de pushover y el modelo de daño considerado (Antoniou and Pinho; Escamilla et al.). Por ello, se han desarrollado múltiples procedimientos para construir la curva de capacidad, representando la relación entre el desplazamiento lateral de un punto característico de la estructura y su cortante basal correspondiente, de manera que refleje con mayor precisión el desempeño real de la estructura ante una demanda sísmica creciente. (Bañuelos et al. 2023). Una aproximación de la curva de

capacidad dinámica y su aplicación a la evaluación sísmica de estructuras. Revista Scielo).

El procedimiento consiste en aplicar desplazamientos incrementales a la estructura de la edificación de manera monotónica hasta alcanzar el punto de colapso. En algunos casos, la falla puede ocurrir más allá de los límites de deriva permitidos por la normativa, permitiendo así evaluar el comportamiento de cada elemento estructural, incluyendo fenómenos como fluencia, pandeo o ruptura. Cada carga aplicada se concentra en el centro de masas de la cubierta, registrándose simultáneamente los cortantes en la base y los desplazamientos en el techo. Con estos datos se construye la curva de capacidad, la cual se compara posteriormente con la demanda de distintos espectros de diseño, siguiendo las metodologías permitidas por la NSR-10, tales como FEMA 356 y ATC 40 (Velez, 2022).

Opinión propia del autor: la curva de capacidad es la representación gráfica del estado de vida de la estructura, desde el punto en donde tiene comportamiento elástico, pasando por la zona de agrietamiento y posterior fluencia hasta el instante en que colapsa. Esta curva se genera al comparar diversos parámetros estructurales, los más usados son la fuerza y el desplazamiento, con lo cual se puede establecer niveles de daño.

2.2.4. EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Los edificios con muros de ductilidad limitada se distinguen por contar con muros delgados de concreto armado que resisten tanto las cargas verticales como las fuerzas horizontales generadas por sismos.

Estos muros, cuyo espesor suele variar entre 10 y 12 cm, están diseñados para limitar los desplazamientos laterales durante un evento sísmico, aprovechando su alta densidad estructural (Gálvez, 2010)

Características principales:

Muros delgados de concreto armado: Los muros delgados de concreto armado están diseñados para soportar las cargas de gravedad y, al mismo tiempo, resistir las fuerzas inducidas por sismos.

Reducción de desplazamientos laterales: Gracias a la alta densidad de muros, se minimizan los desplazamientos laterales durante un sismo.

Construcción industrializada: Este sistema se ha vuelto popular en Perú debido a su eficiencia en costos y tiempos de construcción.

Consideraciones especiales:

Refuerzo en los extremos: Para mejorar la resistencia, se recomienda reforzar la malla electrosoldada con acero corrugado en los extremos del muro 1.

Evitar instalaciones en los muros: No se deben bajar instalaciones por los muros para no debilitarlos.

Control del proceso constructivo: Es crucial seguir correctamente el proceso constructivo para evitar errores que puedan comprometer la estructura.

Los muros de ductilidad limitada (MDL), generalmente de 10 cm de espesor, serán evaluados mediante dos cálculos principales. Primero, se verificará su resistencia frente a las fuerzas cortantes generadas por un sismo de diseño en ambas direcciones, considerando las

disposiciones de la norma E.030 para el cálculo del cortante basal y de la norma E.060 para determinar la resistencia a la cortante, lo que permitirá establecer la longitud requerida de muros en cada dirección. Segundo, se realizará el cálculo de la compresión mediante un metrado de cargas, para estimar el peso actuante sobre cada muro y compararlo con la resistencia axial especificada en la norma E.060 (SENCICO). Para el cálculo del cortante basal se emplearán los parámetros de la norma E.030, los cuales serán definidos y analizados más adelante. El peso sísmico considerado se aproxima a 2190 toneladas. A continuación, se presentan los parámetros del edificio y la ecuación utilizada para el cálculo del cortante basal:

$$Z=0.45, U=1.00, C=2.5, S=1.05, R=3.4$$

Donde:

Z =Zonificación según E030

U=Uso de la edificación

C= Factor de amplificación de sísmica

S =Parámetros de sitio, justificación

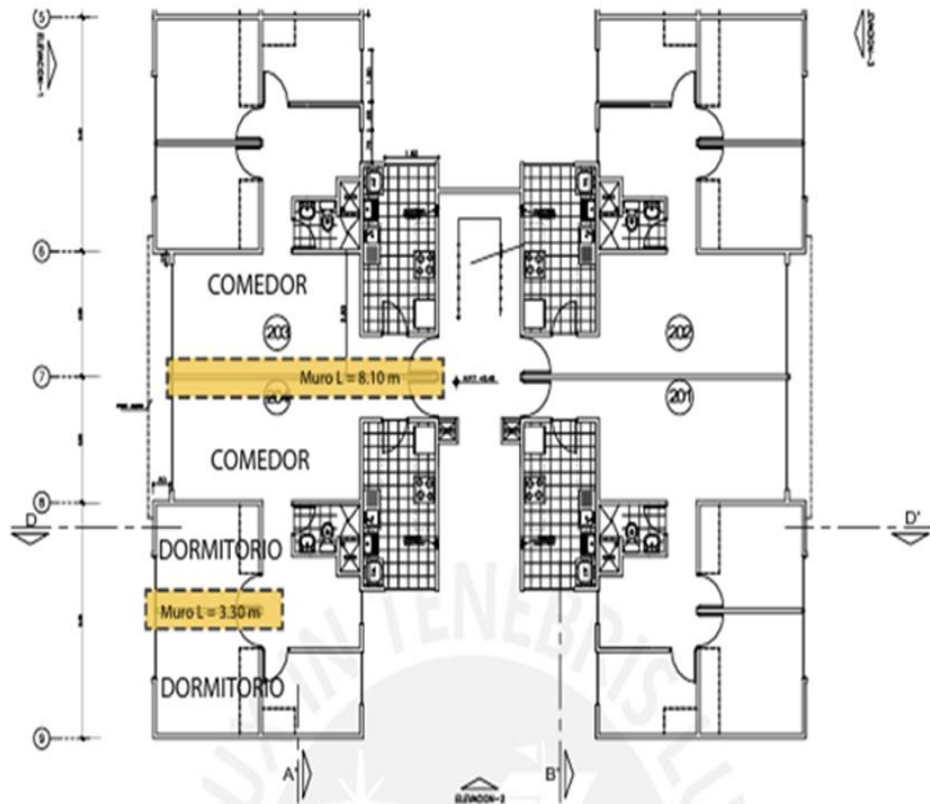
R=Reducción de fuerzas del tipo sísmicas.

El cálculo de la resistencia a cortante se realiza en función de la longitud del muro, con el fin de determinar la extensión necesaria de los muros en cada eje para soportar la cortante basal. La ecuación correspondiente se encuentra en la norma E.060 y se utilizará para calcular la resistencia a cortante del concreto armado (SENCICO). Según el artículo 14.5.2 de la misma norma, la longitud efectiva de los muros de carga se establece como el 80 % de la longitud total del muro.

Posterior al cálculo por cortante se analiza la carga axial en muros que tenga altas solicitaciones de esta para evitar fallas por pandeo. Los muros a analizar se muestran en la figura 1.

Figura 1

Edificio típico del sistema estructural de muros de ductilidad limitada



Nota: Los edificios bajo el sistema de muros de ductilidad limitada poseen espesores reducidos de muros, así mismo la disposición de acero es diferente a un sistema de muros estructurales.

Los edificios con SMDL están constituidos por muros delgados de concreto armado, en los cuales se omiten extremos confinados y el refuerzo longitudinal se coloca generalmente en una sola capa, como se ilustra en la Figura 1. El refuerzo vertical y horizontal del alma del muro puede estar compuesto por acero de grado 60 ($f_y=4200 \text{ kgf/cm}^2$) y malla electrosoldada de tipo CA50 ($f_y=5000 \text{ kgf/cm}^2$). Este sistema estructural, conformado principalmente por estos muros, aprovecha dos

características sismorresistentes: rigidez y resistencia derivadas de la alta densidad de los muros; sin embargo, confiere a la estructura una ductilidad limitada, es decir, una capacidad de deformación relativamente baja. Esta característica es fundamental para prevenir daños severos o colapso, al mismo tiempo que permite la reparabilidad de la edificación. Dado que no es técnicamente posible diseñar estructuras completamente libres de daño ante cualquier sismo, se debe establecer un mecanismo de falla adecuado (falla dúctil) que asegure que la estructura ingrese al rango inelástico, garantizando la seguridad de las personas, la protección del contenido y la preservación de la inversión del propietario (Díaz , 2021).

En los SMDL los muros presentan un espesor de 10 cm. Los techos se constuyen de losas macizas de 10 y 20 cm de espesor, apoyadas sobre una platea de cimentación de concreto armado de 35 cm de espesor.. Por su parte, el diseño estructural se realizará conforme a las especificaciones de la Norma Técnica de Diseño en Concreto Armado E.060

Opinión del autor: Los edificios construidos a base de SMDL son aquellos en el que el aporte de rigidez lateral lo proveen los muros delgados de ductilidad limitada, este sistema está compuesto de muros muy delgados siendo como mínimo el de 10 centímetro, el concreto que se vierte en el cuerpo de estos son de resistencia de 17.50 MPa o 21 MPa, y se dispone una sola capa de reforzamiento (malla) en ambas direcciones. La respuesta estructural de este sistema está siendo ampliamente estudiada por diversos investigadores en la actualidad, el

aporte de la presente tesis es el de estimar su factor R usando un edificio real como muestra.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Cortante basal:** Se define como la fuerza cortante que actúa en la base de la estructura, según lo establecido en la Norma Técnica E.030 “Diseño sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento).
- **Deriva de entrepiso:** Se entiende como los desplazamientos del centro de masa del nivel i en traslación pura, considerando que se restringen los giros en planta, según lo indicado en la Norma Técnica E.030 “Diseño sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento).
- **Factor de reducción de fuerza sísmica:** Es un parámetro adimensional que permite evaluar la habilidad de un sistema estructural para disipar energía, según lo establecido en la Norma Técnica E.060 “Diseño en Concreto Armado” del Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento).
- **Fuerzas internas:** Se refieren a los datos necesarios para el diseño de estructuras y se definen como los esfuerzos generados internamente dentro de la estructura, incluyendo esfuerzos axiales, cortantes y momentos flectores, de acuerdo con la Norma Técnica E.060 “Diseño en Concreto Armado” del Reglamento Nacional de

Edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento).

- **Grados de libertad (GL):** Se define como la magnitud de desplazamiento o rotación considerada para un sistema estructural con fines de diseño, según lo señalado por (Chopra, A.K. 2017). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (5th ed.). Pearson Education).
- **Modelo estructural:** Se entiende como la representación matemática de un sistema estructural empleada para calcular las fuerzas internas, considerando las propiedades y características de resistencia de los materiales, según lo expuesto por. (Chopra, A. K. (2017). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (5th ed.). Pearson Education).
- **Periodo fundamental de vibración:** Definido como la forma de movimiento de una estructura utilizada en el análisis estático o como el período asociado a un modo específico en el análisis dinámico, según lo establecido por la Norma Técnica del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma técnica E.030: Diseño sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones. Gobierno del Perú).
- **Registros sísmicos:** Se define como el conjunto de componentes de aceleración horizontal del terreno que afectan a una estructura durante un sismo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma técnica E.030: Diseño

sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones. Gobierno del Perú.).

- **Sismo:** Se entiende como la energía generada por el movimiento dinámico resultado de la colisión entre placas tectónicas y su posterior disipación durante un evento sísmico.. (Chopra, A. K. (2017). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (5th ed.). Pearson Education).
- **Sismo de diseño:** Se refiere a un evento sísmico que tiene un 10 % de probabilidad de ser superado en un período de 50 años, lo que corresponde a un periodo de retorno aproximado de 475 años. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma técnica E.030: Diseño sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones. Gobierno del Perú.).
- **Sismo máximo:** Se refiere a un evento sísmico que presenta un 2 % de probabilidad de ser superado en un período de 50 años, equivalente a un periodo de retorno aproximado de 2475 años. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma técnica E.030: Diseño sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones. Gobierno del Perú.).
- **Amortiguamiento:** Es la capacidad de un sistema estructural para disipar energía, actuando como una fuerza que se opone al movimiento y que es proporcional a la velocidad del mismo (Chopra, A. K. (2017). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (5th ed.). Pearson Education).

- **Sistema de un solo grado de libertad:** Consiste en una masa m concentrada en el nivel del techo, un marco sin masa que proporciona rigidez al sistema, y un amortiguador viscoso encargado de disipar la energía generada durante el movimiento estructural. (Chopra, A. K. (2017). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (5th ed.). Pearson Education).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

HG: Se logra validar el factor de reducción de fuerza sísmica aplicando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada – Huánuco – 2025.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Ho1: El espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada es el establecido según la E.030-2018.

Ho2: La curva de capacidad utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada es concordante según la E.030-2018.

Ho3: El factor de reducción de fuerza sísmica comparando el espectro de respuesta y la curva de capacidad en el método de linealización equivalente es similar al valor según la E.030-2018.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

factor de reducción de fuerza sísmica.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Metodología FEMA 440 (Método de linealización equivalente).

