



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Influencia de la mampostería no confinada en la rigidez y deformación de pórticos especiales a momento en edificaciones

**VARGAS VARGAS DIANA YUSABETH
INGENIERA CIVIL**

**MORAN PALADINES MAYNER JAVIER
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Influencia de la mampostería no confinada en la rigidez y deformación de pórticos especiales a momento en edificaciones

**VARGAS VARGAS DIANA YUSABETH
INGENIERA CIVIL**

**MORAN PALADINES MAYNER JAVIER
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

Influencia de la mampostería no confinada en la rigidez y deformación de pórticos especiales a momento en edificaciones

**VARGAS VARGAS DIANA YUSABETH
INGENIERA CIVIL**

**MORAN PALADINES MAYNER JAVIER
INGENIERO CIVIL**

ORDOÑEZ FERNANDEZ JOSE LUIS

**MACHALA
2024**

INFLUENCIA DE LA MAMPOSTERÍA NO CONFINADA EN LA RIGIDEZ Y DEFORMACIÓN DE PÓRTICOS ESPECIALES A MOMENTO EN EDIFICACIONES

por Mayner Moran

Fecha de entrega: 05-ago-2024 08:26a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2427676271

Nombre del archivo: Tesis_Moran-Vargas.pdf (7.18M)

Total de palabras: 18751

Total de caracteres: 100282

INFLUENCIA DE LA MAMPOSTERÍA NO CONFINADA EN LA RIGIDEZ Y DEFORMACIÓN DE PÓRTICOS ESPECIALES A MOMENTO EN EDIFICACIONES

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	discovery.ucl.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
2	ajosh.org Fuente de Internet	<1 %
3	dicam.unibo.it Fuente de Internet	<1 %
4	spectrum.library.concordia.ca Fuente de Internet	<1 %
5	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
6	www.e3s-conferences.org Fuente de Internet	<1 %
7	J. Alfaiate, L.J. Sluys. "A novel, total-iterative approach to model quasi-brittle materials", Engineering Fracture Mechanics, 2023 Publicación	<1 %

Submitted to Universidad de Guayaquil

energia", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

CLAUSULA DE CESION DE DERECHO DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, VARGAS VARGAS DIANA YUSABETH en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado influencia de la mampostería no confinada en la rigidez y deformación de pórticos especiales a momento en edificaciones, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación publica de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicara es _de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, ya realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, sucede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/ o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.


.....
VARGAS VARGAS DIANA YUSABETH

0705748879

CLAUSULA DE CESION DE DERECHO DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, MORAN PALADINES MAYNER JAVIER en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado influencia de la mampostería no confinada en la rigidez y deformación de pórticos especiales a momento en edificaciones, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación publica de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicara es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, ya realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, sucede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/ o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.


.....
MORAN PALADINES MAYNER JAVIER
0750594939

DEDICATORIA

A mi familia y amistades: A mi abuela, faro eterno en la tormentosa mar de mi vida, tu amor ha sido un refugio cálido en las noches más oscuras, guiándome con la luz de tu sabiduría y la fortaleza de tu corazón.

A mi querido tío Lucio, mi padre de crianza. Gracias por tu amor incondicional y tu incansable esfuerzo por brindarme un futuro mejor. Eres mi ejemplo a seguir.

A mis padres, cuyas palabras de consejo y advertencia han sido brújulas en mi camino, aunque no siempre estuvieran presentes en cuerpo, sentí su apoyo incondicional, sus consejos sobre los caminos a evitar, han sido lecciones que atesoro y que me han fortalecido.

A mis hermanos, aunque de niños discutíamos y no siempre nos entendíamos, hoy en día nos llevamos maravillosamente bien siempre oyéndome y siéndome de motivación, y su presencia en mi vida es un constante recordatorio de nuestro vínculo inquebrantable.

A mis familiares, mis pilares en un mundo incierto, su fe en mí ha sido el anhelo constante que me empuja hacia adelante, su apoyo, un bálsamo en las horas de duda, me ha permitido abrazar mis sueños con renovada determinación.

A mis amistades de la infancia, Recuerdo sus risas y juegos con una tristeza dulce, A mis amigos del pre universitario, J.L.T.N y G.P.M, sus nombres se graban en el eco de mi corazón, aunque nuestros caminos se han separado, aprecio y valoro cada instante compartido.

Agradezco también al Ing. José Luis Ordoñez Fernández, Por enseñarme que el orden y el esfuerzo son los verdaderos caminos a la grandeza,

Y al Ing. Marco Antonio Tacury, Por encender en mí la llama de la curiosidad, que ha guiado mi aprendizaje y mi evolución. En este viaje, cada huella y cada sombra, son recuerdos de aquellos que me han moldeado y fortalecido, y en el eco de mis pasos, siempre encontraré la melodía de sus contribuciones, aun cuando las estaciones cambien y los tiempos avancen.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que colaboraron en esta investigación, ya sea proporcionando información, y escuchando mis ideas. En particular, agradezco a la Universidad Técnica de Machala por brindarnos las facilidades necesarias para llevar a cabo este estudio. Expreso mi profunda gratitud al Ing. José Luis Ordoñez Fernández por su invaluable guía, valiosos consejos sobre la importancia del orden y el esfuerzo, paciencia y conocimientos durante todo el proceso de investigación, así como por motivarme a ser más estricto conmigo y perseverar hasta el final. También quiero destacar al Ing. Marco Antonio Tacury, quien al inicio de mi carrera universitaria fue una gran fuente de inspiración. Además, agradezco a mi familia por su constante apoyo, y a mis amigos y conocidos por su confianza ya que fueron fuente de inspiración igualmente y lograron que siempre de más de mí.

RESUMEN

Esta tesis se basa en el crecimiento demográfico y la intensa actividad sísmica en Machala, Ecuador, resaltando la importancia de incluir la mampostería no estructural en los cálculos estructurales en los edificios. Se enfatiza que ignorar este elemento puede llevar a estimaciones erróneas de la resistencia y seguridad de rigidez en las estructuras, incrementando el riesgo de daños en caso de sismos y los costos de rehabilitación posterior al sismo.

Se reconocen las características geográficas, los tipos de suelo. Se destaca el problema de la falta de regulaciones y el escaso interés en investigaciones sobre mampostería no estructural, lo que lleva a estimaciones imprecisas en los análisis estructurales. A partir de esto, se plantean preguntas científicas para abordar la influencia de la mampostería en los análisis estructurales, los criterios de diseño para una predicción óptima del comportamiento estructural y la metodología adecuada para el diseño de pórticos especiales a momento.

Finalmente, el estudio se enfoca en la contribución de la rigidez de la mampostería no estructural en eventos sísmicos y justifica influencia que tiene la mampostería no confinada en estructuras brindando así mayor protección a la población y sostenibilidad urbana en Machala.

Palabras clave: Crecimiento demográfico, actividad sísmica, Machala, mampostería no estructural, cálculos estructurales, rigidez, daños sísmicos, diseño estructural.

ABSTRACT

This thesis is based on the demographic growth and intense seismic activity in Machala, Ecuador, highlighting the importance of including non-structural masonry in structural calculations in buildings. It is emphasized that ignoring this element can lead to erroneous estimates of stiffness strength and safety in structures, increasing the risk of damage in the event of earthquakes and the costs of post-earthquake rehabilitation.

The geographical characteristics, soil types. The problem of the lack of regulations and the scant interest in research on non-structural masonry is highlighted, leading to imprecise estimates in structural analyses. From this, scientific questions are raised to address the influence of masonry in structural analyses, the design criteria for an optimal prediction of structural behavior, and the appropriate methodology for the design of special moment frames.

Finally, the study focuses on the contribution of the stiffness of non-structural masonry in seismic events and justifies the influence that unconfined masonry has on structures, thus providing greater protection to the population and urban sustainability in Machala.

Key word: Demographic growth, seismic activity, Machala, non-structural masonry, structural calculations, stiffness, earthquake damage, structural design.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	IX
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1. Línea base del proyecto	16
1.1 Datos de población	16
1.2 Descripción de la Situación problemática (Causas y efectos)	18
1.3 Formulación del problema (preguntas científicas).	19
1.4 Delimitación del objeto de estudio	19
1.5 Justificación	19
1.6 Objetivos	20
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	22
2. Antecedentes	22
2.1 Antecedentes Contextuales	22
2.2 Antecedentes Referenciales o historicos	25
2.3 Antecedentes Conceptuales	26
3. CAPITULO III: METODOLOGÍA	36
3.1. Diseño del Estudio	36
3.2 Enfoque del Estudio	36
3.3 Variables del Estudio	36
3.4 Alcance del Estudio	36
3.5. Descripción de la población y muestra	37
3.6 Evaluación de la Mampostería	37
3.7 Caracterización de la Mampostería	37
3.8 Modelado y Simulación:	38
3.9 Selección de un modelo	39

3.10 Modelos para determinar el ancho equivalente del puntal	40
4. CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	52
4.1 Análisis de Resultados de iteración de modelo Único	52
4.2 Ordenadas del grafico	52
4.3 Respuesta Espectral	61
4.4 Análisis Modal	62
4.4.1 Analisis modal sistema aporticado	64
4.5 Determinación de ancho equivalente	75
4.6 Verificación de las Ecuaciones a través de un Modelo en 3D	82
5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1 Conclusiones	91
5.2 Recomendaciones	92
Referencias bibliográficas	93
Anexos	100

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años.....	17
Ilustración 2. Modelo de puntal equivalente	35
Ilustración 3. Dimensiones de mampostería	37
Ilustración 4. Propiedades Geométricas del puntal equivalente.....	40
Ilustración 5. Modelado – un puntal equivalente Según Holmes 1.....	41
Ilustración 6. Modelado – tres puntales equivalentes Según Holmes 2	41
Ilustración 7. Modelado – un puntal equivalente Según Bazan y Meli 1.....	43
Ilustración 8. Modelado – tres puntales equivalentes Según Bazan y Meli 2	43
Ilustración 9. Modelado – un puntal equivalente Según Fema 1	44
Ilustración 10. Modelado – tres puntales equivalentes Según Fema 2.....	45
Ilustración 11. Modelado – un puntal equivalente Según Liaw y Kwan 1	46
Ilustración 12. Modelado – tres puntales equivalentes Según Liaw y Kwan 2.....	46
Ilustración 13. Modelado – un puntal equivalente según Mainstone 1	47

Ilustración 14. Modelado – tres puntales equivalentes Según Mainstone 2.....	47
Ilustración 15. Modelado – un puntal equivalente según Paulay y Priestley 1	48
Ilustración 16. Modelado – tres puntales equivalentes Según Paulay y Priestley 2.....	48
Ilustración 17. Modelado – pórtico sin mampostería.....	49
Ilustración 18. Modelado – Elemento finitos (MEF).....	49
Ilustración 19. Matriz de rigidez (20x20) De modelo calibrado	51
<i>Ilustración 20. iteración de modelo único Pórticos (400)</i>	<i>51</i>
Ilustración 21. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Holmes	53
Ilustración 22. Valor más aproximado al desplazamiento según Holmes.....	54
Ilustración 23 Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Bazán y Meli	54
Ilustración 24. Valor más aproximado al desplazamiento según Bazán y Meli.....	55
Ilustración 25. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Fema.....	55
Ilustración 26. Valor más aproximado al desplazamiento según Fema	56
Ilustración 27. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Liaw y Kwan	56
Ilustración 28. Valor más aproximado al desplazamiento según Liaw y Kwan	57
Ilustración 29. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Mainstone	57
Ilustración 30. Valor más aproximado al desplazamiento según Mainstone	58
Ilustración 31. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Mainstone	58
Ilustración 32. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Paulay & Priestle	59
Ilustración 33. Valor más aproximado al desplazamiento según Paulay & Priestley	59
Ilustración 34. Desplazamientos calculados y reales	60
Ilustración 35. Desplazamiento calculados y reales.....	60
Ilustración 36. Desplazamientos calculados en primer y segundo piso	61
Ilustración 37. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.....	61
Ilustración 38. Espectro elástico de diseño de aceleraciones suelo tipo D.....	62
Ilustración 39. pórticos iteraciones 1 piso.....	76
Ilustración 40. Error vs Lx	77
Ilustración 41. Graficas de primer, segundo y tercer grado de (w)optimo.....	77
Ilustración 42. Iteraciones para pórtico 2 pisos.....	79
Ilustración 43. Determinación de error entre los 40 pórticos de 2 pisos	80
Ilustración 44. Graficas de primer, segundo y tercer grado de (w)óptimo para 2 pisos.....	80
Ilustración 45. Determinación de error entre los 40 pórticos de 3 pisos	82
Ilustración 46. Graficas de primer, segundo y tercer grado de (w)óptimo para 3pisos.....	82

Ilustración 47. Pórticos en 3D.....	85
Ilustración 48. Grafica desplazamiento 1 piso	89
Ilustración 49. Grafica desplazamientos 2 pisos	89
Ilustración 50. Grafica desplazamientos 3 pisos	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores máximos de PGA y PSa para ACH1 y GYKA	17
Tabla 2. Comparaciones de métodos	29
Tabla 3. Valoración de desplazamientos para las expresiones.	50
Tabla 4. Perfiles de suelo	62
Tabla 5. Resumen de resultados de w	75
Tabla 6. Pórticos simples de 1 piso.....	76
Tabla 7. Pórticos simples de dos pisos	79
Tabla 8. Pórticos simples de tres pisos	81
Tabla 9. Ecuación polinómica para determinar ancho equivalente	83
Tabla 10. Ecuación exponencial para determinar ancho equivalente	83
Tabla 11. Resultados de áreas puntal piso 1	84
Tabla 12. Resultados de áreas puntal piso 2	84
Tabla 13. Resultados de áreas puntal piso 3	84
Tabla 14. Resultados de ancho puntal piso 1	86
Tabla 15. Resultados de ancho puntal piso 2.....	86
Tabla 16. Resultados de ancho puntal piso 3.....	86
Tabla 17. Resultados de área puntal piso 1	87
Tabla 18. Resultados de área puntal piso 2.....	87
Tabla 19. Resultados de área puntal piso 3.....	87
Tabla 20. Diferencia de desplazamientos entre pisos	88

INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento poblacional y alta actividad sísmica, la seguridad estructural de los edificios se vuelve crucialmente importante. Es necesario considerar todos los factores que pueden influir en la resistencia de las estructuras, y la mampostería no estructural es una de ellas. Esta parte pasa por alto en los cálculos estructurales, pero puede afectar mucho a los edificios para resistir terremotos.

La falta de la inclusión de la mampostería no estructural puede llevar a estimaciones inexactas de la resistencia y seguridad de los edificios, aumentando así el riesgo ante un evento sísmico y los costos de construcción podrían elevarse. Esto es especialmente preocupante en áreas como Machala, donde el crecimiento urbano es constante y la exposición a eventos sísmicos es alta. Por lo tanto, es esencial abordar esta problemática para garantizar la protección de la población y la sostenibilidad urbana.

Para abordar esta preocupación, el presente estudio se centrará en analizar el comportamiento estructural de pórticos especiales a momento, teniendo en cuenta el papel de la mampostería no estructural. Se desarrollará una metodología para optimizar los métodos de cálculo, lo que permitirá evaluar con mayor precisión su influencia en la resistencia de los edificios incluyendo la mampostería no confinada. También se realizará una revisión bibliográfica con otros métodos para obtener estos resultados considerando las posibles variables. De esta manera, se proporcionará una comprensión profunda y completa del tema, con el objetivo final de mejorar la seguridad y eficiencia de la construcción en áreas sísmicas como Machala.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. Línea base del proyecto

1.1 Datos de población

En el Cantón Machala de acuerdo con el censo realizado a la Población Ecuatoriana 2022, somos 306,309 habitantes. De los 306.309 habitantes de Machala, 155.627 son mujeres y 150.682 son hombres, siendo las féminas la de mayor población. (INEC, 2023)

1.1.2 Caracterización territorial

Machala está al sur oeste del país, en la costa ecuatoriana, cabecera cantonal de la provincia de El Oro, siendo la ciudad más poblada de la misma y su centro administrativo, económico, financiero y comercial. Cuenta con una extensión aproximada de 37.292,38 hectáreas, distribuidas en 7 parroquias urbanas: Puerto Bolívar, Jambelí, Machala, Jubones, La Providencia, El Cambio y 9 de mayo, y una parroquia rural: El Retiro. (GAD del cantón Machala, 2019)

1.1.2 Suelos

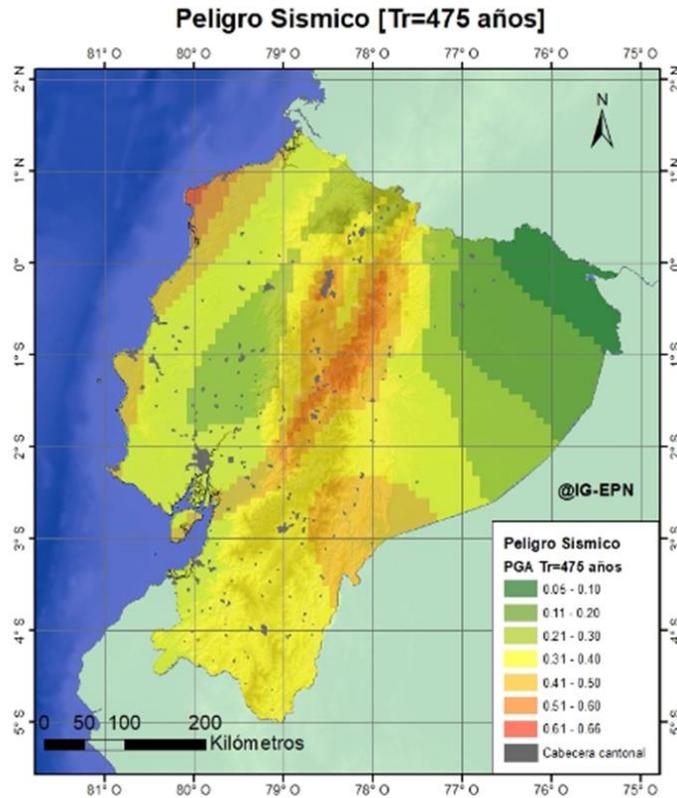
Los diferentes tipos de suelo en el cantón Machala tienen un impacto significativo en el diseño y la construcción de estructuras. En el área predominan los suelos de origen aluvial, por estar en la zona baja de la cuenca del río Jubones, que tiene un relieve plano a algo ondulado, con pendientes superiores al 5%. La textura varía desde arenosa a arcillosa con predominio de los suelos arcilloso-limosos con buen drenaje y fertilidad media.

1.1.3 Intensidad sísmica

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, el cantón Machala se encuentra en una región de alta actividad sísmica, lo que implica un alto riesgo de terremotos. (PLAN DE GESTION INTEGRAL DE RIESGOS Y DESASTRES, 2019) Este hecho se evidenció con el terremoto de magnitud 6,8 que tuvo lugar el 18 de marzo de 2023, con un epicentro a una profundidad de 63,1 km. El cual representó daños significativos a las estructuras residenciales y comerciales en la provincia de El Oro. Así mismo riesgos relacionados a los fenómenos naturales que se presentan periódicamente en el Ecuador el riesgo por terremotos es, sin duda, el mayor y el que más

impacto puede causar en su población y en su economía.(Peligro Sísmico - Instituto Geofísico - EPN, s. f.)

Ilustración 1. Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años.



Fuente: Instituto Geofísico – EPN

Según el informe del Instituto Geofísico sobre el sismo del 18 marzo del 2023, se detalla en la tabla 1, un análisis de dos estaciones con mayor Aceleración Pico del Suelo (PGA), y los espectros de respuesta elástica para las estaciones de Machala (ACH1) y en el sur de Guayaquil (GYKA). La máxima aceleración espectral se registró en un período de 0.79s para la componente Norte-Sur en la estación ACH1, mientras que en la estación GYKA se registró en un período de 0.29s para la componente Este-Oeste. (Sismos - Instituto Geofísico - EPN, s. f.)

Tabla 1. Valores máximos de PGA y PSa para ACH1 y GYKA

Codigo	Componente	PGA (cm/s ²)	D.epicentral (km)	PSa max (cm/s ²)	T(s)
ACH1	HNN	317.52	53.15	934.20	0.79

ACH1	HNE	185.38	53.15	454.10	0.90
ACH1	HNZ	41.96	53.15	131.60	0.11
GYKA	HNN	194.47	62.49	628.20	0.25
GYKA	HNE	155.72	62.49	762.80	0.29
GYKA	HNZ	59.39	62.49	274.10	0.12

Fuente: (Instituto Geofísico – EPN)

Se puede observar que la máxima aceleración registrada proviene de la estación acelerográfica ACH1, que se encuentra instalada a las afueras de la ciudad de Machala y está ubicada aproximadamente a 53 km de distancia del epicentro del evento.

Existe una segunda estación de medición sísmica, ubicada en las cercanías de Machala (ACH2). Pese a que la distancia al epicentro es casi idéntica a la de la estación ACH1, se registra un valor de aceleración aproximadamente un 50% mayor. Lo que indica un efecto de amplificación de las ondas sísmicas. Ya que la ciudad de Machala se asienta sobre todo sobre suelos aluviales, arenosos y limosos, con baja capacidad de soporte. Estos suelos amplifican las ondas sísmicas, aumentando su intensidad y causando mayores daños en las estructuras.

1.2 Descripción de la Situación problemática (Causas y efectos)

En el ámbito de los cálculos estructurales, a menudo se pasa por alto el impacto potencial de la mampostería no estructural. Esto ocurre por falta de regulaciones que penalicen su omisión y a al poco interés de investigadores dedicados a este tema. Resultados que los análisis realizados pueden no reflejar la realidad, obteniendo valores aproximados que pueden reducir la seguridad estructural y la vida útil del edificio.

Además, la ausencia de métodos de cálculo precisos y no complejos nos lleva a optar por métodos aproximados, pero no exactos, para predecir cómo responderá la estructura a un sismo. Esto induce errores en el diseño y a una gran variación en la rigidez de la estructura con y sin mampostería.

Por otra parte, aunque existan programas que toman en consideración la mampostería para el cálculo posterior de esfuerzos y deformaciones los parámetros con los que deben ingresar causan que sea complejo para el usuario y así mismo se requiere mayor poder de

cómputo por que se requiere analizar estas nuevas variables, dándonos como resultado que, aunque se tiene mayor precisión en el análisis estructural se requiere mayor poder de cómputo para realizar estas operaciones internas.

1.3 Formulación del problema (preguntas científicas).

¿Cuál es la influencia de la mampostería en el análisis estructural de pórticos, ante eventos sísmicos?

¿Cuáles son los criterios de diseño que pueden proporcionarnos valores más exactos y una mayor confiabilidad, para que se pueda predecir cómo se comportará la estructura y cuáles serán sus esfuerzos y deformaciones?

¿Cuál es la metodología apropiada para diseñar pórticos especiales a momento, que nos permita estimar más precisa la resistencia estructural?

1.4 Delimitación del objeto de estudio

Este estudio se centra en el aporte de rigidez de la mampostería no estructural frente a eventos sísmicos y su respuesta en términos de esfuerzos y deformaciones. Se realizará una comparación para determinar la variación en la respuesta estructural con y sin mampostería. Se utilizará distintos métodos comparativos.

Además, se planea emplear el método del puntal equivalente para optimizar el tiempo de procesamiento, manteniéndonos en la zona elástica donde el comportamiento de estos materiales es predecible. También se experimentará con diferentes distancias en el método del puntal equivalente para determinar cuál es la óptima que se acerque a los valores reales.

Como la mayor cantidad de edificaciones construidas en el Ecuador son de hasta tres pisos, se analizaron pórticos con estas características en altura y manteniendo distribuciones de áreas comunes. Las fuerzas que se le aplicarán a estos pórticos por piso serán las obtenidas por el espectro en aceleraciones de suelo tipo D de la ciudad de Machala.

1.5 Justificación

La población de Machala ha experimentado un crecimiento constante en las últimas décadas y se espera que continúe creciendo en los próximos años. Este crecimiento presenta varios desafíos y oportunidades para el futuro de la ciudad. Por ello la ciudad

necesita desarrollar estrategias para gestionar el crecimiento de manera sostenible, invertir en la ampliación y mejora de los servicios públicos, proteger el medio ambiente y aprovechar el desarrollo de la población para mejorar la calidad de vida de sus pobladores.

Uno de los objetivos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Machala es promover el desarrollo equitativo y equilibrado del territorio que propicien el ejercicio del derecho a la ciudad, al hábitat seguro y saludable, y a la vivienda adecuada y digna, en cumplimiento de la función social y ambiental de la propiedad e impulsando un desarrollo urbano inclusivo e integrador que brinde calidad de vida para sus habitantes.

Por esta razón este estudio radica en la necesidad de comprender mejor el comportamiento de la mampostería no estructural frente a eventos sísmicos. A pesar de su uso común en la construcción, la mampostería no estructural a menudo se pasa por alto en los cálculos estructurales, lo que puede resultar en estimaciones inexactas de la resistencia y la seguridad estructural. Esta omisión puede reducir la vida útil de la estructura y aumentar los costos de construcción.

Por lo tanto, este estudio se basará en una investigación bibliográfica exhaustiva para garantizar que se utilicen las técnicas y métodos más actualizados y precisos. Esta investigación no sólo mejorará nuestra comprensión de la mampostería no estructural, sino que también contribuirá a la seguridad y eficiencia de la construcción en áreas propensas a los sismos.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General:

- Analizar el comportamiento estructural en pórticos especiales a momento incluyendo el aporte de rigidez de la mampostería no estructural, para un diseño seguro y eficiente, verificando su capacidad para resistir a las cargas de diseño.

1.6.2 Objetivos Específicos:

- Optimización de método de cálculo más eficiente para el cálculo de puntal equivalente y verificación por medio de elementos finitos.
- Evaluación del aporte de la rigidez de la mampostería a los pórticos especiales a momento, mediante la recopilación e interpretación de información actualizada.
- Inclusión de los cálculos del aporte de la rigidez de la mampostería en un modelo de análisis estructural, y evaluación de los resultados obtenidos por medio del método de puntal equivalente.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2. Antecedentes

2.1 Antecedentes Contextuales

- *Macro*

La mampostería inicialmente se utilizaba como elemento de protección ambiental y divisorio de espacios internos en estructuras de acero/hormigón armado. Sin embargo, la práctica habitual ignoraba su influencia en el comportamiento estructural. Con el tiempo, se ha reconocido que la interacción entre la mampostería y el marco circundante, especialmente bajo cargas de viento o sísmicas, crea un sistema integral conocido como "marco relleno".

Este cambio de paradigma ha impulsado la necesidad de considerar la mampostería como un componente activo en el diseño y análisis estructural. El análisis de la interacción entre la mampostería y el marco permite comprender mejor manera su comportamiento conjunto y optimizar el diseño de las estructuras para mayor seguridad y eficiencia.

En países en desarrollo como la India, se están ejecutando planes de vivienda a gran escala para satisfacer las necesidades de vivienda de la gente. La mayoría de estas estructuras son edificios de tres o cuatro pisos, generalmente construidos con marcos de hormigón armado con relleno de ladrillo. Si se comprende adecuadamente la interacción estructural entre la mampostería y los elementos RC, se produciría una reducción significativa en el costo de construcción. (*IJRET - International Journal of Research in Engineering and Technology*, s. f.)

En el que los autores realizaron la metodología del puntal diagonal equivalente único para determinar la rigidez lateral inicial, en donde así mismo se propone un factor de reducción del ancho del puntal para determinar el ancho del puntal para la abertura presente en el panel de relleno. A la vez se realizó el análisis mediante elementos finitos adecuados para solucionar problemas. El método se ha utilizado para analizar marcos rellenos teniendo en cuenta los factores en la interfaz, la separación en la superficie de contacto. En este método, se utilizan dos elementos de marco estándar con dos grados de libertad de traslación y una libertad de rotación en cada nodo para modelar los elementos del marco.