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de Variables de la tesis

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	MEDICIÓN
factor de reducción de fuerza sísmica.	Factor adimensional que muestra la disipación de energía.	Espectro de respuesta elástico y la curva de capacidad	Diferencia de esfuerzos	Adimensional	
Metodología FEMA 440 (Método de linealización equivalente)	Metodología Inglesa que establece métodos para la obtención del factor de reducción de fuerzas sísmicas través de la linealización equivalente.	Linealización Equivalente	Espectro de respuesta según la E.030 (2018)	Aceleraciones espectrales versus periodos fundamentales de vibración.	Aceleración S(a): m. Periodo (T): sg.
			Curva de capacidad	Cortante basal versus derivas de entrepiso	Fuerza (Tn, Kg, MPa, etc.) m/h, cm/h, mm/h.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2. ENFOQUE

El enfoque adoptado en esta investigación es de tipo cuantitativo, dado que, según Tamayo, la metodología cuantitativa se centra en la verificación de teorías preexistentes mediante una serie de hipótesis derivadas de las mismas. Para ello, es necesario obtener una muestra, ya sea aleatoria o estratificada, que sea representativa de la población o fenómeno bajo estudio.

Aplicado al tema de investigación de la presente tesis, las teorías existentes fueron la base para establecer los R utilizadas en el código peruano, las hipótesis nacieron de estas teorías que están explicadas en la metodología del FEMA 440, posteriormente la muestra puede ser elegido a través de un modelo matemático de un edificio diseñado y construido bajo algún sistema estructural.

3.3. NIVEL O ALCANCE DEL ESTUDIO

De acuerdo con Hernández Sampieri et al., la investigación descriptiva se centra en el análisis de realidades concretas, con el objetivo principal de presentar una interpretación precisa y correcta de los hechos. Este tipo de estudio busca caracterizar con exactitud las propiedades relevantes de personas, grupos, comunidades o cualquier fenómeno que sea objeto de análisis

De lo antes mencionado; se adopta como fenómeno al comportamiento estructural sometido a análisis estructurales basados en el FEMA 440 con la

finalidad de validar, determinar, computar y obtener el factor de reducción de fuerzas sísmicas en el sistema estructural de muros de ductilidad limitada.

También se puede determinar que el presente proyecto está considerado de alcance o nivel del tipo descriptivo ya que se busca especificar de forma fiable este R en sistemas de muros de ductilidad limitada sometiéndolos a estructurales basados en la metodología FEMA-440.

3.4. DISEÑO

Según Hernández et al., la investigación no experimental longitudinal se caracteriza por ejecutarse sin manipulación deliberada de variables, limitándose a la observación de los fenómenos en su entorno natural para su posterior análisis. Este tipo de estudio se enfoca en examinar cómo una o más variables, o las relaciones entre ellas, evolucionan o cambian a lo largo del tiempo.

Se determina que el presente proyecto de tesis se enmarca dentro de un diseño de investigación no experimental de tipo longitudinal, dado que las variables de estudio surgen directamente del problema de investigación y no son manipuladas de manera artificial. Este enfoque permite observar la evolución o el cambio de una variable en función de otra, es decir, posibilita analizar cómo se determina el factor de reducción de fuerzas sísmicas en sistemas de muros de ductilidad limitada, tal como se señala en la literatura.

3.5. POBLACIÓN

3.5.1. POBLACIÓN (CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN)

Población: El universo o población que se pretende estudiar en este tema de investigación está basado en los edificios diseñados y

construidos bajo el sistema MDL, este tipo de edificios está presente en zonas de alta sismicidad, tal como se reporta a continuación:

Figura 2

Población estimada de los edificios de muros de ductilidad limitada construidas en el Perú

MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA (MDL)
ENTREVISTA AL DR. GENNER VILLARREAL CASTRO.



1. En el Perú, ¿qué experiencias se tiene en la aplicación del Sistema constructivo de Muros de Ductilidad Limitada?

- Auge de la construcción de este Sistema desde al año 2000.
- Dedicados a la clases de niveles C y D.
- Su sistema constructivo es un sistema industrializado económico (reducción en un 50% de tiempo).
- Preferido por el mercado nacional por la reducción de costos.

Nota: el Dr. Genner Villarreal explica la aplicación de los muros de ductilidad limitada en nuestro país.

Para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación, se considera como población de estudio al edificio multifamiliar “Nuevo Chimbote”, localizado en la provincia del Santa, departamento de Áncash. Esta edificación se encuentra en una zona catalogada como sísmica, según lo reflejan los planos estructurales.

3.6. MUESTRA

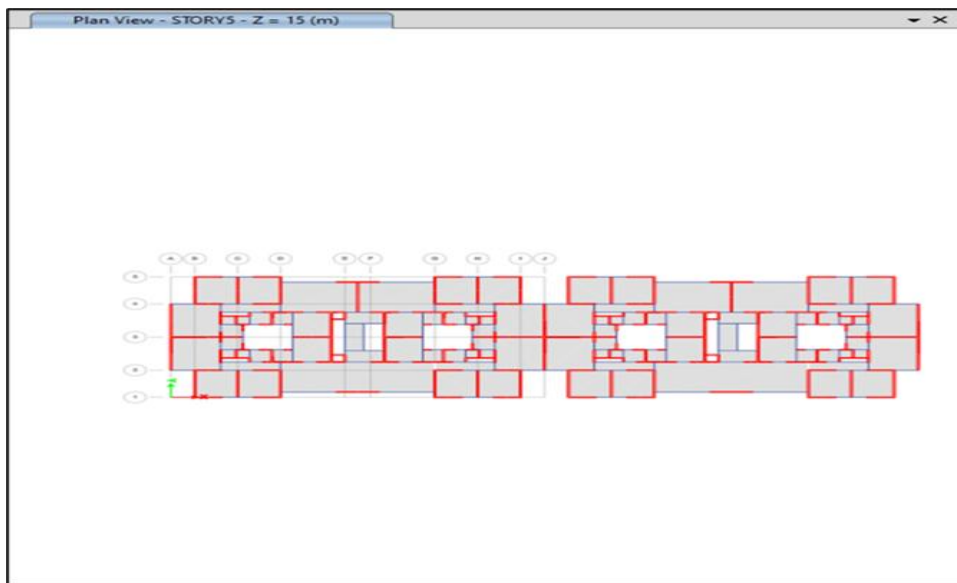
Muestra: La muestra estará basada en la totalidad de muros de ductilidad limitada en ambas direcciones de la edificación denominada “nuevo Chimbote”. Se utiliza un edificio por diversos motivos:

Debido a la gran densidad de muros en planta representa gran resistencia a la fuerza sísmica lateral, lo que otros diversos MDL también lo proporcionarían.

Representa un modelo con muchos cientos o miles grados de libertad (GDL), lo cual captura la variedad de cada modelo real existente. Cada GDL representa una única forma de responder por parte de esta estructura, ya que se conoce la respuesta estructural de este tipo de sistema estructural y estaría siendo reproducida.

Figura 3

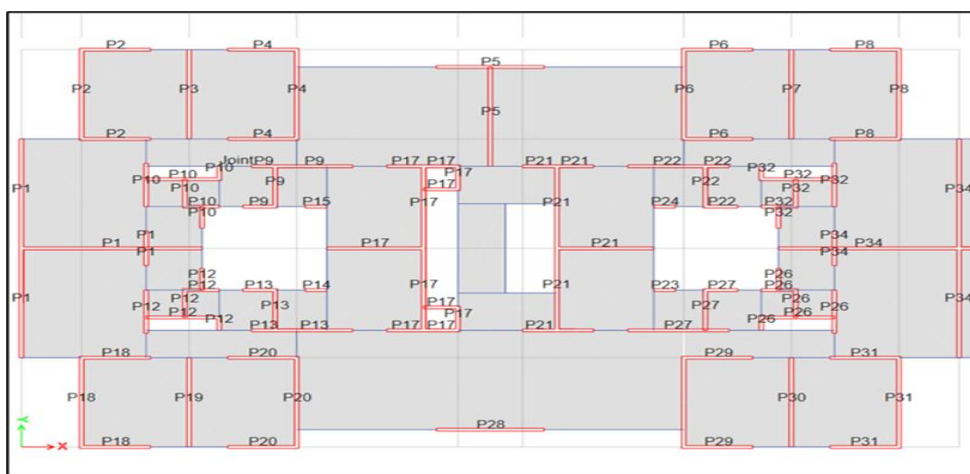
Edificio nuevo Chimbote – Vista en planta



Nota: Edificio diseñado y construido a base de MDL.

Figura 4

Edificio nuevo Chimbote – Vista en planta de Piers



Nota: Edificio diseñado y construido a base de MDL.

Reportando a la figura 4, se desprende la totalidad de muros de ductilidad limitada (MDL) en la planta del edificio de la población, nótese la presencia de hasta 34 pies o tipos de MDL que absorberán la fuerza cortante y proporcionan la rigidez necesaria para oponerse al efecto sísmico. Sin embargo, existen 8 MDL que guardan simetría con los demás, como se muestra a continuación:

- Pier1 (P1): De sección T compuesta, representa al MDL límite de propiedad con un ala longitudinalmente larga (dirección X).

- Pier2 (P2), Pier4 (P4), Pier6 (P6) y Pier8 (P8): Del tipo C, destinada a separar ambientes ubicados en los 4 lados laterales.

- Pier3 (P3): Del tipo rectangular, destinada a separar ambientes ubicados en los 4 lados laterales.

- Pier5 (P5): De sección T, representa al MDL límite de propiedad con un ala longitudinalmente larga (dirección Y)

- Pier9 (P9): De sección compuesta y muy variable, representa al MDL que contiene al cuerpo de la escalera.

- Pier10 (P10): De sección compuesta también muy variable, representa al MDL que contiene al ascensor.

- Pier15 (P15): Del tipo rectangular.

- Pier17 (P17): Del tipo compuesta y variable.

De lo antes mencionado; la muestra representa a 8 diferentes tipos de MDL, mismas que guardan simetría.

Así mismo, esta edificación está construida bajo el sistema estructural MDL, la siguiente imagen muestra los detalles sismorresistentes:

Figura 5

Cargas sísmicas del edificio Nuevo Chimbote

<u>CARGAS SISMICAS:-</u>		
REGLAMENTO:-	E-0.30	
FACTOR DE ZONA, Z	0.40	
FACTOR DE USO, U	1.00	
FACTOR DE SUELO, S	1.20	
COEFICIENTE DE REDUCCION DE SOLICITACIONES SISMICAS, R	EDIFICIO DE 5 PISOS	Rx=4.00 (MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA) Ry=4.00 (MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA)
<u>RESULTADOS DEL ANALISIS SISMICO</u>		
<u>-EDIFICIO MODULO SIMPLE</u>		
DIRECCION X-X:		
-Txx = 0.168seg.		
-Vxx = 236 Ton.		
-MAXIMO DESPLAZAMIENTO EN LA AZOTEA = 1.35 cm.		
-MAXIMA DERIVA DE ENTREPISO = 0.00151 hei		
DIRECCION Y-Y:		
-Tyy = 0.102 seg.		
-Vyy = 236 Ton.		
-MAXIMO DESPLAZAMIENTO EN LA AZOTEA = 0.48 cm.		
-MAXIMA DERIVA DE ENTREPISO = 0.00063 hei		
<u>-EDIFICIO MODULO DOBLE</u>		
DIRECCION X-X:		
-Txx = 0.177seg.		
-Vxx = 467 Ton.		
-MAXIMO DESPLAZAMIENTO EN LA AZOTEA = 1.52 cm.		
-MAXIMA DERIVA DE ENTREPISO = 0.00131 hei		
DIRECCION Y-Y:		
-Tyy = 0.112 seg.		
-Vyy = 467 Ton.		
-MAXIMO DESPLAZAMIENTO EN LA AZOTEA = 0.53 cm.		
-MAXIMA DERIVA DE ENTREPISO = 0.0007 hei		

Nota: Edificio a base de Muros de ductilidad limitada, nótese el valor del factor de reducción de fuerzas sísmicas Rx y Ry.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos

Las técnicas o herramientas utilizadas para la recolección de datos serán las del tipo revisión documental y la observación del tipo no experimental, mismas que son referenciadas a continuación:

Tabla 2

Instrumentos de recolección de datos.

Técnica	Instrumento	Definición	Aplicación en la investigación
Revisión documental	Ficha de revisión	Se entiende como el proceso de recopilar información mediante la revisión y análisis de diversas fuentes documentales relacionadas con el tema de estudio.	Consiste en la obtención de información y características relacionadas con el sistema de muros de ductilidad limitada (MDL). Para ello, se toma como caso de estudio el edificio multifamiliar “Nuevo Chimbote”.
Registro experimental	Ficha de registro y software	Es el registro sistemático de una situación real, en el cual se documentan los acontecimientos siguiendo un esquema o plan previamente definido.	Consiste en el registro directo de la disposición real de los elementos estructurales de los muros de ductilidad limitada presentes en la muestra seleccionada. el edificio Nuevo Chimbote consta de hasta 34 pies o tipos de MDL que guardan simetría en un total de 8 MDL

Para la presentación de datos

Existen diversos tipos de presentación de datos, entre ellos tabular, este método resulta más sencillo y se ajusta más al tipo de investigación, ya que se puede utilizar el Excel para la presentación en filas y columnas de los datos.

Figura 6

presentación de datos del tipo tabular

ID	Year	Region	2017 Revenue	2018 Revenue	% Change
1	2017	East	\$80,191	\$83,115	4% ▲
2	2017	West	\$80,773	\$93,038	15% ▲
3	2017	North	\$59,707	\$75,716	27% ▲
4	2017	South	\$39,796	\$34,293	-14% ▼
5	2018	East	\$68,100	\$68,100	0% —
6	2018	West	\$98,456	\$122,714	25% ▲
7	2018	North	\$84,487	\$30,670	-64% ▼
8	2018	South	\$95,793	\$138,856	45% ▲

Métodos de presentación de datos - Métodos de presentación de datos - Fuente de la imagen: [bencollins](#)

Nota: Este método presenta los datos de una manera ordenada y puede realizarse usando las filas y columnas en el software Excel.

También es necesario indicar que la presentación de datos será en forma de textos, usando párrafos, viñetas y guiones.