Por otra parte, en este estudio realizado en Países Bajos los autores proponen un modelo de falla discretizada de múltiples superficies para interfaces, que permite posibilidades de falla por agrietamiento, aplastamiento y corte típicas de los mecanismos en mampostería. Esto hace posible analizar componentes de mampostería utilizando métodos secuencialmente lineales, en combinación con el enfoque de micromodelado, hasta el colapso total de manera robusta. El modelo constitutivo se presenta tanto para interfaces lineales (2D) como planas (3D) con respecto a la determinación del multiplicador de carga crítica y el modo de actualización de la rigidez. El modelo se resume de la siguiente manera:

- La falla por corte se describe mediante la formulación de fricción de Coulomb desacoplada, lo que permite el ablandamiento de la cohesión y la actualización de la rigidez al corte en función de incrementos de desplazamiento relativo al corte especificados.
- El agrietamiento discreto se inicia mediante un criterio de corte de tensión junto con una ley de diente de sierra de ablandamiento por tensión uniaxial.
- La trituración se inicia mediante un criterio de corte de compresión junto con una ley de diente de sierra de endurecimiento-ablandamiento. (Pari et al., 2021)

Mientras que, en el estudio realizado en Brasil, los autores proponen un procedimiento para el uso de modelos multi-puntal para el análisis estructural de pórticos de RC rellenos con mampostería participante sometida a cargas laterales. Por lo tanto, se propone que las excentricidades de los puntales equivalentes se obtengan a partir del ancho de puntal equivalente del modelo clásico de un solo puntal, cuyo valor puede estimarse a partir de expresiones analíticas en la literatura. Los modelos propuestos están validados mediante el modelado del Método de Elementos Finitos (FEM), que simula el contacto entre la mampostería de relleno y el marco. En donde concluyeron que el modelado propuesto proporcionó mejores resultados que el modelo clásico de un solo puntal en la obtención de la fuerza cortante máxima que actúa en las columnas. También pudieron notar que las diferencias de los modelos de puntal equivalentes en relación con los resultados FEM fueron mayores con el aumento de la rigidez de la mampostería participante. (Galvão & Alva, 2023)

- ***Meso***

En este estudio realizado en Quito, se evaluaron estructuras con mampostería y sin mampostería de 1,2 y 3 pisos, con luces promedio de 4.00 m, cuatro pórticos en sentido longitudinal, tres en sentido transversal y para estructuras con mampostería, una distribución en una planta tipo, y la mampostería cambia considerablemente el comportamiento de las estructuras, pero al incluir el efecto de la mampostería se derrumba. Se debe destacar que el mecanismo de falla en todos los modelos con mampostería es mediante piso débil en planta baja ya que la mampostería falla primero en ese nivel generando rotulas plásticas en la parte superior de las columnas, eso forma fallas frágiles. Las estructuras sin un detallamiento sismo resistente se ven más afectadas. Si en la realidad se tuvieran estructuras de 3 pisos con esta estructuración es muy probable que se alcance el colapso ante el sismo de diseño.(Cagua B, 2022)

- ***Micro***

La edificación de mampostería confinada (MC) es una tipología estructural de uso extendido en Latinoamérica para viviendas de baja a mediana altura, puesto que, con un adecuado diseño y ejecución en obra, ha mostrado un buen desempeño sísmico. Es importante extraer lecciones del comportamiento de esta tipología ante terremotos recientes y actualizar las normas de diseño de acuerdo con el estado del conocimiento.

En Ecuador, según el informe realizado por el EERI (Earthquake Engineering Research Institute) después del terremoto ocurrido en Manabí, en abril de 2016, con un momento (Mw) de magnitud 7,8 y una intensidad máxima de IX (destrutivo) en la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98)(Lanning, 2016), las edificaciones de mampostería de hasta tres o cuatro pisos mostraron serias deficiencias constructivas.

Por ejemplo, en las zonas afectadas, no fue raro observar edificaciones de muros confinados con la secuencia constructiva invertida: primero pórticos y en segunda instancia, paredes. De este modo, se generaron sistemas de pórtico flexible con paredes de relleno pesadas y mal conectadas, sin una unión efectiva entre la mampostería, el concreto y el refuerzo.

En Ecuador, la MC es la tipología estructural más utilizada para viviendas de hasta dos pisos (para las cuales se admite que no tengan supervisión técnica de un ingeniero). Por

esta razón, es crucial establecer requerimientos constructivos claros y consistentes, y de este modo, aprovechar su adecuado comportamiento sísmico, además de su conveniencia constructiva y económica. En el caso de edificaciones de mayor altura, es aún más importante el cumplimiento de las normas y su constante actualización.(Quinde et al., 2023)

2.2 Antecedentes Referenciales o históricos

En muchos países, es común el uso de estructuras de hormigón armado con muros de mampostería confinada. Sin embargo, durante el terremoto de Wenchuan en China en 2008, se observaron efectos perjudiciales al conectar rígidamente el muro de relleno al marco circundante. Para reducir estos efectos, los diseñadores chinos propusieron el uso de conexiones flexibles entre la pared de relleno y el marco, con el objetivo de reducir los posibles daños que se puedan producir. A pesar de esta recomendación, las estructuras de hormigón armado con mampostería confinada y conexiones flexibles se utilizan raramente en la ingeniería, principalmente debido a la falta de investigación en este campo. Por lo tanto, es crucial investigar y analizar científicamente los efectos de las conexiones flexibles en el comportamiento estructural. En este contexto, se propuso un modelo mejorado de puntales diagonales equivalentes para estructuras de hormigón armado con mampostería confinada y conexiones flexibles. Este estudio representa un paso importante hacia la comprensión y la mejora de la seguridad y la eficiencia de las estructuras de hormigón armado con muros de relleno de mampostería.(Yang et al., 2019)

En contraste con las recomendaciones de los diseñadores chinos para el uso de conexiones flexibles entre la pared de relleno y el marco, las estructuras de mampostería confinada han demostrado un rendimiento sísmico sobresaliente en terremotos anteriores. No obstante, la diversidad de las estructuras con mampostería confinadas, varían en materiales, detalles y prácticas de construcción en diferentes regiones, presenta desafíos para el desarrollo de pautas de diseño estandarizadas. En este contexto, se identifican brechas en el conocimiento actual por falta de datos de cómo se comportará estos materiales bajo cargas sísmicas, destacando la necesidad de realizar más investigaciones sobre el rendimiento de las estructuras de alta densidad frente a las cargas sísmicas y la aplicación de nuevos materiales y técnicas de construcción. Es por ello, que se plantean

futuras líneas de investigación, enfatizando la necesidad de llevar a cabo más estudios experimentales y desarrollar modelos numéricos avanzados para capturar la complejidad de las estructuras de alta densidad bajo diferentes cargas. (Borah et al., 2023)

En este sentido, los modelos de puntales equivalentes han demostrado ser herramientas efectivas en la simulación numérica de mampostería confinada. Estos modelos simplificados permiten una estimación más aproximada de la respuesta sísmica de la estructura, considerando factores como la presencia de orificios en las unidades, el tipo de material de mampostería utilizada, lo que los hace útil para aplicaciones prácticas. Además, los modelos de puntales equivalentes proporcionan un balance efectivo entre precisión y eficiencia en la simulación numérica de estructuras de mampostería confinada, lo que los convierte en una herramienta valiosa para el análisis de riesgos sísmicos y el diseño de medidas de reducción de daños. (Krtinić et al., 2023b)

2.3 Antecedentes Conceptuales

2.3.1 Definición de Mampostería

La mampostería no confinada alude a la construcción de sistemas en los que no se encuentran confinados por refuerzos de hormigón armado. En esta construcción se diferencia de la mampostería confinada porque incluye el uso de refuerzos de concreto en el sentido horizontal y vertical para confinar las paredes. Según (Chourasia et al., s. f.) La mampostería confinada por otra parte, ofrece una ventaja en cuanto comportamiento sísmico en comparación a la mampostería no confinada con pórticos reforzados. por lo cual se intuye que este es el mejor método constructivo no obstante, es muy rígido en cuanto a modificaciones que se quieran realizar posterior a la construcción ya que este método de construcción se basa principalmente en que la mampostería sea la que soporte la carga y no los pórticos, por ello al hacer modificaciones se pierde significativamente la rigidez en comportamiento ante eventos sísmicos las aberturas para ventanas o puertas también reduce la eficiencia ante eventos sísmicos, y la otra causa por la cual este método no es tan acuñada es porque es mayormente usada en estructuras regulares en cuanto elevaciones y distribuciones de pisos. Al igual como plantea (Pérez Gavilán Escalante et al., 2023) “La mampostería confinada Consiste principalmente en que la mampostería soporte y distribuya las cargas”.

2.3.2 Análisis Estructural

La mampostería afecta el análisis estructural de varias maneras. El modelado geométrico de estructuras de mampostería, como el techo de un edificio, influye significativamente en la respuesta estructural y el estado de los daños (Contrafatto et al., 2022). Las condiciones de apoyo, como la rotación superior y las excentricidades, juegan un papel importante en la capacidad de carga de los muros de mampostería. (Du et al., 2021) La técnica de modelado utilizada para estructuras de mampostería, como el concepto de bloques elementales con no linealidad localizada, simula con éxito los modos de falla dentro y fuera del plano (Simonović et al., 2023). La introducción de cargas de construcción y la interacción suelo-estructura pueden causar alivio o la necesidad de refuerzo en elementos de mampostería diseñados en estado límite último (ULS) y estado límite de servicio (SLS) (A. C. S. Lopes, s. f.).

2.3.3 Definición de Edificaciones con Pórticos Especiales a momento (SMF)

Son estructuras previamente calculada y diseñada, para soportar las tormentas vientos y los eventos sísmicos que se puedan presentar, “estos tipos de construcciones otorgan una mayor rigidez y capacidad para su reparación tras el desgaste lo que otorga ventajas de recuperación posterior a eventos sísmicos o tormentas de vientos.” (Nikellis et al., 2019) Por lo que se pueden reducir costos la estructura no tiene que volverse a construir desde el inicio, esta puede ser reparada en el sitio de afectación localizado. Como plantea (Richards et al., 2023) “Las estructuras de acero con pórticos especiales a momento logran reducir significativamente los riesgos de fallas durante eventos naturales como sismos o tormentas de vientos”, aportándonos así mayor seguridad reduciendo los riesgos de fallos en caso de un desastre natural, esta es una ventaja notoria en comparación con las otras metodologías constructivas.

Según (Karasu & Vatansever, s. f.) El diseño un lugar de paneles débiles en los pórticos especiales a momento de a dejado de diseñar debido a los percances que sufren durante los terremotos.”. lo que deja intuir la importancia de que se equilibre correctamente la rigidez las conexiones entre paneles, y que es importante priorizar mayormente la seguridad de la estructura en lugares donde es más propenso a que ocurran desastres naturales que atenten con la estabilidad de la estructura

2.3.4 Influencia de la mampostería en el comportamiento de las estructuras porticadas

La mampostería tiene una influencia significativa en el comportamiento de las estructuras porticadas. El análisis de marcos rellenos de mampostería es complejo debido a la diferencia en la naturaleza de los elementos y su interacción, así como a la gran dispersión y parámetros de calidad de la mampostería (Kettar et al., 2018). Los resultados experimentales muestran que el relleno de mampostería puede aumentar la rigidez y resistencia lateral de un marco, pero el efecto depende de las características de los materiales. (Humayun Basha et al., 2020) El relleno aumenta la rigidez del marco y, en consecuencia, ayuda a limitar los desplazamientos de la estructura cuando está sometida a fuerzas laterales.

2.3.5 Modelos de Diseño

El método del puntal equivalente se utiliza comúnmente para el análisis estructural de muros de mampostería. Este método implica modelar el comportamiento de muros de mampostería como estructuras de marco rellenas utilizando puntales diagonales. Es necesario considerar varios parámetros al implementar este método, como el número de puntales y el área residual después de la grieta.

Las investigaciones han demostrado que el método de puntal equivalente puede simular con precisión la respuesta sísmica global de los muros de mampostería y es adecuado para aplicaciones prácticas (Krtinić et al., 2023). La incertidumbre en los parámetros de modelado de los puntales de relleno puede tener un efecto significativo en las relaciones máximas de deriva del piso y las fragilidades del estado límite de los pórticos de hormigón armado con rellenos (Haindl et al., 2023). Se ha demostrado que el método de puntal equivalente es una herramienta simple y útil para considerar muros de mampostería en el análisis y diseño estructural (Hapsari et al., 2023). Sin embargo, este método tiene limitaciones, particularmente a la hora de implementar mampostería reforzada y reflejar el efecto de refuerzo real. (Grandi et al., 2021)

2.3.6 Intensidad sísmica

Las estructuras de mampostería se utilizan tradicionalmente para edificios de baja y media altura, particularmente en regiones caracterizadas por un alto riesgo sísmico. La

mampostería sigue siendo uno de los Materiales de construcción más utilizados en zonas propensas a terremotos. Las observaciones de campo después de grandes terremotos mostraron que los terremotos podrían causar daños importantes a las estructuras o incluso el colapso total. (Pérez Gavilán Escalante et al., 2023)

El tamaño, la ubicación y la forma de las aberturas en las estructuras de mampostería confinadas también juegan un papel crucial en su comportamiento resistente a los terremotos. Se ha descubierto que colocar las ventanas lo más lejos posible de la ubicación central del panel de pared mejora el rendimiento sísmico de los muros de mampostería confinados (Influence of Openings on Earthquake Performance of, s. f.). Además, la presencia de muros de relleno de mampostería en los marcos RC aumenta la rigidez de la estructura y le permite soportar las fuerzas sísmicas mejor que los marcos desnudos (Seismic Performance Assessment of Masonary Infilled RC Frames by Using Staad PRO, s. f.).

2.3.7 Métodos de análisis estructural

Para el análisis estructural se realizan distintos métodos para evaluar el comportamiento de edificios con pórticos resistentes a momento. Existen distintos modelos para el análisis como:

Tabla 2. Comparaciones de métodos

Concepto	Descripción	Ventajas	Desventajas
Método de Elementos Discretos (MED)	Simula sistemas de partículas. Propiedades clave: mecánica del cuerpo rígido, fricción.	Modela sistemas complejos. Útil para materiales granulares y problemas geotécnicos.	Cálculos computacionales intensivos. Dificultad para modelar la fractura. Sensibilidad a parámetros.
Contacto No Uniforme	Simula interacciones en sistemas granulares. Considera no uniformidad en propiedades de contacto.	Descripción realista de interacciones. Útil para estudiar compactación.	Mayor complejidad. Más datos requeridos. Mayor costo computacional.

Modelo de Plasticidad de Concreto	Describe deformación plástica del concreto bajo cargas elevadas. Considera resistencia, fluencia y rotura.	Predice comportamiento en cargas reales. Útil para diseño estructural. Incorpora endurecimiento.	Requiere calibración precisa. Dificultad para modelar concreto reforzado. No considera temperatura y humedad.
Matriz de Rigidez Local para Pórticos	Describe el comportamiento de un elemento de pórtico. Combina deformación axial y transversal.	Proporciona datos físico-mecánicos del elemento. Permite resolver desplazamientos locales.	Requiere ensamblaje con otros elementos para obtener la matriz global.
Matriz de Rigidez Global para Pórticos	Describe el comportamiento de toda la estructura. Se obtiene mediante ensamblaje de matrices locales.	Permite resolver desplazamientos globales. Considera interacciones entre elementos.	Requiere ensamblaje de todas las matrices locales. Mayor complejidad computacional.

Fuente: Elaboración propia

En estos se analizan los efectos de daños del concreto que le otorgan al usuario la capacidad de analizar cómo se comportara la estructura posterior o durante el evento sísmico, existe también el metodo de la rigidez, que se encarga de analizar el sistema de rigideces de los elementos estructurales cargas otorgándonos las deformaciones y los esfuerzos y fuerzas internas, por otro lado se emplea la modelación de números atreves de método de elementos finitos, en el cual se realizan estudios del comportamiento estructural de la mampostería, agregando la componente de la mampostería simple y confinada, con hormigón armado, estos métodos se validan atreves de experimentos realizados en el laboratorio y logran otorgar información del rendimiento y vulnerabilidades de las construcciones de la mampostería bajo el concepto de cargas sísmicas horizontales (Schiavoni et al., 2023)

2.3.8 Impacto de los factores ambientales:

El ambiente en el que se encuentre puede ir deteriorando el comportamiento progresivamente, clima, humedad terremotos tiene un impacto relativamente significativo en la mampostería de las estructuras.(Gonzalez et al., 2023)

Por medio de investigaciones se a logrado demostrar que los daños causados por los terremotos y sismos provocan daños que muchas de las veces son irreparables a lo que conduce a una demolición total de la estructura, lo que se traduce en un elevado costo para la demolición y un daño al medio al medio ambiente Haga clic o pulse aquí para escribir texto.(Huang & Simonen, 2019)Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

así mismo las condiciones ambientales en medio de una obra en construcción, tales como el clima las precipitaciones, temperatura y la humedad afectan directamente la disponibilidad y comportamiento de los materiales de construcción, además de la de la mano de obra, así como del tiempo de duración del proyecto de construcción.(Rana et al., 2017)

Por lo que se concluye que es importante para construir un buen cronograma con las variables de clima temperatura y disponibilidad para mitigar el impacto ambiental que se pueda generar por fallos durante o posterior a la construcción de la obra.

2.3.9 Materiales de mampostería:

La materia prima y modo de construcción de estos elementos modifican el comportamiento final que tendrá la estructura, es por ello por lo que se le debe dar importancia a estos elementos como ladrillos, bloques, hormigón, piedras, etc. Estas estarán sometidas a diferentes tipos de cargas y esfuerzos, es complejo modelar numéricamente ya que son muchas las variables para tener en cuenta.(Khattak et al., 2023)

Así mismo las características de los materiales, principalmente la mampostería a base de piedra, varia significativamente el análisis, debido a que el material no es homogéneo y aunque provengan del mismo sitio la resistencia y comportamiento bajo cargas será distinto individualmente. (Adhikari et al., 2023)

Los muros estructurales que se basan en mampostería, influyen directamente en el comportamiento del edificio, variando el comportamiento elástico y plástico del pórtico.(Constantinescu, 2023)

Se a creado también ladrillos de hormigon en base a polvo de vidrio como sustituto de la arena puede afectar sus propiedades de absorción de agua. Además, la adición de polvo de vidrio como sustituto de la arena en los ladrillos de hormigón puede afectar a su resistencia a la compresión y a sus propiedades de absorción de agua. En general, comprender las propiedades y el comportamiento de los diferentes materiales de mampostería es crucial para un análisis y un diseño precisos de las estructuras.(Limbah et al., 2023)

2.3.10 Técnicas de refuerzo y reparación:

Las reparaciones y refuerzos en la mampostería de edificios se a estudiado ampliamente. Creando diversos métodos, enfoques modernos y tradicionales, la técnica de matriz cementosa reforzada con tela, se ha comprobado eficacia al momento reforzar paredes de mampostería y pilares. Las técnicas más fiables y recomendadas son: revestimiento con mortero, malla de alambre soldada, fibras sintéticas o de acero y mortero premezclado con mallas de vidrio. reduciendo significativamente las deformaciones y aumentando la rigidez de las paredes (Lubin et al., 2023)

Se utilizan técnicas como el análisis modal, para identificar donde se podrían producir posibles daños en la estructura de la mampostería, se suele emplier en algunos casos morteros reforzados con material textil, en el caso de que se requiera remediar daños en la estructura lo que demuestra la factibilidad de recuperar o aumentar la rigidez de esos materiales. (Bru et al., 2023)

En edificios históricos lo que se recomienda utilizar son métodos no invasivos que tratando de reducir al mínimo el remplazo de estos elementos que lo conforman, reparando las capas para que sean a prueba de humedad, logrando así que el edificio pueda ser usado continuamente por mayor periodo de tiempo.(Li et al., 2023)

2.3.11 Diseño arquitectónico y estético:

La estética y diseño arquitectónico se ve relacionado directamente por la mampostería, ya que en todas las edificaciones se utiliza la mampostería para dividir áreas y en otros casos se la emplea para resistir las cargas axiales en esos casos en específicos la muy poco se puede diseñar ya que se requiere que la estructura sea lo más regular posible y además que en todos los pisos se repita la misma configuración. (SONG et al., 2023)

La regularidad en altura y piso, forma, juntas sísmicas, dimensionamientos de los voladizos, y los bordes de seguridad de los balcones, configuración de los agujeros para puertas y ventanas son factores que influyen directamente en la respuesta de la edificación ante un sismo. (Tuxhari et al., 2023)

Además, las normativas presentes en cada región pueden afectar las decisiones de diseño arquitectónico. El análisis de edificios con mampostería se puede beneficiar si se toma en cuenta el rendimiento y rigidez que aporta la mampostería tanto a nivel de los componentes como a nivel desempeño.

Al lograr relacionar las configuraciones de la mampostería y entender como esta se comportará ante eventos sísmicos se logrará optimizar reduciendo daños posteriores en reparación reduciendo estos costos en áreas propensas a eventos sísmicos. (Zeng & Li, 2023b)

2.3.12 Seguridad y prevención de riesgos:

Una configuración correcta de las estructuras con mampostería desarrolla un papel fundamental en la prevención y seguridad de los edificios, al realizar distintas pruebas en estructuras reales se deduce la variabilidad en resistencia, con estos valores posteriormente se los utiliza para cuantificar la seguridad ocupacional.(Guo et al., 2023)

Los resultados de estas evaluaciones demuestran que la seguridad y los coeficientes de seguridad y coeficientes de variación son satisfactorio, con lo cual se concluye que la mampostería puede cumplir con requisitos que se derivan del progreso emergente de la tecnología.(Zięba et al., 2021)

Por lo tanto, tener un correcto diseño arquitectónico basado en un previo análisis de comportamiento de la mampostería puede lograr contribuir a deducir como esta fallara y

si requiere un mayor reforzamiento de esta o usar directamente otros materiales con mayores resistencias que contribuyan al correcto funcionamiento y no colapse ante un evento sísmico garantizando la seguridad del edificio y de las personas en su interior

2.3.13 Impacto económico:

El valor por económico de la albañilería tiene un gran impacto económico en la posterior construcción, reparación y mantenimiento. Un correcto análisis de espesor de pared puede reducir significativamente los costos y nos provee un buen funcionamiento como aislante térmico ahorrándonos energía eléctrica. (Annibaldi et al., 2022)

El mejoramiento en rendimiento energético y estructural de los edificios de la mampostería existente se evalúa en función del impacto ambiental y económico. Al ser un material de construcción sostenible la mampostería ofrece ventajas como la resistencia al fuego, durabilidad, viabilidad económica a largo plazo. En los edificios, la colocación de ladrillos macizos especialmente en zonas con índices altos de sismos puede influir significativamente el comportamiento de la estructura. Lo que se traduce como en reducción de costos de construcción («Masonry for Sustainable Construction», 2023)

2.2.2 Sostenibilidad y medio ambiente:

Se ha investigado que el uso de escombros en la construcción de hormigón, logran tener un menor impacto al ambiente en comparación con los métodos tradicionales, así mismo que los bloques reutilizables con áridos reciclados tienen un menor impacto ambiental en comparación con los muros de hormigón normales. (Cuenca-Moyano et al., 2019)

Se incluye así mismo que la reutilización de desechos de escombros provenientes de construcciones como piezas de paredes, logran un menor impacto ambiental en comparación del uso de mampostería nueva, aunque el valor del costo de transporte es mayor (Pešta et al., 2020)

2.3.14 Método del puntal equivalente

Los autores (Krtinić et al., 2023) manifiestan que el modelo de puntal equivalente (ESM) es uno de los macromodelos más conocidos, que se propuso por primera vez en la década

de 1960 para modelar rellenos de mampostería en marcos de RC con puntales diagonales. El modelo de puntal diagonal surgió de la observación de que, durante la carga horizontal en el plano de un marco de RC con relleno de mampostería, el campo de compresión en el relleno de mampostería se desarrolla principalmente a lo largo de su diagonal (ver Fig. 2).

Ilustración 2. Modelo de puntal equivalente

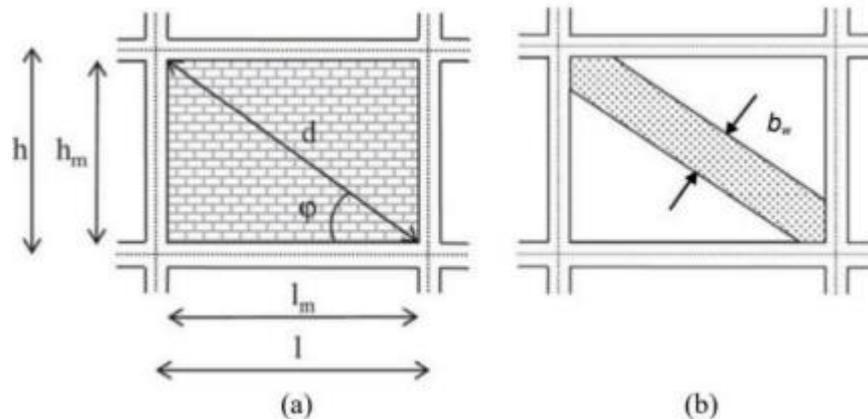


Figura 1. Modelo de puntal equivalente: (a) características geométricas en el plano y (b) puntal diagonal equivalente (Liberatore et al., 2018)

2.2.3 Historia y evolución de la mampostería:

La historia de la mampostería ha ido evolucionando con el tiempo, se a empleado como material indispensable de construcción en variadas estructuras, como por ejemplo las estructuras de antigua Grecia y Roma incluyendo el Coliseo. (Kotoulas & Κωτούλας, 2022)

Hasta llegar a la actualidad con edificios modernos y resistentes, a pesar de que la mampostería no es diseñada para que tenga propiedades resistentes esta otorga cualidades como la resistencia al fuego durabilidad, y la cualidad de soportar el desgaste del paso del tiempo (Almusaed et al., 2023)

Se a producido un cambio en los últimos años en cuanto al diseño basado en rendimientos en los edificios con mampostería, se ha centrado en el evaluar el rendimiento que tiene la mampostería en la estructura. No obstante, es requiere continuar investigando en esta área. Para implementarla plena mente en los diseños estructurales. (Zeng & Li, 2023)

3. CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño del Estudio

El diseño del estudio es crucial para estructurar de manera clara y precisa cómo se llevará a cabo la investigación, asegurando que todos los pasos sean sistemáticos y replicables.

3.1.1 Tipo de Investigación

Este estudio es de tipo cuantitativo, ya que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos para evaluar el comportamiento estructural de las edificaciones con pórticos especiales que incorporan mampostería no estructural. Además, tiene un enfoque explicativo, pues busca comprender las causas y efectos de la inclusión de la mampostería no estructural en el comportamiento de las estructuras ante eventos sísmicos.

3.2 Enfoque del Estudio

El enfoque del estudio es tanto descriptivo como correlacional. En la fase descriptiva, se detallarán las características de las edificaciones y los materiales utilizados. En la fase correlacional, se analizarán las relaciones entre la rigidez de la mampostería y la respuesta estructural de los pórticos especiales, evaluando cómo estas variables interactúan durante un evento sísmico.

3.3 Variables del Estudio

Variable Independiente: Presencia de mampostería no estructural en los pórticos especiales.

Variable Dependiente: Respuesta estructural de los pórticos (desplazamientos, fuerzas internas, rigidez, y resistencia).

Variables de Control: Características sísmicas de la región, materiales de construcción, y metodología de análisis utilizada (puntal equivalente y elementos finitos).

3.4 Alcance del Estudio

El presente estudio se enfoca en determinar una distancia equivalente para los puntales mediante un proceso iterativo que nos permitirá identificar la opción óptima. Para ello, se llevarán a cabo diversas evaluaciones cuantitativas sobre el aporte de la mampostería no estructural. Se aplicarán cargas de 50 toneladas y se compararán los desplazamientos obtenidos con los resultados del método de elementos finitos. Esto nos permitirá validar

cuán precisa es la distancia equivalente w del puntal en relación con la realidad. Una vez estimada esta distancia, se aplicarán escenarios, en estructuras que se encuentran edificadas en un suelo tipo D requiriendo tomar las respectivas consideraciones de diseño correspondiente a la amenaza sísmica, para verificar la veracidad del aporte en rigidez de la mampostería y evaluar las variaciones en rigidez y periodo de las estructuras analizadas.

3.5. Descripción de la población y muestra

La población está orientada a las edificaciones ubicadas en la ciudad de Machala, y la muestra se enfoca en pórtico especial a momento de máximo tres pisos, las cuales se presentarán en la sección de modelación.