Figura 7

presentación de datos del tipo de textos

- El 65% de los usuarios de correo electrónico en todo el mundo acceden a su correo electrónico a través de un dispositivo móvil.
- Los correos electrónicos optimizados para dispositivos móviles generan tasas de clics un 15 % más altas.
- El 56% de las marcas que usan emojis en las líneas de asunto de sus correos electrónicos tuvieron una tasa de apertura más alta.

(Fuente: [Cliente Termómetro](#))

Nota: Este método presenta los datos de una manera ordenada y separada, cada párrafo esta con una viñeta diferente.

3.8. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis e interpretación de datos, representa un proceso crítico que implica revisar los datos, llegar a conclusiones y buscar el significado más amplio de los hallazgos de la investigación. Algunos puntos clave utilizados en la presente investigación. Apoyados en la metodología FEMA 440, los pasos son los siguientes:

Recopilación de datos: Determinación de geometrías, rigideces, masas, también la determinación de las curvas fuerza desplazamiento para los materiales constitutivos del concreto y acero de refuerzo.

Determinación de la masa total: Mediante la ejecución de un análisis modal se cuantifica la masa total m y el periodo T .

Construcción del espectro elástico. Este espectro elástico se construye en base a la E.030 utilizando la fórmula $V=ZUCS/R$, con la particularidad que $R=1$, para considerarlo elástico.

Determinación de la curva pushover: La distribución de las cargas laterales se realizará tomando como referencia el modo fundamental de vibración de la estructura. A partir de esta distribución, se determinarán el límite de fluencia y la deformación correspondiente, cumpliendo con los lineamientos establecidos en la metodología FEMA 440.

Selección de método de demanda inelástica recomendado por FEMA 440: Se realizará la utilización del procedimiento propuesto por el FEMA 440 llamado linealización equivalente, que consiste en obtener la demanda inelástica y el periodo efectivo.

Cálculo de la demanda elástica. Una vez ya determinado la masa m y el periodo S_a elástico efectivo se determina la fuerza elástica equivalente según la metodología FEMA 440.

Definición de R : FEMA 440 define el cálculo del factor R utilizando la siguiente fórmula: $R = F_{el} / F_y$, donde F_y fuerza lateral al inicio de la respuesta inelástica.

Discusión de resultados: Obtenido el factor R en sistemas de MDL, se recurrirá a la literatura existente para comparar y someterlo a juicio con otros autores que haya reportado este factor para el mismo sistema a nivel internacional, nacional y si existe a nivel local.

propuesta: Finalmente esta investigación deberá ser sometido a sustentación ante ingenieros civiles muy capacitados con la finalidad de que expresen sus comentarios y críticas sobre lo obtenido. Finalmente, esta investigación representará una opinión más para que finalmente el comité encargado de aprobar los códigos nacionales tenga un sustento de apoyo y decisión más.

3.9. ASPECTOS ÉTICOS

La construcción del cuerpo la presente investigación fue fundamentado en el conocimiento científico extraído de autores reconocidos y metodologías extranjeras de renombre, así mismo esta investigación reconoce la propiedad del trabajo intelectual de cada autor disponiendo la fuente en las referencias bibliográficas. la presente tesis no infringe las normas legales. Además, el presente estudio no viola ni infringe normas legales, motivos que sustentan la ética dentro del proyecto.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Para el objetivo específico 1: “Generar el espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada según la E.030-2018”.

Procesamiento de datos para la geometría del edificio nuevo Chimbote: posee diversos datos propios de su estructura (distancias de separación de ambientes en ambas direcciones, alturas de entrepiso y demás) y de sus materiales constitutivos utilizados para la construcción.

Datos geométricos del edificio nuevo Chimbote:

Longitud total (X)= 43.60mts

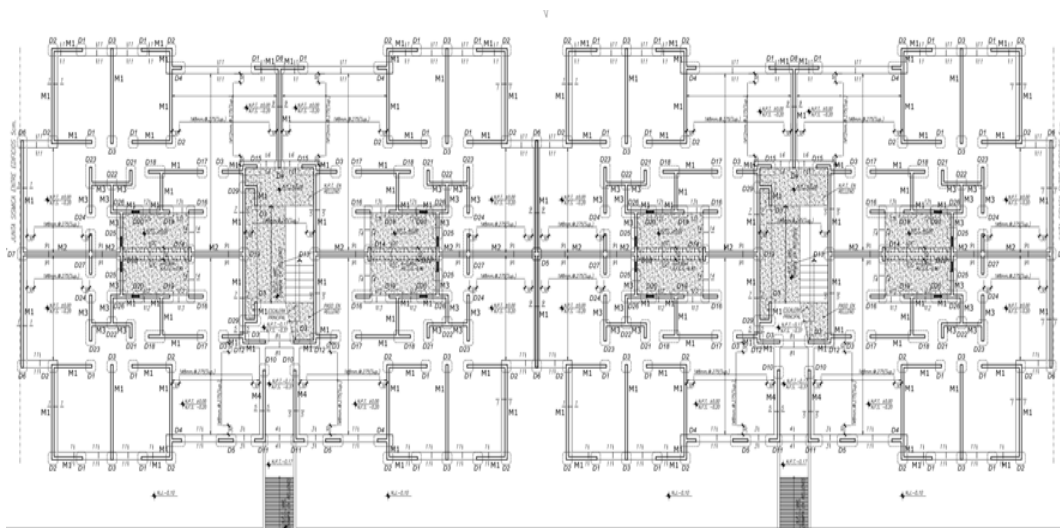
Ancho total (Y)= 13.80mts

Área techada= 601.68 m²

Número de niveles= 5@3mts.

Figura 8

Vista en planta del edificio nuevo Chimbote



Nota: Disposición de gran densidad de muros en ambas direcciones de análisis.

Análisis: Las dimensiones en la dirección X e Y muestran un edificio robusto con una relación A/L=0.32, también manifiesta un área techada de 601.68 m²

Interpretación: Este edificio multifamiliar parece ser más alargado en la dirección X en relación a su dirección más corta, sin embargo, existe simetría, visualmente se evidencia gran densidad de muros de ductilidad limitada

Procesamiento de datos para los materiales constitutivos del edificio nuevo Chimbote: La revisión del expediente técnico manifiesta que f'c (compresión) es de 175 kg/cm² con un tamaño máximo del agregado de 1", en los muros, se emplearon mallas electrosoldadas con un límite de fluencia fy= 5000 kg/cm² tal como se ilustra en las figuras 09 y 10.

Figura 9

Calidad del concreto utilizado del edificio nuevo Chimbote

4. CALIDAD DEL CONCRETO:-

ELEMENTO	RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS A LOS 28 DIAS, f _c	TAMANO MAXIMO DEL AGREGADO	SLUMP MAXIMO
FALZAS ZAPATAS (CONCRETO CICLOPEO 1:10 +30% DE PIEDRA GRANDE)	100 kg/cm ²	6"	4"
ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS	210 kg/cm ²	2"	4"
MUROS	MODULO SIMPLE	1"	4"
	175 kg/cm ²		
	MODULO DOBLE	1"	4"
	175 kg/cm ²		
	CISTERNA 210 kg/cm ²	1"	4"
	AREAS COMUNES SALON COMUNAL 210 kg/cm ²	1"	4"
	AREAS COMUNES PORTERIA - LOCAL COMERCIAL 175 kg/cm ²	1"	4"

Fuente: expediente técnico del proyecto nuevo Chimbote.

Figura 10

Equivalencia del acero corrugado y malla electrosoldada del edificio nuevo Chimbote.

EQUIVALENCIA DE FIERRO CORRUGADO ($f_y = 4200$ Kg/cm²) Y MALLA ELECTROSOLDADA ($f_y = 5000$ Kg/cm²)

	<u>VARILLAS FIERRO CORRUGADO</u> <i>$f_y = 4200$ kg/cm²</i>		<u>MALLA ELECTROSOLDADA</u> <i>O VAR $f_y = 5000$ kg/cm²</i>
	<i>ϕVertical</i>	<i>ϕHorizontal</i>	<i>MALLA</i>
<i>MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA (Ver Nota)</i>	<i>$\phi 6mm@.175$</i>	<i>$\phi 6mm@.175$</i>	<i>Q153 ó Q159 ó Q158</i>
	<i>$\phi 8mm@.35$</i>	<i>$\phi 8mm@35$</i>	<i>Q142</i>
	<i>$\phi 8mm@.325$</i>	<i>$\phi 8mm@325$</i>	<i>Q153 ó Q159 ó Q158</i>
	<i>$\phi 8mm@.30$</i>	<i>$\phi 8mm@30$</i>	<i>Q159 ó Q158</i>
	<i>$\phi 8mm@.25$</i>	<i>$\phi 8mm@25$</i>	<i>Q196 ó Q195</i>
	<i>$\phi 8mm@.20$</i>	<i>$\phi 8mm@20$</i>	<i>Q252 ó Q257</i>
	<i>$\phi 8mm@.45$</i>	<i>$\phi 8mm@45$</i>	<i>Q106</i>
	<i>$\phi 3/8"@.225$</i>	<i>$\phi 3/8"@225$</i>	<i>Q312</i>
	<i>$\phi 3/8"@.30$</i>	<i>$\phi 3/8"@30$</i>	<i>Q238 ó Q235</i>
	<i>$\phi 3/8"@.20$</i>	<i>$\phi 3/8"@20$</i>	<i>Q353</i>
	<i>$\phi 3/8"@.25$</i>	<i>$\phi 3/8"@25$</i>	<i>Q283</i>

Fuente: expediente técnico del proyecto nuevo Chimbote.

Análisis: El hecho de que los MDL tengan una resistencia a la compresión equivalente a 175 kg/cm² manifiesta la reducida capacidad en compresión y obviamente la mínima capacidad en tensión. Por otro lado, si bien es cierto se tienen refuerzos de acero $f_y=4200$ kg/cm² también, y en gran medida, se tiene la disposición de malla electrosoldada en todo el cuerpo del muro con un $f_y=5000$ kg/cm²

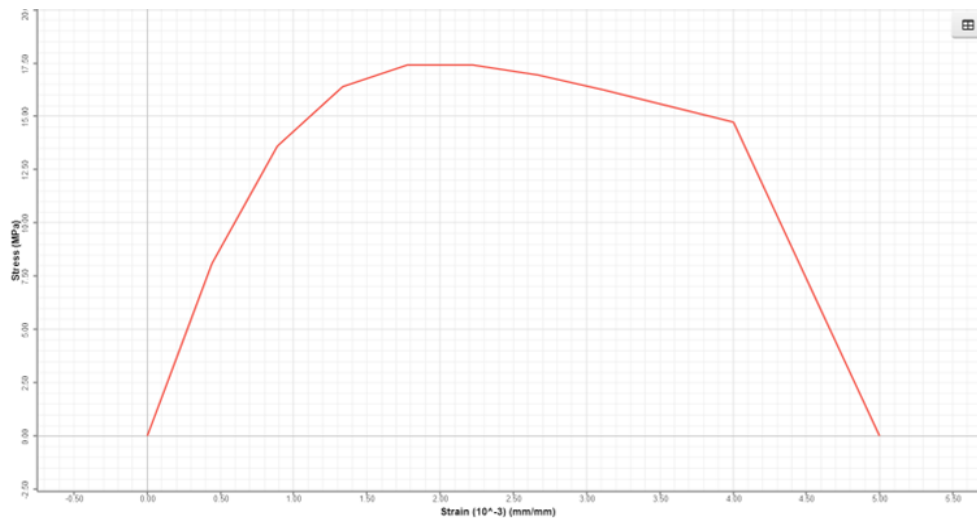
Interpretación: Al tenerse una resistencia a la compresión mínima de 175 kg/cm² se espera que las deformaciones unitarias a la cual se encuentra la caída de la curva se dé rápidamente, del mismo modo para la curva fuerza deformación del acero de refuerzo en comparación con la curva de la malla electrosoldada.

Para conocer exactamente la curva fuerza desplazamiento del concreto de 175 kg/cm², se utiliza el software CSI COL, inicialmente se ejecuta dicho programa, como se muestra a continuación:

Nótese que se le indicó que la resistencia a la compresión (compressive strength) sea del orden de 17.50 MPa que es equivalente a 175 kg/cm² de donde se desprende la siguiente curva fuerza desplazamiento mostrada en la siguiente figura 13.

Figura 13

Curva no lineal del concreto 17.50 MPa



Fuente: CSI Computer & Structures

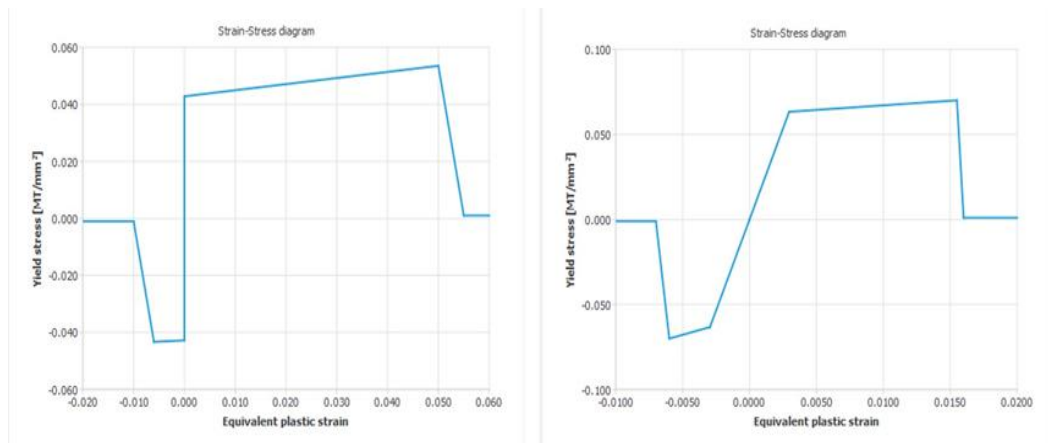
Análisis: Ya que los fines de la presente tesis así lo exigen, se utiliza un modelo no lineal para reproducir el carácter no lineal del concreto, se utilizó el software Csi col con el dato de la resistencia a la compresión equivalente a 175 kg/cm²

Interpretación: Al tratarse de un concreto no confinado, la curva construida por Mander et al. 1998 manifiesta un fin de la etapa elástica en una deformación del orden de 0.0005(0.5E-3), mientras que la rotura del concreto a una deformación unitaria de 0.005 (5E-3).

De manera similar para el fierro $f_y=4200$ kg/cm² y la malla electrosoldada de $f_y=5000$ kg/cm² de la literatura se conocen ambas curvas fuerza desplazamiento, que son mostradas a continuación.

Figura 14

Curva no lineal del acero de refuerzo y malla electrosoldada



Fuente: Gálvez, 2024

Análisis: En los bordes o extremos se utiliza el acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm^2 (izquierda en la figura 14) mientras que el cuerpo o alma del MDL se utiliza la malla electrosoldada $f_y=5000$ kg/cm^2 (derecha en la figura 15).

Interpretación: La curva no lineal mostrada en la figura 14 (izquierda) tiene un esfuerzo de 0.04 (MT/mm²) equivalente a 4200 kg/cm^2 con una caída de la curva en 0.05. Mientras que la curva no lineal mostrada en la figura 14 (derecha) tiene un esfuerzo de 0.05 (MT/mm²) equivalente a 5000 kg/cm^2 con una caída de la curva en 0.015

Procesamiento de datos para las secciones del edificio nuevo

Chimbote: La revisión del expediente técnico manifiesta también el espesor equivalente a 10 centímetros utilizados en todos los muros de delgados.

Figura 15

Cuadro de muros de ductilidad limitada en el edificio nuevo Chimbote

CUADRO DE MUROS										
Muro	Piso	M1		M2		M3				
		VERTICAL	HORIZONTAL	VERTICAL	HORIZONTAL	VERTICAL	HORIZONTAL			
	1er.	$f_c = 0.10$	#8mm@.20 Malla Simple	#8mm@.20 Malla Simple	$f_c = 0.10$	#12mm@.20 Malla Simple	#12mm@.20 Malla Simple	$f_c = 0.10$	#8mm@.25 Malla Simple	#8mm@.25 Malla Simple
	2do.	$f_c = 0.10$	#8mm@.20 Malla Simple	#8mm@.20 Malla Simple	$f_c = 0.10$	#12mm@.20 Malla Simple	#12mm@.20 Malla Simple	$f_c = 0.10$	#8mm@.25 Malla Simple	#8mm@.25 Malla Simple
	3er. y 4to.	$f_c = 0.10$	#8mm@.25 Malla Simple	#8mm@.25 Malla Simple	$f_c = 0.10$	#8mm@.20 Malla Simple	#8mm@.20 Malla Simple	$f_c = 0.10$	#8mm@.25 Malla Simple	#8mm@.25 Malla Simple
	5to.	$f_c = 0.10$	#8mm@.25 Malla Simple	#8mm@.25 Malla Simple	$f_c = 0.10$	#8mm@.20 Malla Simple	#8mm@.20 Malla Simple	$f_c = 0.10$	#8mm@.25 Malla Simple	#8mm@.25 Malla Simple

		M4		M5	
		VERTICAL	HORIZONTAL	VERTICAL	HORIZONTAL
$f_c = 0.10$		#8mm@.25 Malla Simple	#8mm@.25 Malla Simple		-----
	$f_c = 0.10$	-----	-----	$f_c = 0.10$	#8mm@.25 Malla Simple
	$f_c = 0.10$	-----	-----	$f_c = 0.10$	#8mm@.25 Malla Simple
	$f_c = 0.10$	-----	-----	$f_c = 0.10$	#8mm@.25 Malla Simple

Fuente: expediente técnico del proyecto nuevo Chimbote.

Análisis: Existen 5 tipos de muros de ductilidad limitada en el edificio nuevo Chimbote, como son M1, M2, M3, M4 y M5; cada uno de ellos con un espesor de 10 centímetros, desde el primer piso hasta el quinto piso. En estos muros delgados se dispusieron mallas simples electrosoldadas en ambas direcciones, tal como se muestra en la figura

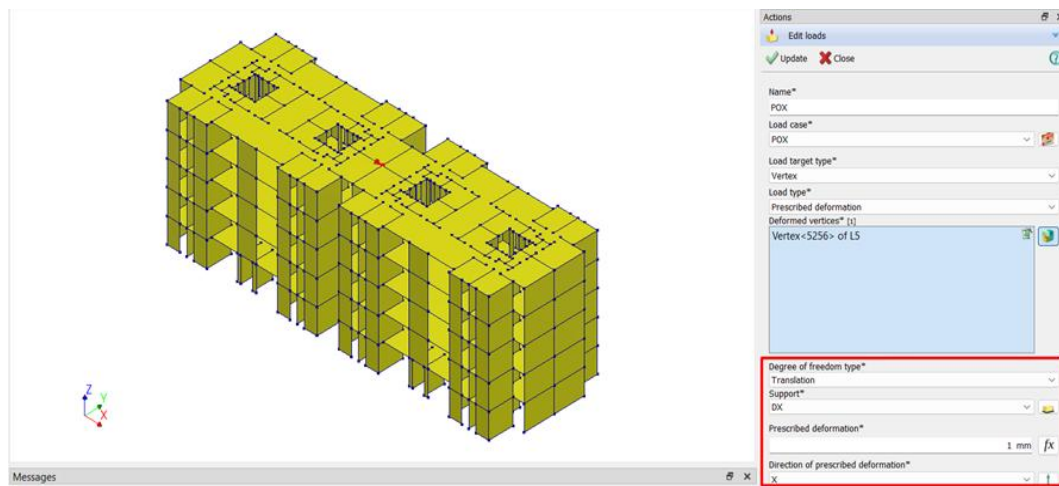
Interpretación: Debido a los espesores reducidos, curva del concreto sin confinar y mallas electrosoldadas el sistema se vuelve un sistema que en el papel desarrollaría poca ductilidad, sin embargo, esto será motivo de discusión en los capítulos siguientes.

Construcción del caso estático no lineal: Posteriormente de haber determinado la geometría del edificio, el comportamiento no lineal de los materiales que lo conforman y las secciones de cada elemento estructural se

procedió a construir el caso estático no lineal, para obtener la curva pushover del edificio en ambas direcciones de análisis. Se vio por conveniente realizar el análisis no lineal estático controlado por un nudo en la losa del último techo bajo deformación prescrita equivalente a 1 milímetro para cada dirección de análisis. En este nudo se pretende controlar las reacciones de la base versus los desplazamientos de la losa en mención. A continuación, se muestra el caso de análisis.

Figura 16

Control del nudo de la losa superior por desplazamiento prescrito



Análisis: Mediante la figura anterior se muestra la carga denominada POX (pushover en la dirección X) del tipo de deformación prescrita aplicada en el vértice superior del techo del piso 5, esta carga será del tipo traslacional (en ambas direcciones) equivalente a 1 milímetro.

Interpretación: Mediante este caso de carga no lineal se realiza el empuje gradual equivalente a 1 milímetro, con el propósito de hallar la curva pushover en ambas direcciones, esta curva de capacidad se construye utilizando las reacciones en la base versus los desplazamientos del último nivel en un plano cartesiano, esta curva finalmente mostrará la etapa elástica (donde se supone que no hay daño), la etapa post-elástica (en donde se

esperan grietas), la degradación de la curva de capacidad (en donde se esperan daños estructurales) y finalmente el colapso o pérdida de rigidez total de la curva (en donde se espera la rotura del refuerzo, pandeo de la barra y demás).

Cálculo de la curva pushover: Una vez concluido el análisis no lineal estático, se obtuvo la curva de capacidad de colapso correspondiente a cada dirección de análisis, visualizándola directamente en el visor del software. A continuación, se presentan las curvas de capacidad resultantes para ambas direcciones.

Figura 17

Lectura de la curva pushover en el eje X

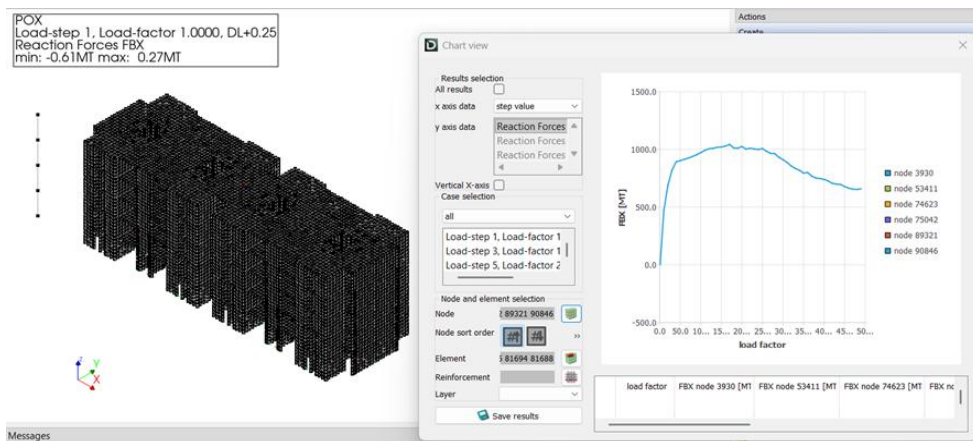


Figura 18

Lectura de la curva de capacidad en el eje Y

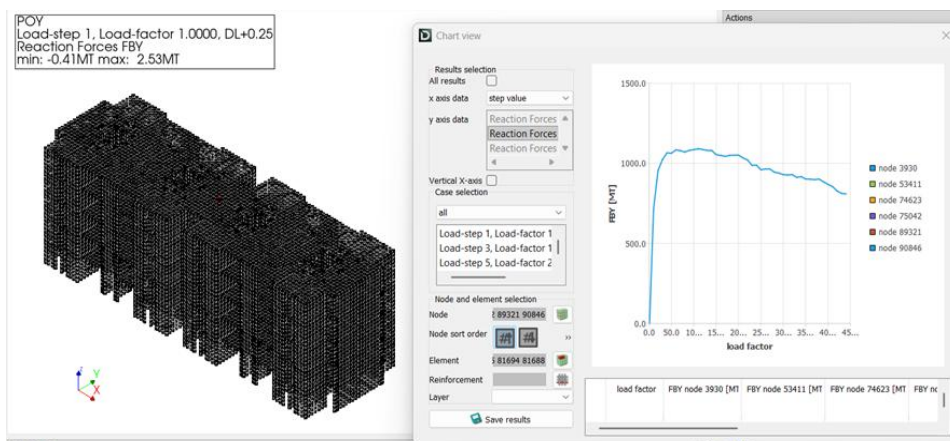
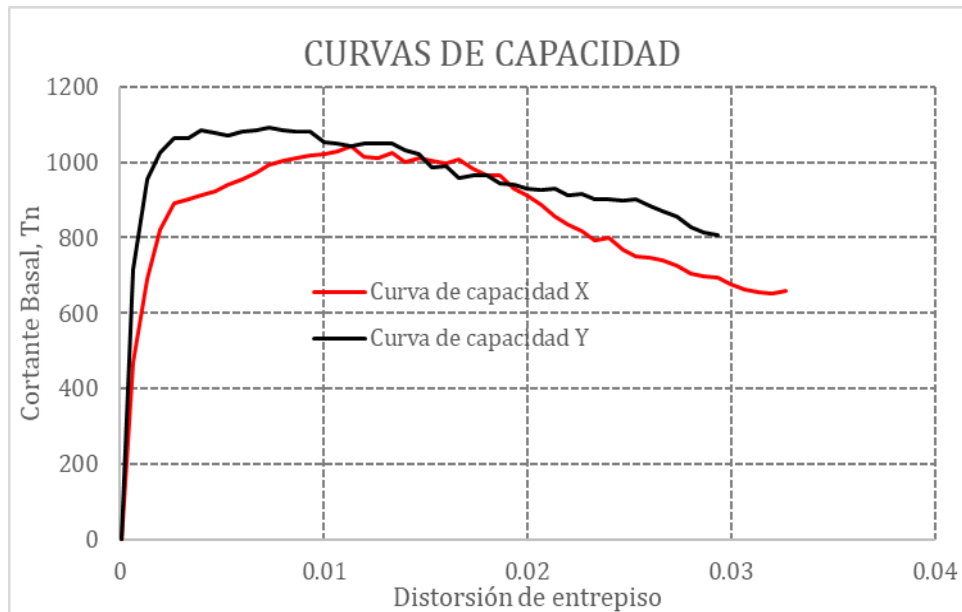


Figura 19

Curvas pushover en ambos ejes



Análisis: Las Figuras 17 y 18 muestran la curva de capacidad en las direcciones X e Y, respectivamente. El software permite visualizar la relación entre el cortante basal y los desplazamientos del último nivel en cada incremento de carga, facilitando la evaluación del comportamiento estructural bajo el análisis no lineal estático.

Interpretación: El sistema estructural alcanza valores de cortante basal superiores a mil toneladas, mientras que la curva de capacidad mantiene su integridad hasta distorsiones de entrepiso mayores a 0.01, lo que evidencia un adecuado desempeño sísmico del sistema de muros de ductilidad limitada.

Para el objetivo específico 2: “Identificar la curva de capacidad utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada según la E.030-2018”.

De igual modo para la curva de capacidad, primeramente, se extrae desde el análisis no lineal dinámico y luego se transforma a coordenadas espectrales lo cual se detalla en la figura 20.