3.6 Evaluación de la Mampostería

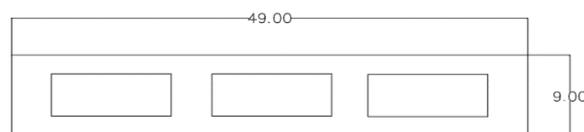
La evaluación de la mampostería es un componente crucial del estudio, ya que su comportamiento influye significativamente en la respuesta estructural de los pórticos especiales a momento. A continuación, se detalla el enfoque adoptado para evaluar la mampostería no estructural:

3.7 Caracterización de la Mampostería

3.7.1 Tipos de Mampostería

Para analizar el comportamiento de la rigidez de la edificación se utilizará mampostería de bloque de concreto evaluando sus propiedades mecánicas y su contribución a la rigidez de la estructura, la cual tiene una resistencia a la compresión de 22,78 kg/cm².

Ilustración 3. Dimensiones de mampostería



Espesor equivalente

$$I_{masiza} = I_{hueca} = \frac{b \cdot t^3}{12} \qquad t = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I}{b}}$$

Se utilizarán modelos numéricos para simular el comportamiento de la estructura y evaluar la influencia de los diferentes elementos constructivos.

3.7.2 Metodología para la modelación de mampostería no confinada

La modelación de mampostería no confinada es un proceso complejo que requiere considerar diversos aspectos del material y su comportamiento ante cargas. A continuación, se presenta una metodología general para la modelación de mampostería no confinada. Debido a esta problemática, diferentes técnicas se han desarrollado para reducir la incertidumbre causada por la mampostería en la modelación. Estas se dividen principalmente en dos:

- a) El micro-modelado de mampostería basado en elementos finitos (MEF) es una técnica numérica avanzada que se utiliza para analizar el comportamiento de estructuras de mampostería a nivel de los ladrillos y el mortero. Esta técnica permite representar en detalle la geometría y las propiedades mecánicas de los componentes de la mampostería, incluyendo las unidades de mampostería, el mortero y las juntas entre ellos.
- b) El macro-modelado de mampostería por puntal equivalente es una técnica simplificada para analizar el comportamiento de muros de mampostería no reforzados. Esta técnica consiste en reemplazar el muro de mampostería por un sistema de puntales diagonales equivalentes que representan la rigidez y resistencia a la compresión del muro.

3.7.3 Modelo de tres puntales equivalentes para muros de mampostería

El modelo de tres puntales equivalentes es una técnica simplificada para analizar el comportamiento de muros de mampostería no reforzados. Esta técnica consiste en reemplazar el muro de mampostería por un sistema de tres puntales diagonales equivalentes que representan la rigidez y resistencia a la compresión del muro. A diferencia del modelo de puntal único, el modelo de tres puntales equivalentes proporciona una mejor representación del comportamiento del muro, especialmente para muros altos y esbeltos.

3.8 Modelado y Simulación:

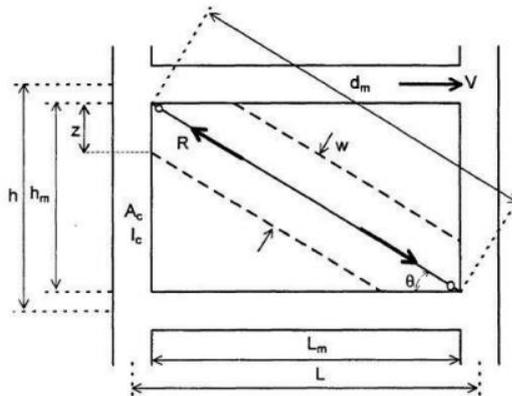
Es una representación de una estructura partiendo de la definición previa de aspectos como: geometría, propiedades de los materiales que la constituyen, cargas, ubicación,

3.10 Modelos para determinar el ancho equivalente del puntal

El ancho equivalente del puntal es un concepto fundamental en el análisis estructural de muros de mampostería, especialmente en el contexto de sismos. Representa la capacidad de un muro de resistir esfuerzos de compresión y tracción, simulando su comportamiento como un elemento estructural más sencillo.

Existen diversos modelos y expresiones empíricas para determinar este valor, cada uno con sus propias consideraciones y rangos de aplicación. A continuación, se presentan algunos de los más utilizados:

Ilustración 4. Propiedades Geométricas del puntal equivalente



Fuente: Elaboración propia

3.10.1 Modelo de Holmes (1961)

El modelo de Holmes (1961) fue uno de los primeros intentos por cuantificar el comportamiento de muros de mampostería en estructuras. Este modelo propone una simplificación del comportamiento del muro, representándolo como un puntal diagonal que soporta las cargas aplicadas.

donde:

W : Ancho equivalente del puntal

d_m : longitud del puntal

$$\frac{w_1}{d_m} = \frac{d_m}{3}$$

$$d_m = \sqrt{L_x^2 + L_y^2}$$

Área total del puntal $A_{ms} = w * t$

Dimensiones de los puntales

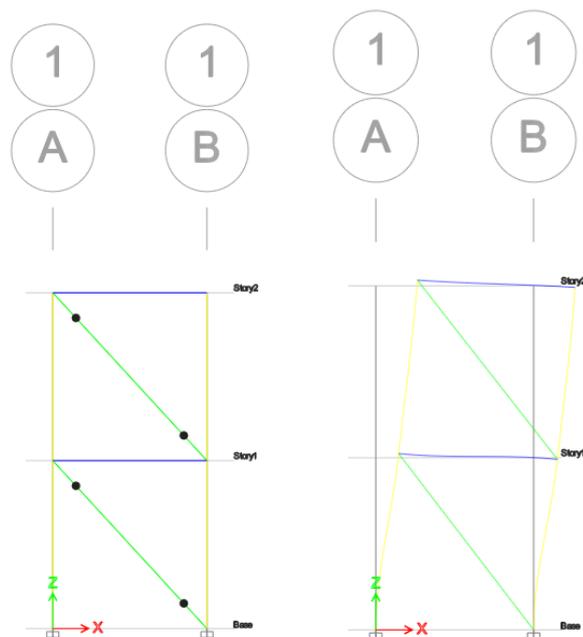
Ams principal (m)

Ams secundario (m)

$$\frac{w_2}{2}$$

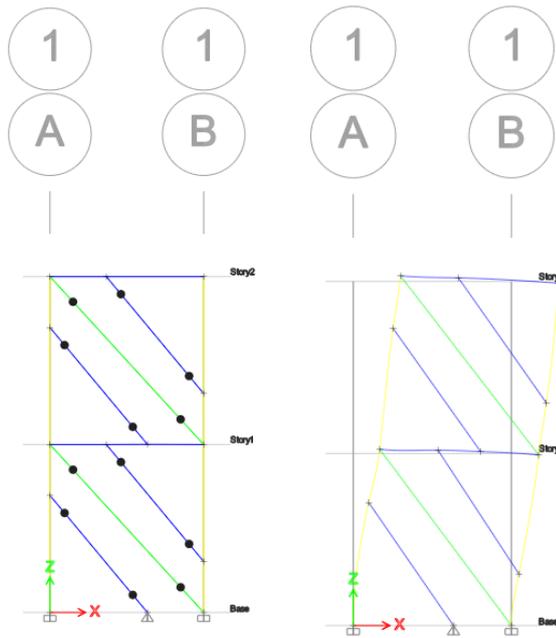
$$\frac{w_2}{4} = 0.109$$

Ilustración 5. Modelado – un puntal equivalente Según Holmes 1



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6. Modelado – tres puntales equivalentes Según Holmes 2



Fuente: Elaboración propia

Modelo de Stafford Smith (1969)

Define el parámetro de rigidez equivalente panel-marco

$$\theta = \tan\left(\frac{L_y}{L_x}\right)^{-1}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_m * t * \sin(2 * \theta)}{4E_c * I_c * h_m}} * h$$

donde:

λ : Parametro de rigidez equivalente del puntal.

E_m : Modulo de elasticidad de la manposteria

t : espesor de la manpostesteria

h_m y L_m : alto y largo de la mamposteria

E_c : Modulo de elasticidad del concreto

I_c : Inercia de la columna

h : Alto del portico

θ : angulo de inclinacion del puntal sobre la horizontal

3.10.2 Modelo según Bazan & Meli (1980)

Para la aplicación de este modelo se debe cumplir $0.75 \xi \leq 2.5$ donde $\xi = L_m/h$ si esta expresión se cumple entonces

$$w = (0.35 + 0.22 * \beta) * h$$

$$\beta = \frac{E_c A_c}{G_m * A_m} = 2.848 \quad 0.9 \leq \beta \leq 11$$

$$A_m = L_m * t$$

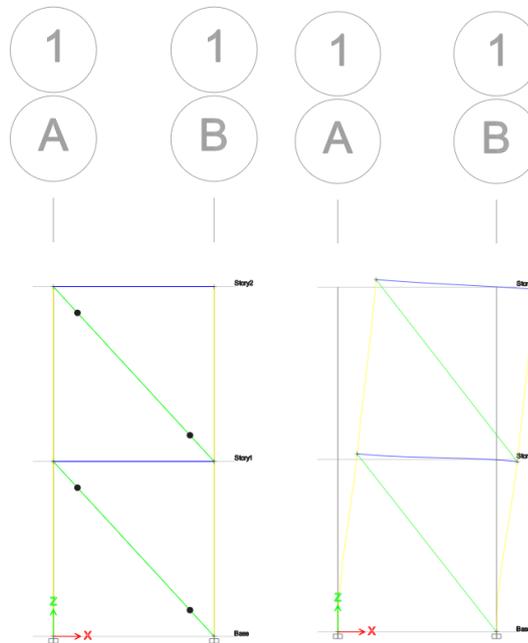
donde:

Ac: Area de la columna

Gm: Modulo de corte de la mamposteria

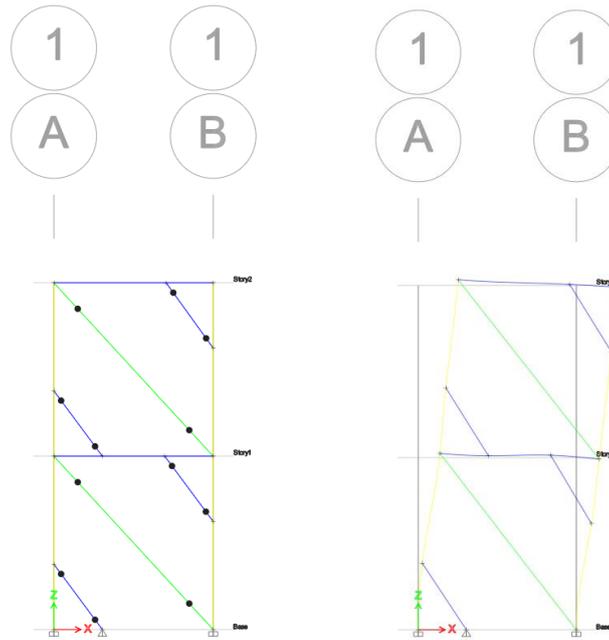
Am: Area de la mamposteria en el plano horizontal

Ilustración 7. Modelado – un puntal equivalente Según Bazan y Meli 1



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8. Modelado – tres puntales equivalentes Según Bazan y Meli 2



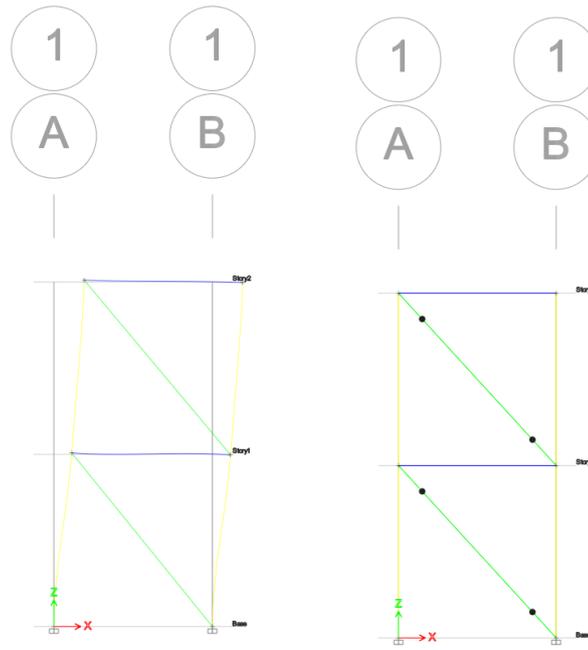
Fuente: Elaboración propia

3.10.3 Modelo de la FEMA

La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de Estados Unidos (FEMA, por sus siglas en inglés) ha desarrollado una serie de guías y recomendaciones para la evaluación y rehabilitación de edificios existentes, incluyendo aquellos con sistemas estructurales de mampostería. Aunque FEMA no presenta un modelo específico y cerrado para el cálculo del ancho equivalente del puntal, sí ofrece una serie de consideraciones y principios fundamentales que deben tomarse en cuenta al realizar este tipo de análisis.

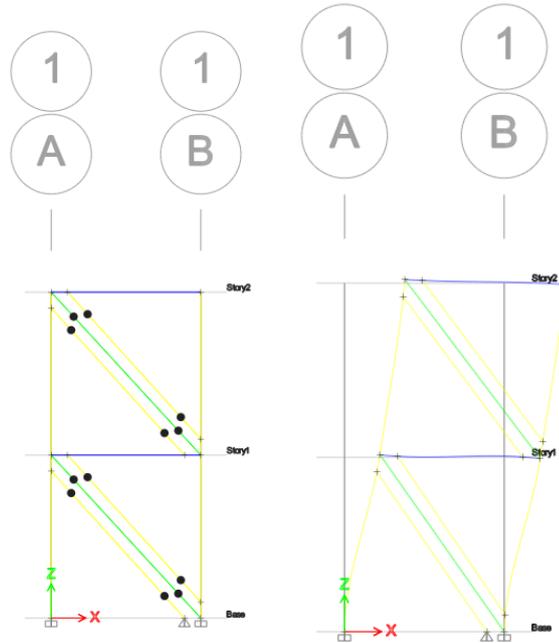
$$w_2 = 0.175 * d_m * \lambda^{-0.4}$$

Ilustración 9. Modelado – un puntal equivalente Según Fema 1



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 10. Modelado – tres puntales equivalentes Según Fema 2



Fuente: Elaboración propia

3.10.4 Modelo según Liaw & Kwan (1984)

El modelo propuesto por Liaw & Kwan en 1984 representa un avance significativo en la determinación del ancho equivalente del puntal en muros de mampostería. Este modelo

busca considerar de manera más detallada el comportamiento no lineal del material y la influencia de diversos factores en la capacidad portante del muro.