Figura 20*Transformación a coordenadas espectrales de las curvas de capacidad*

POX	load factor	FBX node 3930	Sa	Sd	POY	load factor	FBY node 3930	Sa	Sd
1	1	-0.610722	-0.0029	0.0001	1	1	2.5252	0.0121	0.0001
2	10	468.798	2.2495	0.0007	2	10	713.9670	3.4259	0.0007
3	20	690.343	3.3126	0.0013	3	20	954.8720	4.5819	0.0013
4	30	820.594	3.9376	0.0020	4	30	1023.7100	4.9122	0.0020
5	40	892.266	4.2815	0.0027	5	40	1065.0800	5.1107	0.0027
6	50	902.073	4.3286	0.0033	6	50	1063.1700	5.1016	0.0033
7	60	913.293	4.3824	0.0040	7	60	1083.6200	5.1997	0.0040
8	70	924.288	4.4352	0.0047	8	70	1078.9700	5.1774	0.0047
9	80	938.84	4.5050	0.0053	9	80	1070.3300	5.1359	0.0053
10	90	953.66	4.5761	0.0060	10	90	1080.8600	5.1865	0.0060
11	100	971.257	4.6605	0.0067	11	100	1085.2400	5.2075	0.0067
12	110	992.71	4.7635	0.0073	12	110	1090.7400	5.2339	0.0073
13	120	1,004.87	4.8218	0.0080	13	120	1085.7800	5.2101	0.0080
14	130	1,009.44	4.8438	0.0087	14	130	1080.4900	5.1847	0.0087
15	140	1,018.10	4.8853	0.0093	15	140	1080.2400	5.1835	0.0093
16	150	1,020.47	4.8967	0.0100	16	150	1054.1700	5.0584	0.0100
17	160	1,028.07	4.9332	0.0107	17	160	1049.0000	5.0336	0.0107
18	170	1,042.73	5.0035	0.0113	18	170	1043.7000	5.0082	0.0113
19	180	1,013	4.8608	0.0120	19	180	1049.2400	5.0347	0.0120
20	190	1,009.85	4.8457	0.0127	20	190	1050.5400	5.0410	0.0127
21	200	1,024.42	4.9156	0.0133	21	200	1050.8300	5.0424	0.0133
22	210	1,001.78	4.8070	0.0140	22	210	1033.5500	4.9595	0.0140
23	220	1,009.93	4.8461	0.0147	23	220	1020.7300	4.8979	0.0147
24	230	1,003.41	4.8148	0.0153	24	230	987.2220	4.7371	0.0153
25	240	998.241	4.7900	0.0160	25	240	988.6070	4.7438	0.0160
26	250	1,006.75	4.8309	0.0167	26	250	959.2920	4.6031	0.0167
27	260	982.985	4.7168	0.0173	27	260	964.4560	4.6279	0.0173
28	270	964.911	4.6301	0.0180	28	270	964.3770	4.6275	0.0180
29	280	963.341	4.6226	0.0187	29	280	944.8960	4.5340	0.0187
30	290	931.037	4.4675	0.0193	30	290	938.8970	4.5053	0.0193
31	300	910.826	4.3706	0.0200	31	300	929.5640	4.4605	0.0200
32	310	887.137	4.2569	0.0207	32	310	927.2230	4.4492	0.0207
33	320	855.873	4.1069	0.0213	33	320	929.5850	4.4606	0.0213
34	330	834.959	4.0065	0.0220	34	330	912.2350	4.3773	0.0220
35	340	818.922	3.9296	0.0227	35	340	916.9340	4.3999	0.0227
36	350	794.216	3.8110	0.0233	36	350	902.3410	4.3299	0.0233
37	360	799.263	3.8352	0.0240	37	360	900.8840	4.3229	0.0240
38	370	768.278	3.6866	0.0247	38	370	898.1460	4.3097	0.0247
39	380	751.507	3.6061	0.0253	39	380	901.2250	4.3245	0.0253
40	390	747.029	3.5846	0.0260	40	390	884.1560	4.2426	0.0260
41	400	739.731	3.5496	0.0267	41	400	868.4550	4.1673	0.0267
42	410	726.111	3.4842	0.0273	42	410	855.0080	4.1027	0.0273
43	420	705.315	3.3844	0.0280	43	420	827.9990	3.9731	0.0280
44	430	698.901	3.3537	0.0287	44	430	812.6180	3.8993	0.0287
45	440	695.904	3.3393	0.0293	45	440	808.3980	3.8791	0.0293
46	450	677.336	3.2502	0.0300					
47	460	663.55	3.1840	0.0307					
48	470	655.29	3.1444	0.0313					
49	480	652.357	3.1303	0.0320					
50	490	658.415	3.1594	0.0327					

Figura 21

Determinación del factor R – Dir.X

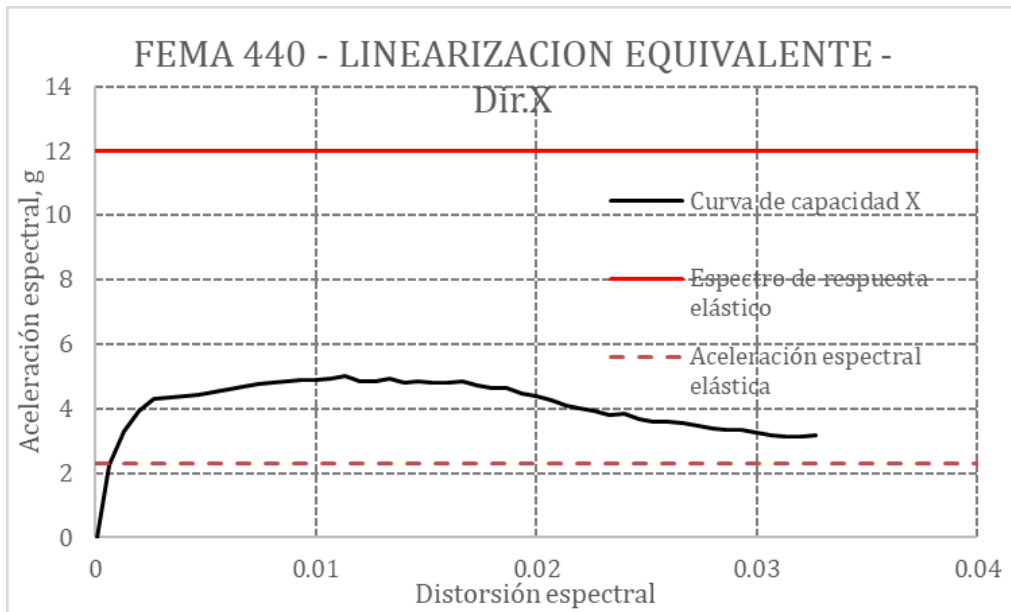
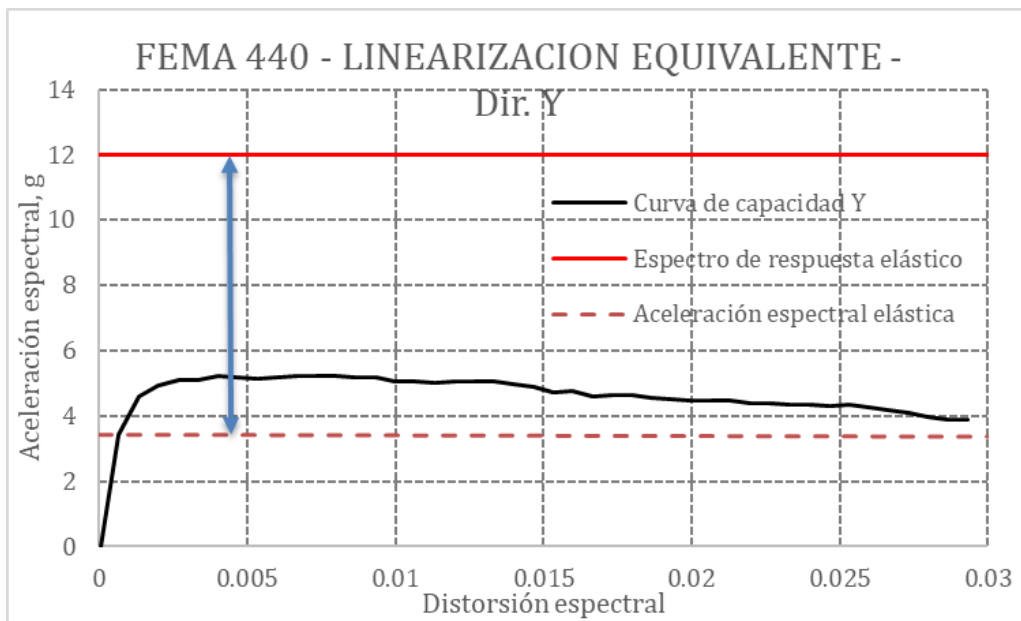


Figura 22

Determinación del factor R – Dir.Y



Para el objetivo específico 3: “Proponer el factor de reducción de fuerza sísmica comparando el espectro de respuesta y la curva de capacidad en el método de linealización equivalente según la E.030-2018”.

El factor de reducción de fuerzas sísmicas R en la dirección X se computa dividiendo la aceleración espectral del espectro de elástico ($R=1$) entre la aceleración espectral donde se da el fin de la etapa elástica lo cual se detalla en la figura 21. se obtiene un espectro de respuesta igual a $12g$ y una aceleración espectral elástica de $2.3g$.

$$R = \frac{12g}{2.3g} = 5.22$$

El factor de reducción de fuerzas sísmicas R en la dirección Y , también se computa dividiendo la aceleración espectral del espectro elástico ($R=1$) entre la aceleración espectral donde se da el fin de la etapa elástica lo cual se detalla en la figura 22. se obtiene un espectro de respuesta igual a $12g$ y una aceleración espectral elástica de $3.43g$.

$$R = \frac{12g}{3.43g} = 3.50$$

$$R_{prom.} = \frac{5.22 + 3.50}{2} = 4.36$$

Por lo cual se propone el factor R promediando la figura 21 y figura 22 de las direcciones (X , Y) utilizando el método de la linealización equivalente. Se obtiene el factor de reducción de fuerza sísmica el valor de $R=4.36$.

4.2. RESULTADOS INFERENCIALES

H₀: Se logra validar el factor de reducción de fuerza sísmica aplicando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada – Huánuco – 2025.

La validación del factor de reducción de fuerza sísmica se realizó utilizando la metodología FEMA 440 a través del método de la linealización equivalente, primeramente, se convirtió al formato ADRS (aceleración versus desplazamiento espectral), utilizando las siguientes ecuaciones:

$$S_d = \frac{\Delta}{L^* M^*}, \quad S_a = \frac{V}{L^2 M^*}$$

En base a estas ecuaciones se realizó la transformación a coordenadas espectrales, en la cual las curvas de capacidad y el espectro elástico ya conversan.

H₀₁: El espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 en MDL es el establecido según la E.030-2018.

Según el Reglamento nacional de edificaciones en el apartado E.030-2018 “Diseño sismorresistente”, el espectro de respuesta se construye bajo la siguiente fórmula:

$$V = \frac{ZUCS}{R}$$

Z: Zona 4: 0.45g

U: Uso: 1.00

C: Factor de amplificación sísmica: 2.50

S: Tipo de suelo: S1: 1.00

R: Factor de reducción: R = 4.00

De donde se construyen los siguientes espectros de respuesta para cada dirección de análisis:

Figura 23

Espectro de respuesta – Dir.X

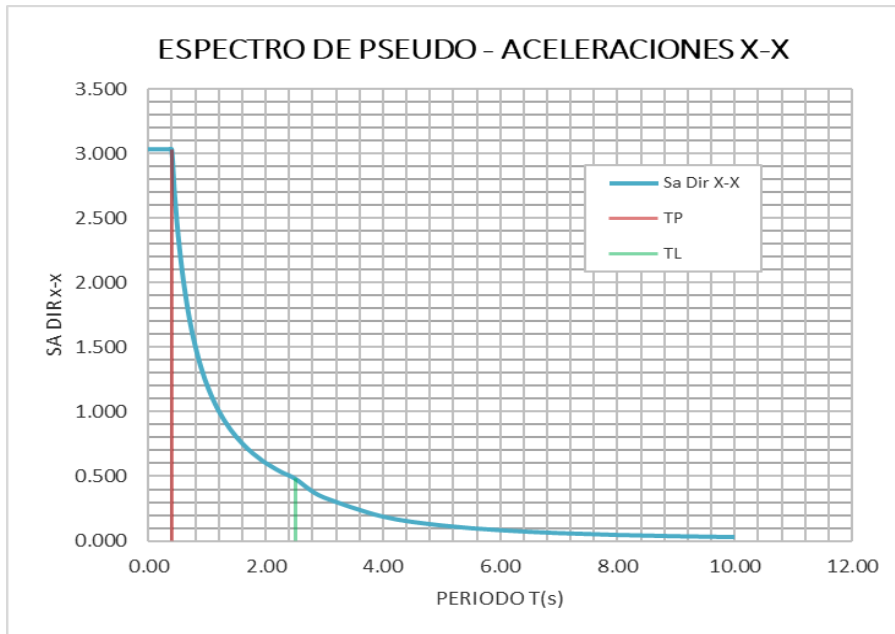
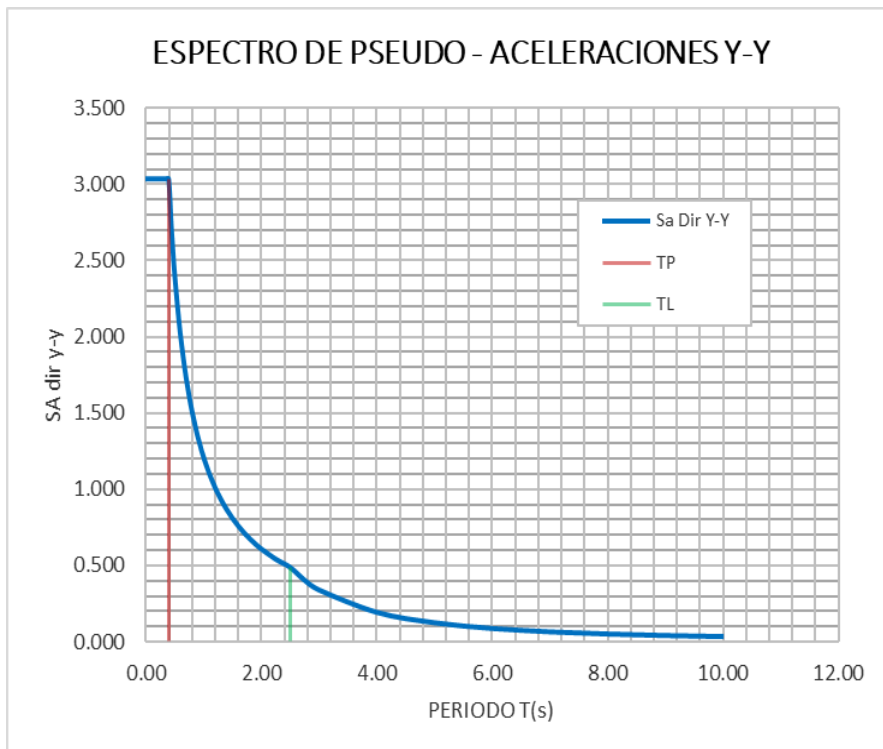