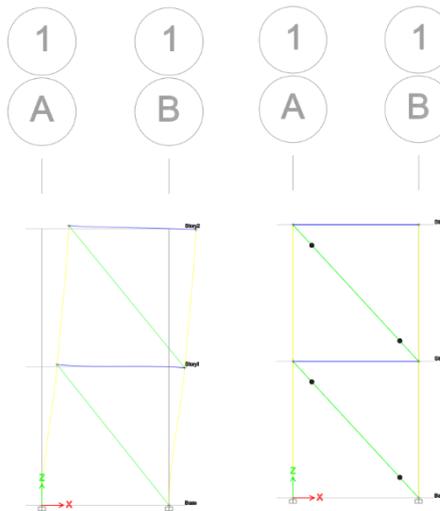
donde:

W: Ancho equivalente del puntal

dm: longitud del puntal

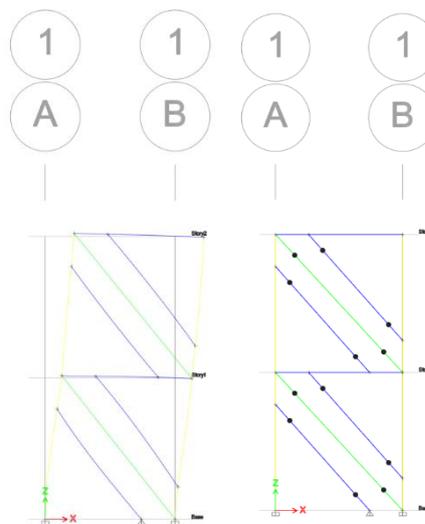
$$w_5 = \frac{0.95 * \sin(2 * \theta)}{2 * \sqrt{\lambda}} * d_m$$

Ilustración 11. Modelado – un puntal equivalente Según Liaw y Kwan 1



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12. Modelado – tres puntales equivalentes Según Liaw y Kwan 2



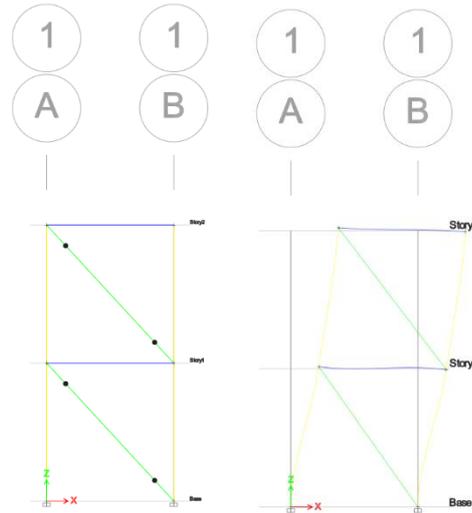
Fuente: Elaboración propia

3.10.5 Modelo según Mainstone (1971)

Este modelo, al igual que los de Stafford Smith y Liaw & Kwan, busca capturar de manera más precisa el comportamiento complejo de los muros de mampostería bajo carga.

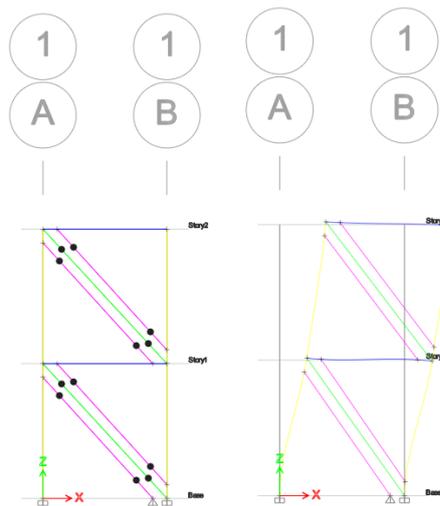
$$w = 0.16 * d_m * \lambda^{-0.3}$$

Ilustración 13. Modelado – un puntal equivalente según Mainstone 1



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14. Modelado – tres puntales equivalentes Según Mainstone 2



Fuente: Elaboración propia

3.10.6 Modelo según Paulay & Priestley, 1992

Con el fin de obtener diseños más seguros, Paulay y Priestley propusieron reducir el valor del ancho efectivo de la diagonal equivalente, adoptando así un enfoque más conservador en los cálculos.

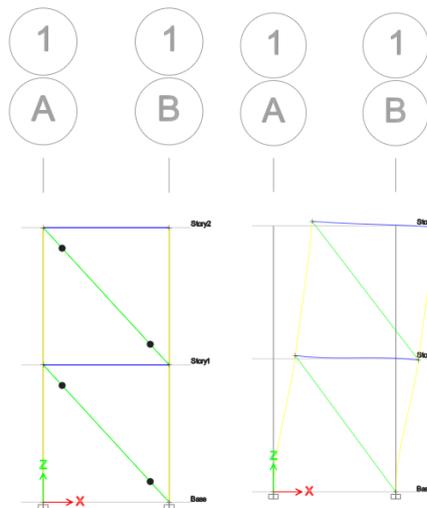
donde:

W: Ancho equivalente del puntal

d_m : longitud del puntal

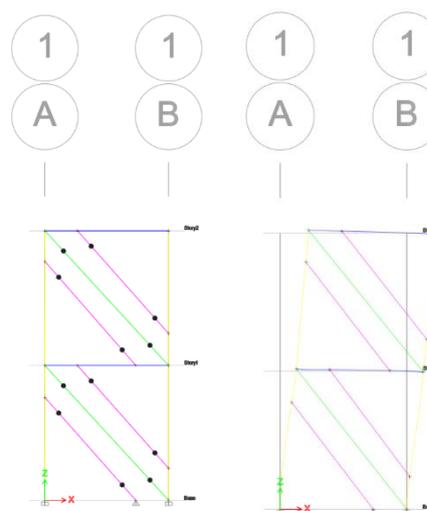
$$w = 0.25 * d_m$$

Ilustración 15. Modelado – un puntal equivalente según Paulay y Priestley 1



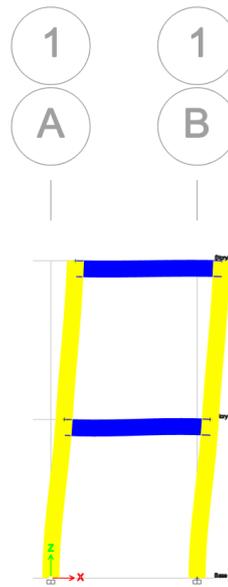
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16. Modelado – tres puntales equivalentes Según Paulay y Priestley 2



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17. Modelado – pórtico sin mampostería

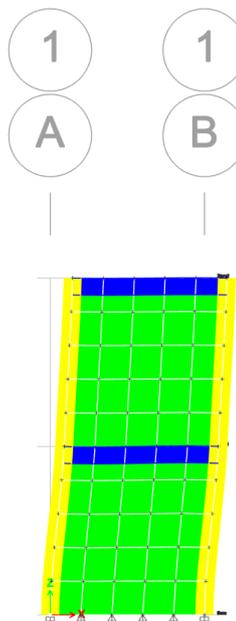


Fuente: Elaboración propia

3.10.7 Modelo Elementos Finitos

Permite obtener resultados más precisos que los métodos analíticos clásicos, especialmente para geometrías complejas o condiciones de carga no uniformes.

Ilustración 18. Modelado – Elemento finitos (MEF)



Fuente: Elaboración propia

3.10.8 Resultados modelo simple

La tabla 3 resumen los resultados de la validación para desplazamientos, respectivamente. Estas tablas muestran la diferencia entre los valores obtenidos mediante cada una de las propuestas y los valores obtenidos mediante el análisis por elementos finitos (MEF).

Tabla 3. Valoración de desplazamientos para las expresiones.

Modelo	Desplazamientos (cm)				Diferencia en pisos (cm)		Error (%) mínimo
	Puntal equivalente		MEF		P1	P2	
	P1	P2	P1	P2			
Holmes 1	0,01316	0,02396	0,054	0,03168	0,04084	0,00772	0,001727504
Holmes 2	0,015244	0,027174	0,054	0,03168	0,03876	0,00451	0,001522332
Bazan y Meli 1	0,008282	0,016437	0,054	0,03168	0,04572	0,01524	0,002322485
Bazan y Meli 2	0,012496	0,022965	0,054	0,03168	0,0415	0,00872	0,001798533
Fema 1	0,030684	0,052186	0,054	0,03168	0,02332	0,020506	0,000964132
Fema 2	0,030314	0,05153	0,054	0,03168	0,02369	0,01985	0,000955049
Liaw y Kwan 1	0,016353	0,02897	0,054	0,03168	0,03765	0,00271	0,001424641
Liaw y Kwan 2	0,017232	0,030333	0,054	0,03168	0,03677	0,00135	0,0013537
Mainstone 1	0,030031	0,051103	0,054	0,03168	0,02397	0,019423	0,000951766
Mainstone 2	0,029681	0,05048	0,054	0,03168	0,02432	0,0188	0,000944854
Paulay & Priestley 1	0,016273	0,028843	0,054	0,03168	0,03773	0,00284	0,001431375
Paulay & Priestley 2	0,017351	0,03053	0,054	0,03168	0,03665	0,00115	0,001344472
Sin manpoteria	0,123802	0,2295	0,054	0,03168	0,069802	0,19782	0,044005072

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados de la validación, se puede concluir que, para la estimación de periodos, la expresión más recomendable es la propuesta por Mainstone con tres puntales equivalentes. Esta expresión presenta la menor diferencia porcentual con respecto a los valores obtenidos mediante el análisis por elementos finitos (MEF)

3.10.9 Iteraciones para la Determinación del Ancho Equivalente Óptimo

Se realizarán 400 iteraciones, ajustando progresivamente la rigidez de la matriz a medida que se modifica el ancho equivalente. Este ancho se incrementará gradualmente hasta aproximarse al valor de rigidez más preciso determinado por las ecuaciones de puntal equivalente propuestas por los siguientes autores y métodos:

- Holmes
- Bazán
- Meli
- FEMA
- Liaw y Kwan

4. CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1 Análisis de Resultados de iteración de modelo Único

4.1.1 Fórmula para las diferencias de cuadrados

Para cada punto de datos i , se calcula la diferencia de cuadrados entre los valores calculados y los valores reales:

$$Df_i = (VC1_i - VR1)^2 + (VC2_i - VR2)^2$$

Donde:

Df → Diferencia de Cuadrados

VC → Valor Calculado 1_i , es el primer valor calculado por el punto i .

VR → Valor Real 1 es el primer valor real.

VC → Valor Calculado 2_i , es el segundo valor calculado por el punto.

VR → Valor Real 2 es el segundo valor real.

4.1.2 Fórmula para los Porcentajes

Luego, para convertir estas diferencias de cuadrados en porcentajes, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Porcentaje_i = \left(\frac{Df}{\sum Df} \right) \cdot 100$$

Donde:

Df → Diferencia de Cuadrados

$\sum Df$ → Es la suma de todas las diferencias de cuadrados

El resultado se multiplica por 100 para obtener un porcentaje

4.2 Ordenadas del grafico

Las ordenadas en el grafico representan la diferencia de cuadrados entre los valores calculados y los valores reales. Específicamente, para cada punto de datos, la diferencia de cuadrados se calcula como:

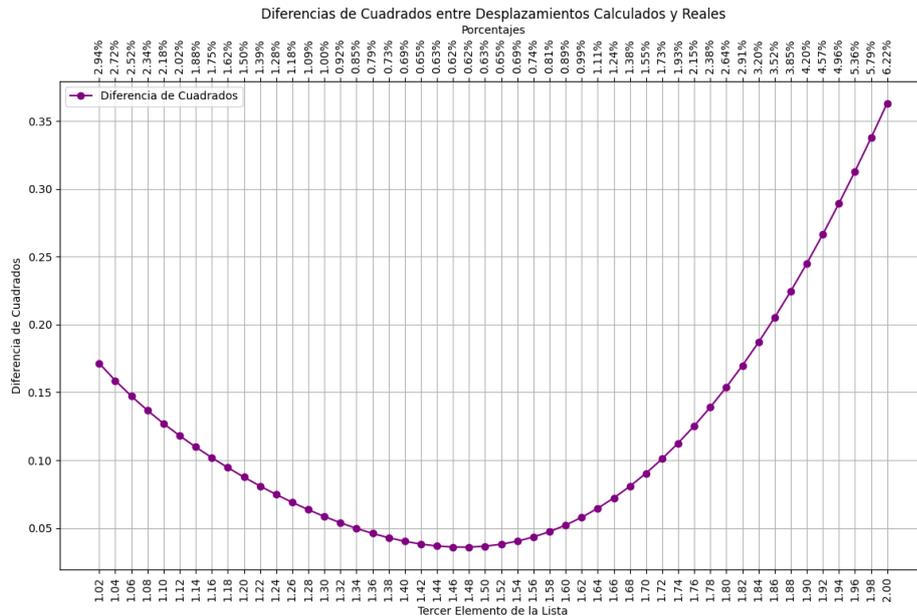
$$Df = (VC1 - VR1)^2 + (VC2 - VR2)^2$$

Estas diferencias de cuadrados se usan para medir la discrepancia entre los valores reales. En el contexto del gráfico

- El eje X inferior muestra el tercer elemento de los valores calculados }
- El eje y muestra las diferencias de cuadrados entre los valores calculados y los valores reales

En la gráfica a continuación, las abscisas representan los desplazamientos y las ordenadas los anchos equivalentes. Los puntos indican los diferentes valores de w en relación con los desplazamientos, mientras que la línea completamente horizontal muestra los desplazamientos obtenidos en el programa usando la mampostería. El marcador en forma de estrella señala el punto donde se logra la mayor aproximación

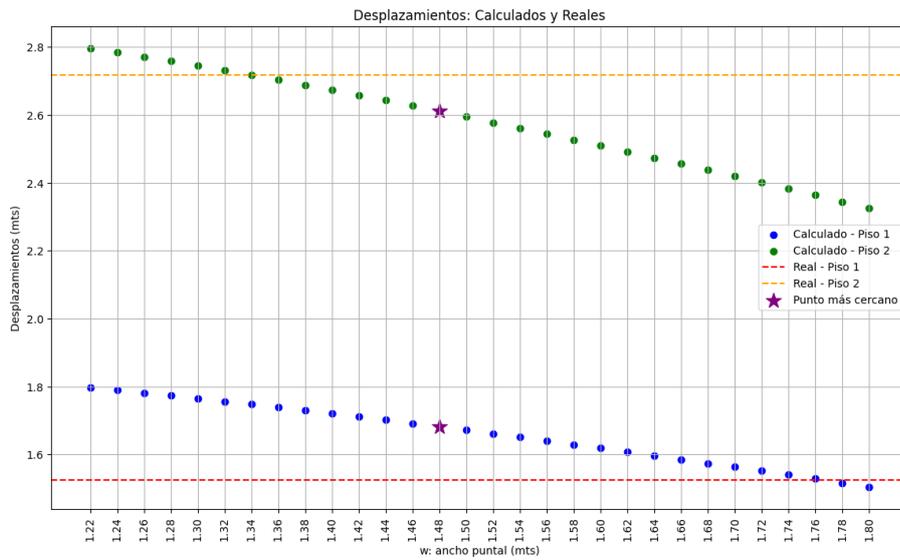
Ilustración 21. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Holmes



Fuente: Elaboración propia

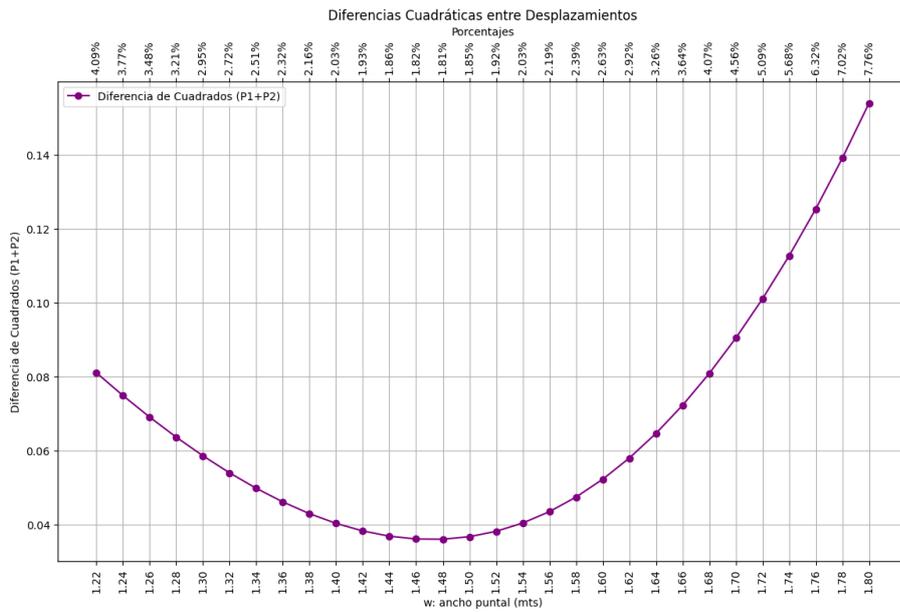
En la gráfica a continuación, las abscisas representan los desplazamientos y las ordenadas los anchos equivalentes. Los puntos indican los diferentes valores de w en relación con los desplazamientos, mientras que la línea completamente horizontal muestra los desplazamientos obtenidos en el programa usando la mampostería. El marcador en forma de estrella señala el punto donde se logra la mayor aproximación.

Ilustración 22. Valor más aproximado al desplazamiento según Holmes



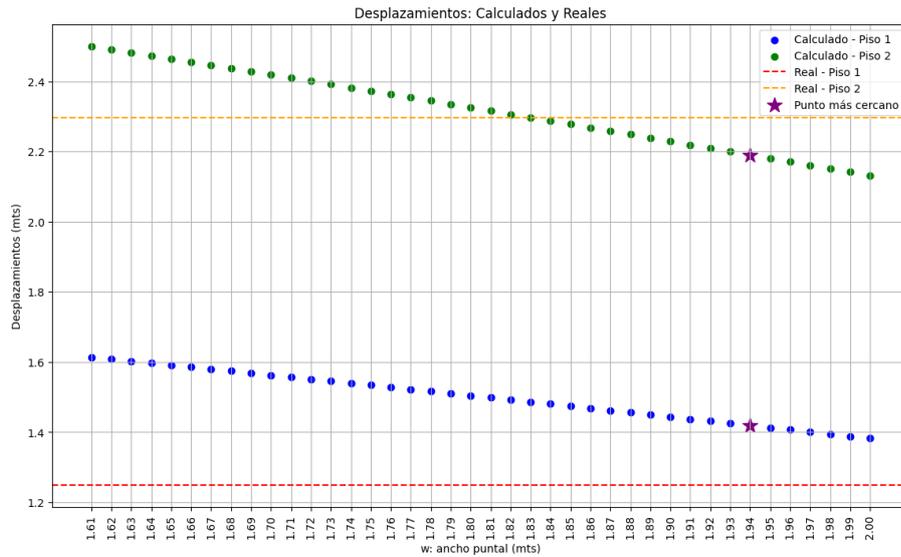
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23 Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Bazán y Meli



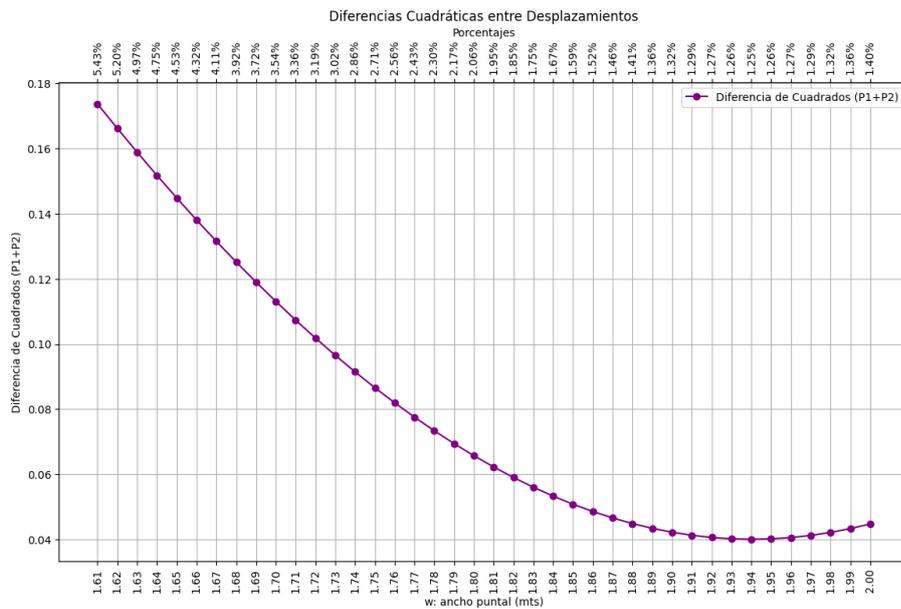
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24. Valor más aproximado al desplazamiento según Bazán y Meli



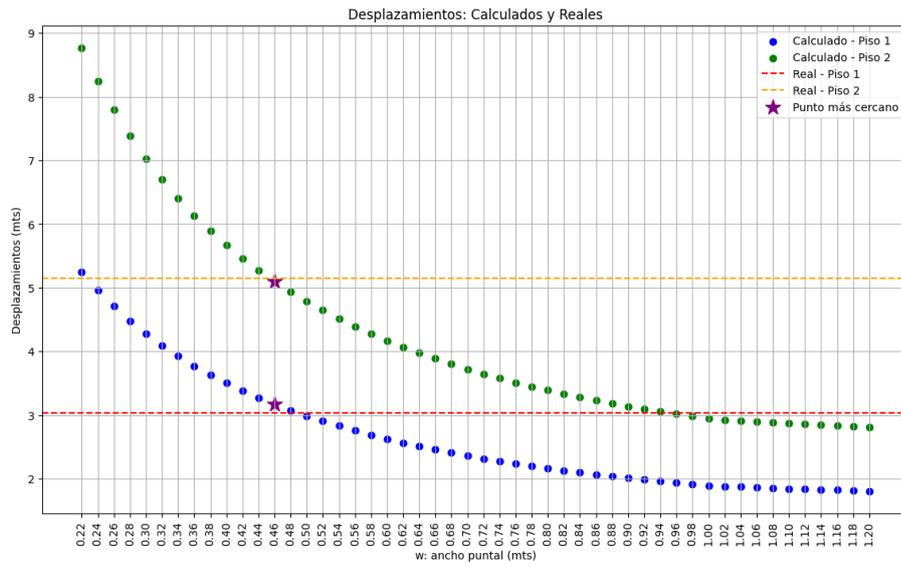
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Fema



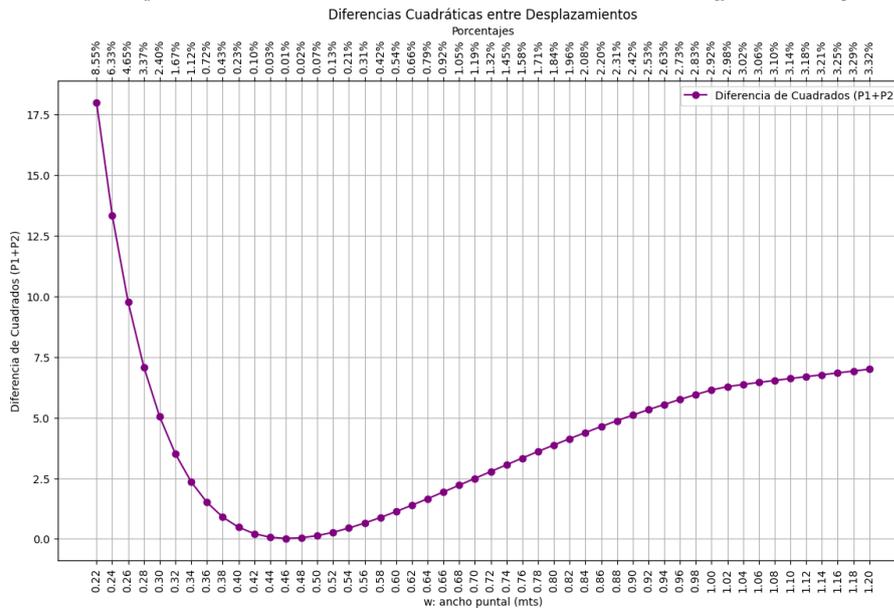
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26. Valor más aproximado al desplazamiento según Fema



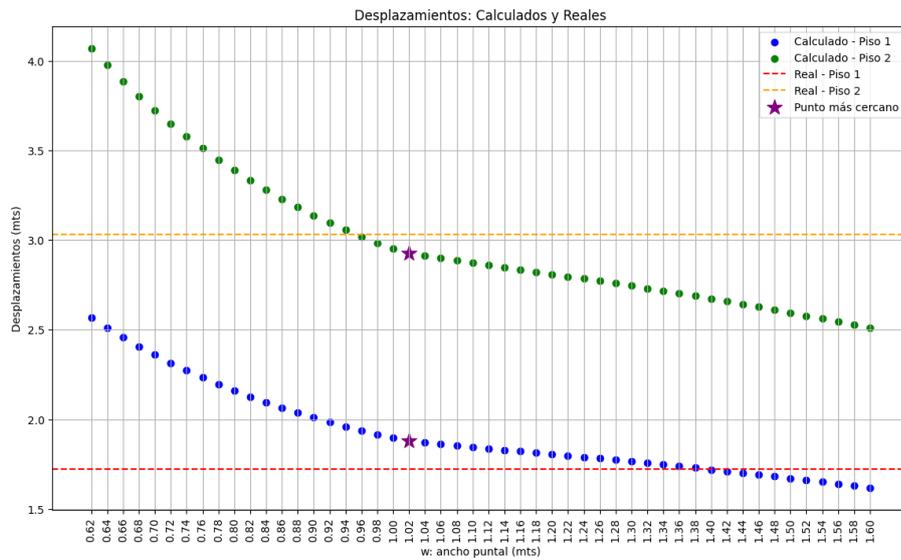
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Liaw y Kwan



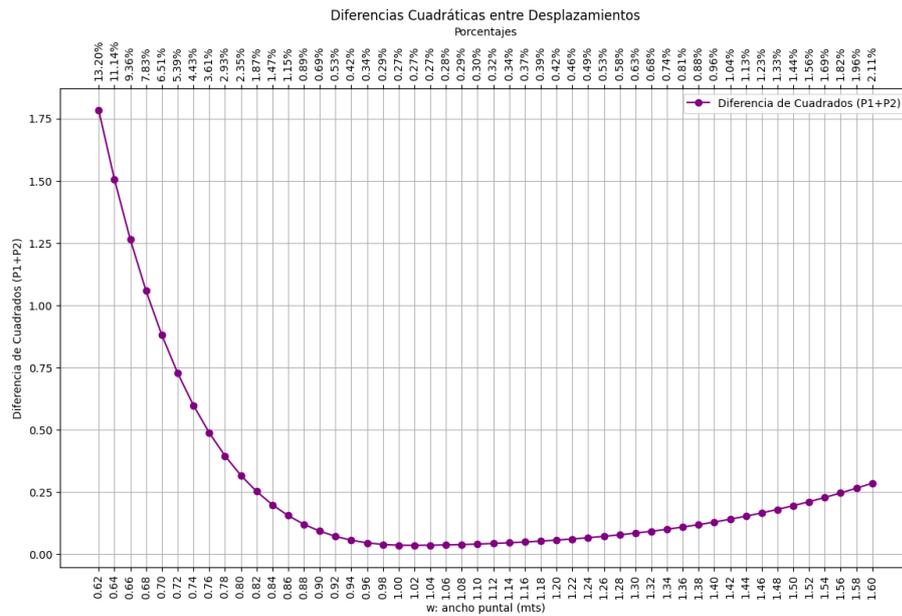
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 28. Valor más aproximado al desplazamiento según Liaw y Kwan