Figura 24

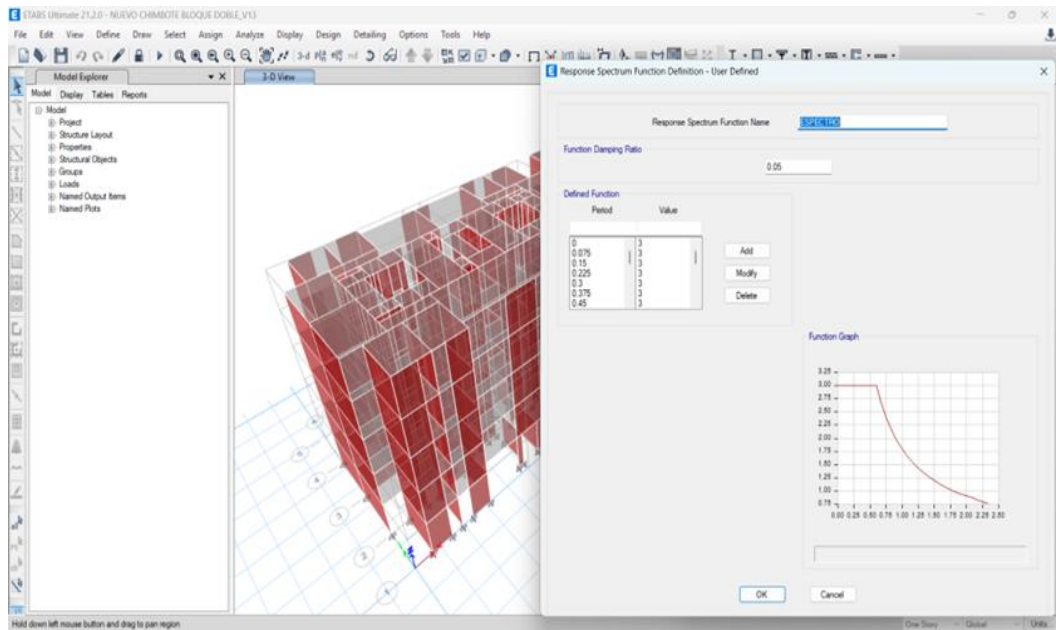
Espectro de respuesta – Dir.Y



Asimismo, el espectro de respuesta se verificó a través del modelo numérico desarrollado en el software ETABS, tal como se ilustra a continuación:

Figura 25

Espectro de respuesta – Dir.X e Y, desde el software ETABS



Sin embargo, para verificar el factor de reducción de fuerzas sísmicas R según el método de la linealización equivalente el espectro debe ser elástico con ($R=1$), con lo cual se acepta la hipótesis H_01 , ya que el espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada es el establecido según la E.030-2018.

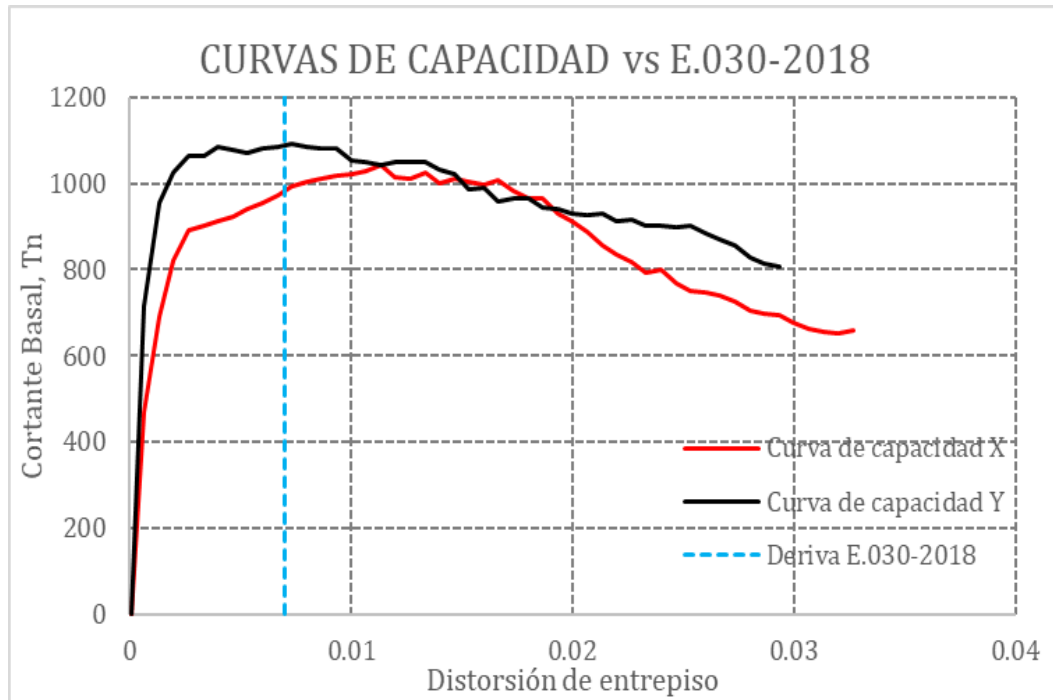
H₀₂: La curva de capacidad utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada es concordante según la E.030-2018.

La curva de capacidad muestra la salud estructural de una edificación cualquiera, desde que parte con una pendiente puramente elástica, pasando por la degradación de la rigidez y culminando en la caída de la curva pushover. Esta investigación construyó la mencionada curva comparando fuerzas cortantes basales (en las ordenadas) y desplazamientos del techo (en

las abscisas), pero estos desplazamientos pueden ser transformados a deriva dividiéndolas entre la altura total de la edificación.

Figura 26

Curvas de capacidad X e Y comparadas con E.030-2018



Mediante la figura 26 se logra aceptar la hipótesis Ho2, ya que la curva de capacidad utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada es concordante según la E.030-2018, nótese que la franja vertical celeste manifiesta el límite máximo permitido de distorsión de entrepiso, el edificio nuevo Chimbote lo sobrepasó sin problema alguno.

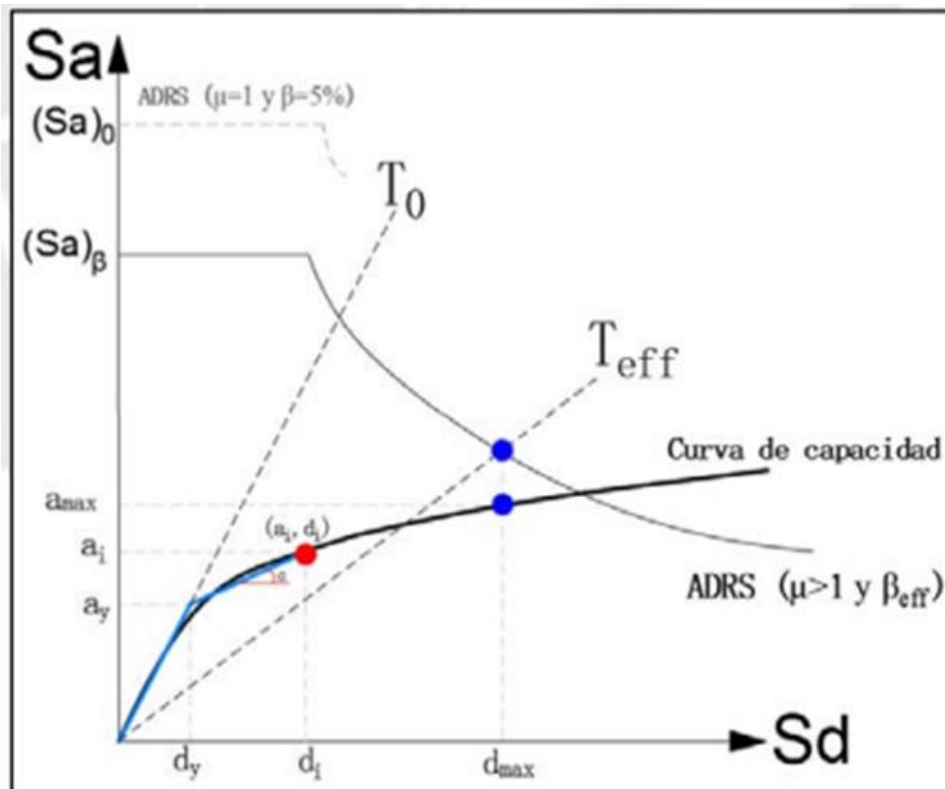
Ho3: El factor de reducción de fuerza sísmica comparando el espectro de respuesta y la curva de capacidad en el método de linealización equivalente es similar al valor según la E.030-2018.

Se rechaza la hipótesis específica 3, ya que el factor R se realiza comparando el espectro de respuesta ELÁSTICO ($R=1$) y la curva de capacidad, esto según el método de la linealización equivalente.

Ya que, el factor de reducción de fuerza sísmica sirve para pasar de un comportamiento puramente elástico a uno inelástico, tal como menciona el FEMA 440.

Figura 27

Método de la linealización equivalente



Fuente: FEMA 440, 2005.

CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS

Las evidencias principales del presente estudio son:

Determinar la curva de capacidad para el edificio nuevo Chimbote en la dirección X e Y de análisis bajo la aplicación de un desplazamiento prescrito en el techo de la edificación, posteriormente fueron convertidas a unidades espectrales del tipo ADRS. Esto se realizó dividiendo la cortante basal entre la masa efectiva según ETABS y también dividiendo los desplazamientos del techo entre el factor de participación modal.

Replicación del espectro utilizando una hoja de cálculo con ($Z=0.45$, $U=1.00$, $C=2.5$, $S=1.00$ y $R=4.00$) con el espectro de respuesta indicado en el software ETABS, posteriormente este espectro de respuesta validado fue convertido a unidades espectrales del tipo ADRS. Esto se realizó dividiendo el periodo de vibración entre $(2\pi)^2$ y multiplicando por la aceleración espectral.

Mediante las conversiones al formato ADRS la curva pushover y el espectro de respuesta elástico ya conversan en un mismo plano cartesiano por lo cual fue posible determinar y validar el factor R utilizando las disposiciones del FEMA 440, 2005.

Contraste de las evidencias

Mohamed et al. (2021): "Evaluation of Seismic Response Modification Factor (R) for Moderate-Rise RC Buildings with Vertical Irregular Configurations".

Este autor concluyó que el factor R no puede asumirse como un valor fijo para todas las estructuras con marcos resistentes al momento, sino que depende significativamente de la geometría vertical y de las irregularidades.

La presente investigación corrobora la afirmación de que el factor R ni puede asumirse como un valor fijo, ya que en la dirección X se encontró 5.22 y en la dirección Y 3.50, más allá de que este edificio no presentaba irregularidades en su configuración en planta ni elevación.

Valdivia (2023) encontró una relación aproximadamente bilineal entre R y la demanda de ductilidad: para valores bajos de R (<4), el incremento en ductilidad es pronunciado, mientras que para valores altos de R se estabiliza. También que los sismos peruanos mostraron mayores demandas de ductilidad que las previstas por modelos genéricos, lo que evidencia la severidad de los registros en zonas de períodos cortos.

Esta investigación encontró también valores numéricos ($R_x=5.22$ y $R_y=3.50$), que en promedio representa un valor cercano al valor normado, sin embargo, esta investigación no ha evaluado la ductilidad del sistema.

Peso (2022), mediante su tesis manifiesta que los sistemas mostraron un comportamiento sísmico más favorable que los pórticos aislados, alcanzando factores R entre 5 y 6 dependiendo de la configuración estructural, la presencia del núcleo de muro aumentó notablemente la rigidez y redujo las derivas laterales.

Esta investigación presentó la respuesta sísmica favorable en la figura 26, desde donde también se alcanzaron factores R entre 5.22 y 3.50. Estos valores reflejan una diferencia mínima en comparación con el valor normado.

Gálvez (2021) manifiesta que el valor de R utilizado en normativa debe depender de características específicas del muro: espesor, tipo de refuerzo, confinamiento y densidad de muros. No puede haber un único valor genérico sin distinguir estos factores.

El factor R en SMDL determinado en esta investigación, fu dependiente de las características siguientes: El espesor típico y promedio fue de 10 centímetros, el refuerzo consistió en varillas dúctiles en los 2 primeros pisos y los demás con malla electrosoldada, la densidad de muros fue alta en ambas direcciones.

Pérez (2023) Se determinó que el $R=2.5$ del ASCE/SEI 7-16 establecido por el código ASCE/SEI 7-16 resulta más adecuado que $R=8$ de la norma peruana E.030 para techos con coberturas metálicas apoyadas en columnas de concreto armado, ya que proporciona un mayor margen de seguridad al generar momentos últimos superiores.

Los resultados obtenidos en la presente investigación guardan similitud entre el valor calculado y el valor normado, la dirección X del edificio nuevo

Chimbote logra disipar mucha más energía que la dirección Y. Según la norma E.030-2018 el factor razonable para este sistema es 4, sin embargo, cuando la densidad de muros sea mucho mas alta este factor puede crecer (como se vio en esta investigación) y así ofrecer un margen de mayor seguridad sísmica.

Fortalezas:

La utilización del análisis no lineal estático representa una buena aproximación al comportamiento real de la estructura, ya que se consideran modelos no lineales de los materiales constitutivos, en esta investigación se

aplicó todo esto para la determinación de un factor muy importante dentro de la ingeniería sísmica basada en el desempeño, encontrándose un valor más conservador en la dirección X y un valor próximo al real en la dirección Y.

La determinación del R estuvo basada en una metodología extranjera de gran aceptación dentro de la comunidad de ingenieros estructurales, esta metodología consistió en la transformación de la curva de capacidad y el espectro de respuesta elástico en coordenadas espectrales.

La utilización de modelos numéricos de edificios reales construidos bajo el reglamento nacional de edificaciones en combinación con los modelos no lineales de los materiales y todo esto sometido al escrutinio de metodologías extranjeras manifiestan el real comportamiento del sistema de muros de ductilidad limitada. En todos los resultados mostrados se demuestra que la capacidad de disipar energía es muy aceptable y comparable con sistemas que son mas dúctiles, así mismo las curvas de capacidad demuestran que la respuesta sísmica de estos sistemas son los adecuados.

Limitaciones:

Si bien se aplicó un análisis no lineal, la actualidad manifiesta la utilización de análisis no lineales dinámicos, en el cual se considera la aplicación de muchos registros sísmicos escalados en concordancia con la estructura a analizar.

El factor de reducción de fuerzas sísmicas obtenido en esta investigación, representa aquel valor teórico que deberá ser utilizado en las mismas condiciones de sitio que el edificio nuevo Chimbote (zona sísmica 4 y Suelo S1). Si se desea conocer el factor en otras condiciones de sitio obviamente cambiará el espectro de respuesta.

CONCLUSIONES

- La determinación del factor R aplicando la metodología FEMA 440 en MDL- Huánuco – 2025 manifiesta que en la dirección X se tiene 5.22 (mayor ductilidad) y en la dirección Y posee 3.50 (menor ductilidad). El promedio de estos factores es equivalente a 4.36. Este último valor representa gran aproximación al valor normado equivalente a 4.00.
- La generación del espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada según la E.030-2018 consistió en: primeramente, resolver la ecuación $V=ZUCS/R$ y posteriormente utilizar $R=1$ para generar un espectro de respuesta del tipo elástico, finalmente se convirtió a coordenadas espectrales utilizando el formato ADRS.
- Se logró identificar la curva de capacidad utilizando la metodología FEMA 440 en MDL según la E.030-2018. Esta curva de capacidad fue obtenida directamente del ensayo no lineal estático, para que sea compatible al espectro de respuesta elástico también se tuvo que transformar a coordenadas espectrales, luego de esta conversión ya ambos eran concordantes al FEMA 440 según el método de la linealización equivalente.
- La proposición del factor de reducción de fuerza sísmica comparando el espectro de respuesta y la curva de capacidad en el método de linealización equivalente según la E.030-2018 consistió en dividir la aceleración espectral del espectro de respuesta elástico entre la aceleración espectral en el fin de la etapa elástica obteniéndose $R_x= 5.22$ y $R_y= 3.50$.

- Estos factores de R en ambas direcciones son para SMDL con gran densidad de muros en plantas, también para edificios en donde se posee extremos no confinados por varillas dúctiles y en los que los últimos pisos posean mallas electrosoldadas.

RECOMENDACIONES

- La determinación del factor R también puede ser determinado, computado utilizando otras metodologías más rigurosas como el FEMA P-695 y ATC-40, en los que la utilización del análisis no lineal dinámico es de carácter exigente.
- El RNE a través de la E.030 contempla distintos sistemas estructurales, tales como pórticos, albañilería, sistemas duales y estructuras de acero, a partir de los cuales es posible determinar los factores sísmicos, incluyendo el factor R.
- La curva de capacidad para las direcciones de análisis se determinó a través del pushover por deformación prescrita, sin embargo, también puede determinarse utilizando el pushover modal, en la cual se aplican patrones de carga concordantes a los modos de vibración.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguiar, R. (2003). Análisis sísmico por desempeño. *Centro de Investigaciones Científicas*.
- Ávila Acosta, R. (2001). *Metodología de la Investigación*. Lima: Ediciones R.A.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.
- Bañuelos Garcia, F., Ayala Milian, A., & Escamilla Garcia, M. (2023). una aproximacion de la curva de capacidad dinamica y su aplicacion a la evaluacion sismica de estructuras. *Revista Ingenieria Sismica*, 1-18.
- Chopra, A. (2017). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (Vol. 5th ed.). Pearson Education.
- Diaz Figueroa, M. (2021). *Revisión de criterios de diseño de edificaciones con muros de ductilidad limitada, establecidos en las normas de estructuras peruanas y planteamiento de propuesta de actualización* . Informe Tecnico.
- Escamilla Garcia, M., Bañuelos Garcia, F., & Ayala Milian, A. (2024). una aproximacion de la curva de capacidad dinamica y su aplicacion a la evaluacion sismica de estructuras. 1-15.
- Esteban Victorio, V. A. (2023). *Evaluación no lineal del coeficiente de reducción sísmico según los códigos ATC-19 y ATC-34 mediante un análisis Pushover usando la metodología del FEMA 356 y ASCE 41, Colegio Nacional Industrial Hermilio Valdizán (módulo 3), Distrito de Huánuco, Provinci*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huanuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13080/8972>
- estructural, I. (s.f.). *LinkedIn*. Obtenido de LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/crl-ingenieria-estructural>)
- FEMA. (2009). *Quantification of Building*. Washington: FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY.

- Flores Solano, F., Ramos Vintimilla, C., & Rodriguez Cedillo, S. (2021). *Estudio y aplicacion de la metodologia de linealizacion equivalente, propuesta por FEMA 440*. Universidad de Azuay.
- Gálvez Villacorta, A. (2010). *Propuesta de factor de reduccion de respuesta sismica para sistema estructurales con muros reforzados por barras ductiles y mallas electrosoldadas*. pontifica Universidad Catolica del Peru.
- Gálvez, A. (2010). *Propuesta de factor de reducción de respuesta sísmica para sistemas estructurales con muros reforzados por barras dúctiles y mallas electrosoldadas*. Lima: Pontifica Universidad Catologia del Peru.
- Heredia Benavides, R. (2023). *Espectros de respuesta sismica probabilistico para determinar la respuesta estructural de edificaciones en el Peru*. Universidad Nacional Federico Villareal.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2021). *Metodología de la investigación* (Vol. 7°. ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2018). *Norma técnica E.030*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Mohamed Ahmed, M. (2021). Evaluation of Seismic Response Modification Factor (R) for Moderate-Rise RC Buildings with Vertical Irregular Configurations. 24.
- NORMA E030. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones del Peru*. Lima: Instituto de la Construccion y Gerencia.
- Perez Neyra, C. (2020). *Analisis estructural y diseño de una edificacion multifamiliar de cinco pisos con muros de ductilidad limitada*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Peso Rivera , M., Maureira Carsalade, N., & Sanhueza, F. (2017). *DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA RESPUESTA EN PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO CON NÚCLEO DE MURO*. Tesis, Chile. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://tesis.ucsc.cl/server/api/core/bitstreams/4ec9cabe-f533-4671-9f92-70316928f7eb/content
- Sampieri, H., Fernandez Collado, R., & Baptista, L. (2014). *Metodologia de la Investigacion (7° ed.)*. McGraw-Hill Interamericana. Metodologia de la Investigacion (7° ed.) McGraw-Hill Interamericana.
- Sanchez Perez, G. D. (2023). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA SÍSMICA (R) ENTRE LA NORMA E.030 Y EL CODIGO ASCE/SEI 7-16, EN TECHOS CON COBERTURAS A BASE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS APOYADAS EN COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO*. CAJAMARCA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/6289/TESIS%20-SANCHEZ%20PEREZ%20GERMAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sencico. (2009). *Servicio Nacional de Capacitacion para la Industria de la Construccion*. SENCICO.
- Structures, C. a. (2020). *ETAB*, 2019. Obtenido de Computers and Structures: <https://www.csiamerica.com/products/etabs>
- Tamayo y Tamayo, M. (1999). *El Proceso de la Investigacion Cientifica*. Limusa.
- Tamayo y Tamayo, M. (2007). *El proceso de la investigación científica*. Mexico: Limusa Noriega Editores.
- Valdivia Motta , L. M. (2021). *Relación entre el factor de reducción de fuerzas sísmicas y la demanda de ductilidad para terremotos peruanos en la zona de períodos cortos*. Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD

CATÓLICA DEL PERÚ. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/196333eb-283d-4f3e-b52b-8b6777512568/content

Valdivia Motta, L. (2021). *Relación entre el factor de reducción de fuerzas sísmicas y la demanda de ductilidad para terremotos peruanos en la zona de periodos cortos*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/items/529fa9bf-1909-49cb-a8b4-9b88d7da9e4f?utm_source=chatgpt.com

Velez Cadavid, J. (2022). *Análisis estático no lineal (pushover) y punto de desempeño sísmico en una edificación de tres pisos existente*. Universidad de Antioquia.

Vielma Perez, J., Mulder Montes de Oca, M., & Lobo Quintero, W. (2018). *Alternative Procedure to determine the response reduction factor for ductile RC framed buildings*.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Claudio Pinto J. M. (2026) *Factor de reducción de fuerza sísmica aplicando la metodología fema 440 en muros de ductilidad limitada-Huánuco - 2025* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <https://>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“FACTOR DE REDUCCIÓN DE FUERZA SÍSMICA APLICANDO LA METODOLOGÍA FEMA 440 EN MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA- HUÁNUCO - 2025”

Formulación del problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Indicadores	Metodología de la investigación
<p>Formulación general ¿Cuál es el factor de reducción de fuerza sísmica aplicando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada- Huánuco - 2025?</p> <p>Problemas específicos. ¿Cuál es el espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada</p>	<p>Objetivo general Determinar el factor de reducción de fuerza sísmica aplicando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada- Huánuco - 2025</p> <p>Objetivos específicos Generar el espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada</p>	<p>Hipótesis general. Ho: Se logra validar el factor de reducción de fuerza sísmica aplicando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada – Huánuco – 2025.</p> <p>Hipótesis específicas. • Ho1: El espectro de respuesta utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada</p>	<p>Variable Independiente: factor de reducción de fuerza sísmica.</p> <p>Variable dependiente: Metodología FEMA 440 (Método de linealización equivalente).</p>	<p>Diferencia de fuerzas</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Enfoque: del tipo cuantitativo</p> <p>Nivel: Descriptivo</p> <p>Diseño: no experimental</p> <p>Población: El universo o población que se pretende estudiar en este tema de investigación está basado en los edificios diseñados y construidos bajo el sistema de muros de</p>

según la E.030-2018?

¿Cuál es la curva de capacidad utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada según la E.030-2018?

¿Cuál es el factor de reducción de fuerza sísmica comparando el espectro de respuesta y la curva de capacidad en el método de linealización equivalente según la E.030-2018?

según la E.030-2018.

Identificar la curva de capacidad utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada según la E.030-2018.

Proponer el factor de reducción de fuerza sísmica comparando el espectro de respuesta y la curva de capacidad en el método de linealización equivalente según la E.030-2018.

es el establecido según la E.030-2018.

• **Ho2:** La curva de capacidad utilizando la metodología FEMA 440 en muros de ductilidad limitada es concordante según la E.030-2018.

• **Ho3:** El factor de reducción de fuerza sísmica comparando el espectro de respuesta y la curva de capacidad en el método de linealización equivalente es similar al valor según la E.030-2018.

Espectro de respuesta según la E.030 (2018).

- Curva de capacidad

ductilidad limitada, este tipo de edificios está presente en zonas de alta sismicidad.

Muestra: La muestra estará basada en la edificación denominada "Nuevo Chimbote":

Técnicas:

- Observación del tipo no experimental.

-Revisión documental.

ANEXO 2

Instrumento de recolección

los instrumentos para la recolección de datos serán mediante revisión documental de los siguientes pasos de la tabla adjunta:

Tabla 3

Instrumentos de recolección

Paso 01	Determinación de la población	<p>Consiste en recopilar información del universo total de las edificaciones construidas en base al SMDL.</p> <p>La población elegida para el presente estudio es el edificio Multifamiliar Nuevo Chimbote. Se encuentra ubicada Ancash, Provincia del Santa. Esta edificación está asentada en una zona sísmica.</p>
Paso 02	Determinación de la muestra	<p>Consiste en elegir los MDL en función de los piers, para determinar los fines de la presente investigación.</p> <p>sobre el edificio Nuevo Chimbote Reportando a la figura 5, se desprende la totalidad de muros del edificio Multifamiliar Nuevo Chimbote consta de (MDL)</p>

		<p>en la planta del edificio de la población, nótese la presencia de hasta 34 piers o tipos de MDL que absorberán la fuerza cortante y proporcionan la rigidez necesaria para oponerse al efecto sísmico. Sin embargo, existen 8 MDL que guardan simetría con los demás.</p>
Paso 03	<p>Determinación del factor sísmico.</p>	<p>Comparar el factor sísmico con el que fue diseñado ($R=4.00$) en el software ETABS, aplicando la metodología FEMA 440 a la edificación elegida dentro de la muestra.</p>

ANEXO 3

Instrumento A — Plantilla: Registro de resultados de simulación numérica

Nombre del modelo numérico

MODELO NUMÉRICO – EDIFICIO MULTIFAMILIAR NUEVO CHIMBOTE (SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA)

Tesista:

BACH. JOSE MARIA CLAUDIO PINTO

Fecha:

ENERO DEL 2026

Software:

DIANA FEM

Versión software:

V.10.6

Tipo de modelo:

3D-NO LINEAL

Nombre/ID del modelo:

EDIFICIO MULTIFAMILIAR NUEVO CHIMBOTE (SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA)

Datos geométricos / materiales

LARGO: 43.60mts

ANCHO: 13.80mts

AREA: 601.68m²

Altura total (m):

15.00mts

Número de niveles:

5 @ 3.00mts

Espesor de muro (mm):

100mm.



M. Rojas
MARCO ROJAS MIRAVAL
INGENIERO CIVIL REG. CIP. 300964
M.Sc. Ingeniería Estructural

Área de acero de refuerzo (barras dúctiles) (mm²):

50mm² (8mm)

113mm² (12mm)

Tipo de malla electrosoldada

Q153-Q159-Q158

f_c (MPa), f_y (Mpa):

21 MPa (CONCRETO)

420 MPa (REFUERZO)

Condiciones de contorno / carga

BASE EMPOTRADA

Condiciones de apoyo:

NINGUNA

Cargas muertas/vivas consideradas:

E-020

DEPARTAMENTOS 200 kg/m²

CORREDORES Y ESCALERAS 200 kg/m²

ESTACIONAMIENTOS 250 kg/m²

CTO. MAQUINAS 1000 kg/m²

Acople con losas

SI

Parámetros de mallado / elemento

MALLA FINITA DE 500mm

Tipo de elemento (shell/solid/frame):

SHELL

Amortiguamiento (tipo y %):

5% (AMORTIGUAMIENTO DE RAYLEGH)

Procedimiento FEM / FEMA-440

SI

Pasos de FEMA-440 aplicados: (marcar ✓)

Obtención curva capacidad (pushover)

Identificación punto elástico y punto de fluencia

Determinación ductilidad μ



M. Rojas
MARCO ROJAS MIRAVAL
INGENIERO CIVIL REG. CIP. 300964
M.Sc. Ingeniería Estructural

Cálculo sobre-resistencia Ω

Cálculo R según FEMA-440

Análisis dinámico (time-history) para verificación

Resultados pushover / curva de capacidad

SI

Fuerza de fluencia (V_y) (kN):

SI

Desplazamiento de fluencia Δy (mm):

SI

Capacidad última (V_u y Δu):

SI

Sobre-resistencia (Ω) (valor numérico):

SI

Ductilidad global μ :

SI

Periodo elástico T_e (s):

SI

Cálculo del factor R (según FEMA-440)

SI

R obtenido: (Dir.X=5.22), (Dir. Y=3.50), promedio=4.36

R normativo (E.030 u otro): 4.00

Diferencia absoluta: 0.36

Diferencia %: $4/4.36=0.918\%$

Observaciones / comentarios del modelador: Esta investigación utilizó el modelo tridimensional, por lo cual se obtuvieron diversos factores de reducción de fuerzas sísmicas R en ambas direcciones, al promediar estos se obtuvo un valor muy similar al del reglamento.


 **MARCO ROJAS MIRAVAL**
INGENIERO CIVIL REG. CIP. 300964
M.Sc. Ingeniería Estructural

Instrumento B — Checklist de revisión documental: Aplicación correcta de FEMA-440

- | Ítem | Cumple
(Sí/No/Parcial) |
|---|-----------------------------------|
| 1. Se presenta la curva de capacidad (pushover) correctamente derivada (SI) ✓ | |
| 2. Se identifican y describen claramente los puntos elásticos y últimos (NO) ✓ | |
| 3. Se calcula y justifica el factor de ductilidad μ (NO) ✓ | |
| 4. Se estima la sobre-resistencia Ω con evidencia (resistencia última vs resistencia de diseño) (NO) ✓ | |
| 5. Se sigue el procedimiento de FEMA-440 para combinar efectos y obtener R (SI) ✓ | |
| 6. Se presentan verificaciones con análisis dinámico (si corresponde) (NO) ✓ | |
| 7. Las hipótesis de modelado (materiales, amortiguamiento) están documentadas (SI) ✓ | |
| 8. Resultados numéricos (V_y , Δ_y , μ , Ω , R) están tabulados (NO) ✓ | |
| 9. Se hace comparación con valores normativos y discusión (SI) ✓ | |
| 10. Se adjuntan los archivos de modelo / input (reproducibilidad) (NO) ✓ | |


 **MARCO ROJAS MIRAVAL**
INGENIERO CIVIL REG. CIP. 300964
M.Sc. Ingeniería Estructural

Instrumento A — Plantilla: Registro de resultados de simulación numérica

Nombre del modelo numérico

MODELO NUMÉRICO – EDIFICIO MULTIFAMILIAR NUEVO CHIMBOTE (SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA)

Tesista:

BACH. JOSE MARIA CLAUDIO PINTO

Fecha:

ENERO DEL 2026

Software:

DIANA FEM

Versión software:

V.10.6

Tipo de modelo:

3D-NO LINEAL

Nombre/ID del modelo:

EDIFICIO MULTIFAMILIAR NUEVO CHIMBOTE (SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA)

Datos geométricos / materiales

LARGO: 43.60mts

ANCHO: 13.80mts

AREA: 601.68m²

Altura total (m):

15.00mts

Número de niveles:

5 @ 3.00mts

Espesor de muro (mm):

100mm.



 Alexia M. Bravo Cervantes
INGENIERA CIVIL
CIP: 359140

Área de acero de refuerzo (barras dúctiles) (mm²):

50mm² (8mm)

113mm² (12mm)

Tipo de malla electrosoldada

Q153-Q159-Q158

f'c (MPa), fy (Mpa):

21 MPa (CONCRETO)

420 MPa (REFUERZO)

Condiciones de contorno / carga

BASE EMPOTRADA

Condiciones de apoyo:

NINGUNA

Cargas muertas/vivas consideradas:

E-020

DEPARTAMENTOS 200 kg/m²

CORREDORES Y ESCALERAS 200 kg/m²

ESTACIONAMIENTOS 250 kg/m²

CTO. MAQUINAS 1000 kg/m²

Acople con losas

SI

Parámetros de mallado / elemento

MALLA FINITA DE 500mm

Tipo de elemento (shell/solid/frame):

SHELL

Amortiguamiento (tipo y %):

5% (AMORTIGUAMIENTO DE RAYLEGH)

Procedimiento FEM / FEMA-440

SI

Pasos de FEMA-440 aplicados: (marcar ✓)

Obtención curva capacidad (pushover)

Identificación punto elástico y punto de fluencia

Determinación ductilidad



Cálculo sobre-resistencia Ω

Cálculo R según FEMA-440

Análisis dinámico (time-history) para verificación

Resultados pushover / curva de capacidad

SI

Fuerza de fluencia (Vy) (kN):

SI

Desplazamiento de fluencia Δy (mm):

SI

Capacidad última (Vu y Δu):

SI

Sobre-resistencia (Ω) (valor numérico):

SI

Ductilidad global μ :

SI

Periodo elástico T_e (s):

SI

Cálculo del factor R (según FEMA-440)

SI

R obtenido: (Dir.X=5.22), (Dir. Y=3.50), promedio=4.36

R normativo (E.030 u otro): 4.00

Diferencia absoluta: 0.36

Diferencia %: $4/4.36=0.918\%$

Observaciones / comentarios del modelador: Esta investigación utilizó el modelo tridimensional, por lo cual se obtuvieron diversos factores de reducción de fuerzas sísmicas R en ambas direcciones, al promediar estos se obtuvo un valor muy similar al del reglamento.




 Alexia N. Bravo Cervantes
INGENIERA CIVIL
CIP. 359140

Instrumento B — Checklist de revisión documental: Aplicación correcta de FEMA-440

- | Ítem | Cumple
(Si/No/Parcial) |
|---|---------------------------|
| 1. Se presenta la curva de capacidad (pushover) correctamente derivada (SI) | ✓ |
| 2. Se identifican y describen claramente los puntos elásticos y últimos (NO) | ✓ |
| 3. Se calcula y justifica el factor de ductilidad μ (NO) | ✓ |
| 4. Se estima la sobre-resistencia Ω con evidencia (resistencia última vs resistencia de diseño) (NO) | ✓ |
| 5. Se sigue el procedimiento de FEMA-440 para combinar efectos y obtener R (SI) | ✓ |
| 6. Se presentan verificaciones con análisis dinámico (si corresponde) (NO) | ✓ |
| 7. Las hipótesis de modelado (materiales, amortiguamiento) están documentadas (SI) | ✓ |
| 8. Resultados numéricos (V_y , Δ_y , μ , Ω , R) están tabulados (NO) | ✓ |
| 9. Se hace comparación con valores normativos y discusión (SI) | ✓ |
| 10. Se adjuntan los archivos de modelo / input (reproducibilidad) (NO) | ✓ |



 Alexia N. Bravo Cervantes
INGENIERA CIVIL
CIP. 359140

Instrumento A — Plantilla: Registro de resultados de simulación numérica

Nombre del modelo numérico

MODELO NUMÉRICO – EDIFICIO MULTIFAMILIAR NUEVO CHIMBOTE (SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA)

Tesista:

BACH. JOSE MARIA CLAUDIO PINTO

Fecha:

ENERO DEL 2026

Software:

DIANA FEM

Versión software:

V.10.6

Tipo de modelo:

3D-NO LINEAL

Nombre/ID del modelo:

EDIFICIO MULTIFAMILIAR NUEVO CHIMBOTE (SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA)

Datos geométricos / materiales

LARGO: 43.60mts

ANCHO: 13.80mts

AREA: 601.68m²

Altura total (m):

15.00mts

Número de niveles:

5 @ 3.00mts

Espesor de muro (mm):

100mm.



Dandy Evaristo Daella
INGENIERO CIVIL
CIP N° 311161

Área de acero de refuerzo (barras dúctiles) (mm²):

50mm² (8mm)

113mm² (12mm)

Tipo de malla electrosoldada

Q153-Q159-Q158

f_c (MPa), f_y (Mpa):

21 MPa (CONCRETO)

420 MPa (REFUERZO)

Condiciones de contorno / carga

BASE EMPOTRADA

Condiciones de apoyo:

NINGUNA

Cargas muertas/vivas consideradas:

E-020

DEPARTAMENTOS 200 kg/m²

CORREDORES Y ESCALERAS 200 kg/m²

ESTACIONAMIENTOS 250 kg/m²

CTO. MAQUINAS 1000 kg/m²

Acople con losas

SI

Parámetros de mallado / elemento

MALLA FINITA DE 500mm

Tipo de elemento (shell/solid/frame):

SHELL

Amortiguamiento (tipo y %):

5% (AMORTIGUAMIENTO DE RAYLEGH)

Procedimiento FEM / FEMA-440

SI

Pasos de FEMA-440 aplicados: (marcar ✓)

Obtención curva capacidad (pushover)

Identificación punto elástico y punto de fluencia

Determinación ductilidad



Cálculo sobre-resistencia Ω

Cálculo R según FEMA-440

Análisis dinámico (time-history) para verificación

Resultados pushover / curva de capacidad

SI

Fuerza de fluencia (Vy) (kN):

SI

Desplazamiento de fluencia Δy (mm):

SI

Capacidad última (Vu y Δu):

SI

Sobre-resistencia (Ω) (valor numérico):

SI

Ductilidad global μ :

SI

Periodo elástico T_e (s):

SI

Cálculo del factor R (según FEMA-440)

SI

R obtenido: (Dir.X=5.22), (Dir. Y=3.50), promedio=4.36

R normativo (E.030 u otro): 4.00

Diferencia absoluta: 0.36

Diferencia %: $4/4.36=0.918\%$

Observaciones / comentarios del modelador: Esta investigación utilizó el modelo tridimensional, por lo cual se obtuvieron diversos factores de reducción de fuerzas sísmicas R en ambas direcciones, al promediar estos se obtuvo un valor muy similar al del reglamento.



Dandy Evaristo Dacila
INGENIERO CIVIL
CIP N° 311161

Instrumento B — Checklist de revisión documental: Aplicación correcta de FEMA-440

- | Ítem | Cumple
(Sí/No/Parcial) |
|---|---------------------------|
| 1. Se presenta la curva de capacidad (pushover) correctamente derivada (SI) | ✓ |
| 2. Se identifican y describen claramente los puntos elásticos y últimos (NO) | ✓ |
| 3. Se calcula y justifica el factor de ductilidad μ (NO) | ✓ |
| 4. Se estima la sobre-resistencia Ω con evidencia (resistencia última vs resistencia de diseño) (NO) | ✓ |
| 5. Se sigue el procedimiento de FEMA-440 para combinar efectos y obtener R (SI) | ✓ |
| 6. Se presentan verificaciones con análisis dinámico (si corresponde) (NO) | ✓ |
| 7. Las hipótesis de modelado (materiales, amortiguamiento) están documentadas (SI) | ✓ |
| 8. Resultados numéricos (V_y , Δ_y , μ , Ω , R) están tabulados (NO) | ✓ |
| 9. Se hace comparación con valores normativos y discusión (SI) | ✓ |
| 10. Se adjuntan los archivos de modelo / input (reproducibilidad) (NO) | ✓ |



 **Dandy Evaristo Dacila**
INGENIERO CIVIL
CIP N° 311161