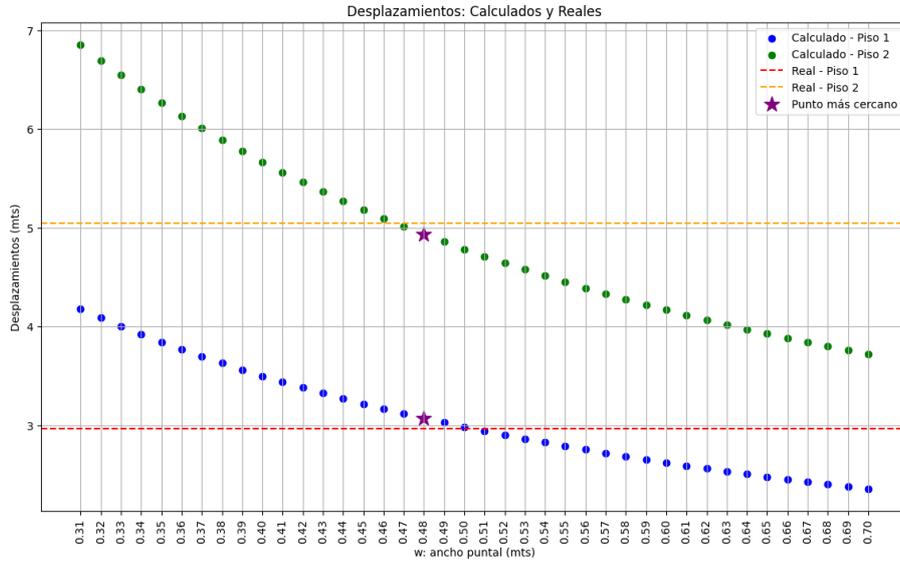
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 29. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Mainstone



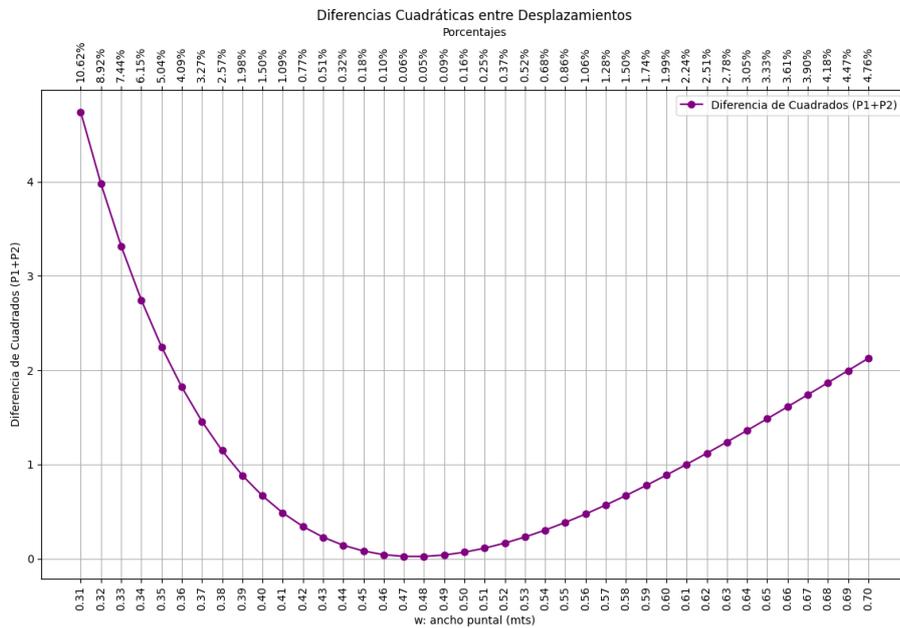
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 30. Valor más aproximado al desplazamiento según Mainstone



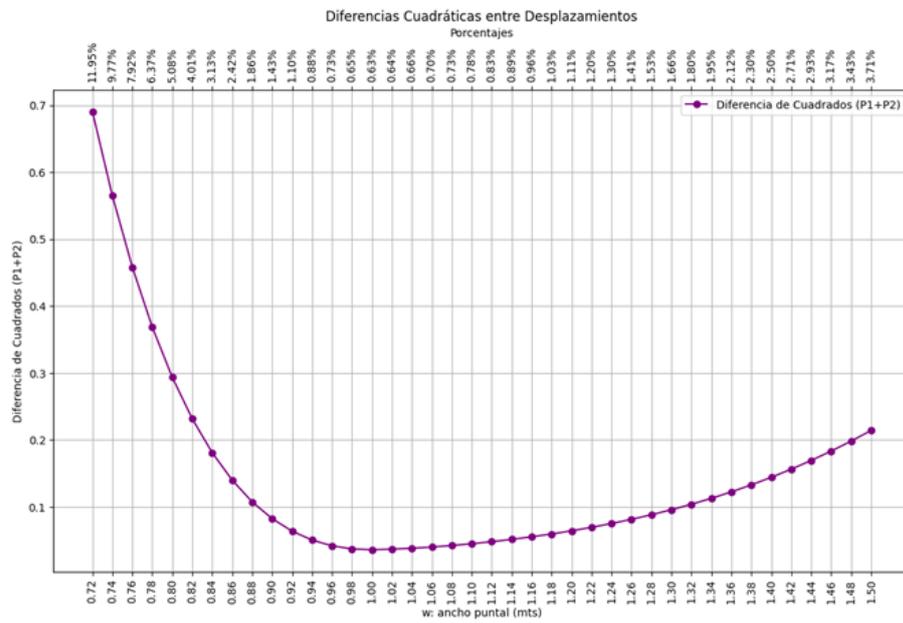
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 31. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Mainstone



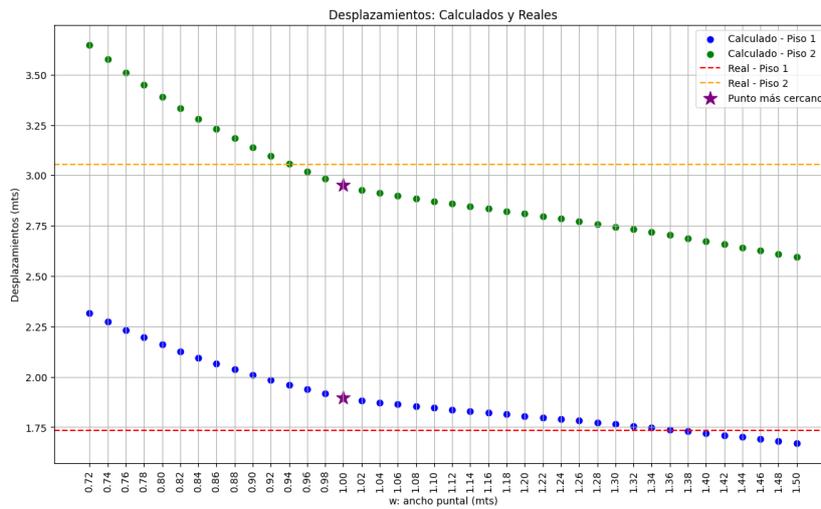
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 32. Diferencia de cuadrados de modelo iterado según Paulay & Priestley



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 33. Valor más aproximado al desplazamiento según Paulay & Priestley

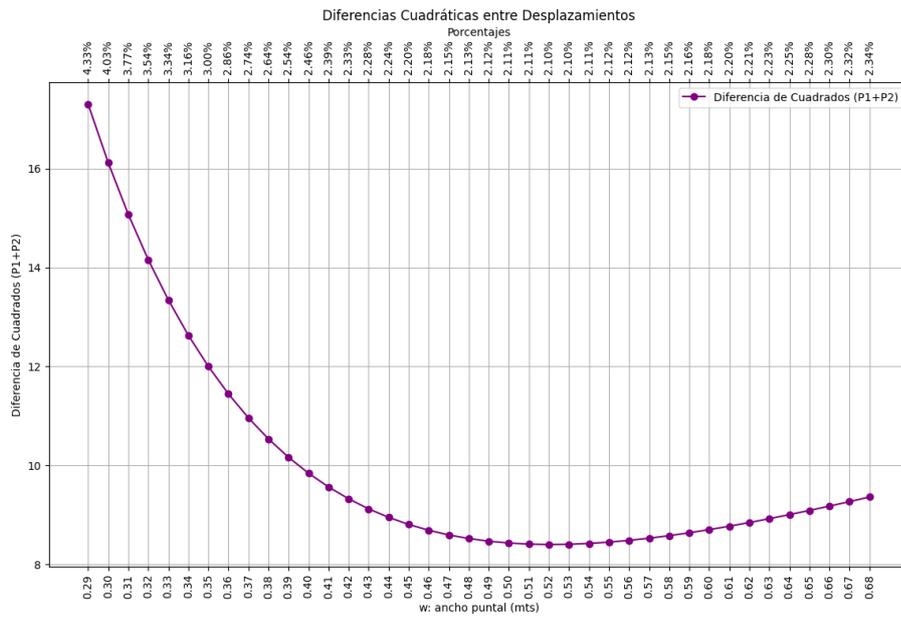


Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Modelo real

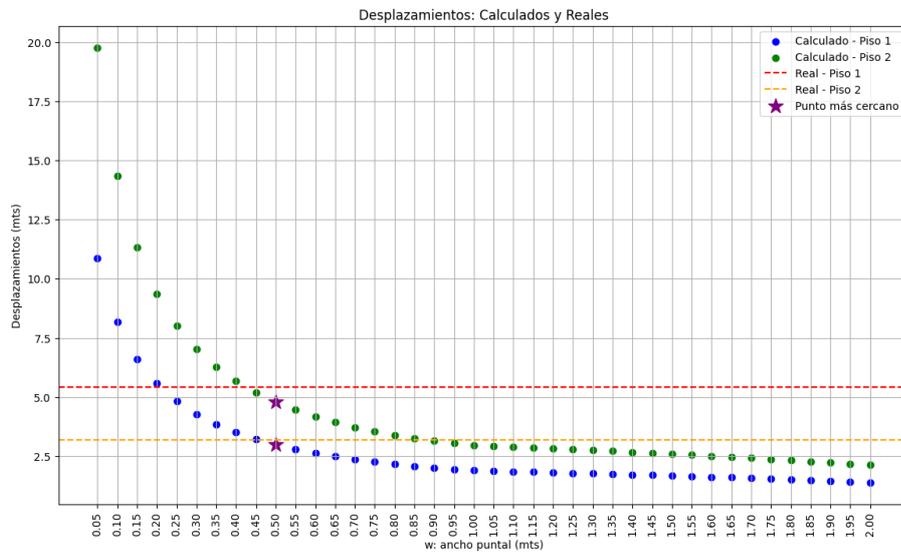
Para el modelo real se utiliza un tamaño de paso de 0.05 a lo largo de todo el desplazamiento en el sentido de las abscisas.

Ilustración 34. Desplazamientos calculados y reales



Fuente: Elaboración propia

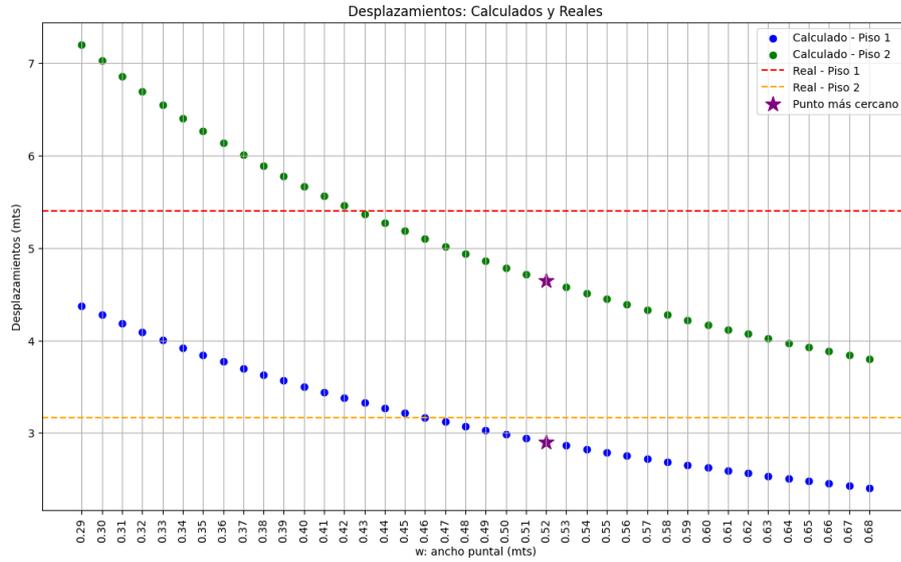
Ilustración 35. Desplazamiento calculados y reales



Fuente: Elaboración propia

Ya conociendo la zona en donde se encuentra el valor optimo se procede a reducir la zona a analizar con un tamaño de paso de 1 centímetro, empezando de 29 cm hasta 0.68 centímetros.

Ilustración 36. Desplazamientos calculados en primer y segundo piso

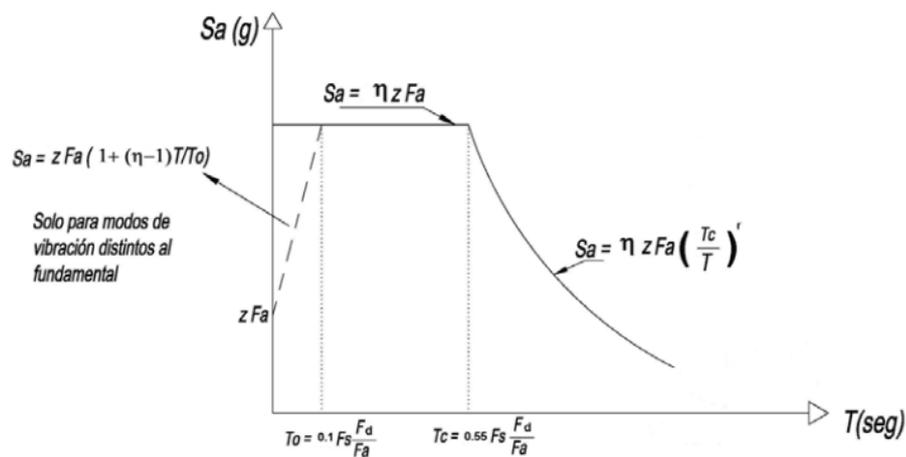


Fuente: Elaboración propia

4.3 Respuesta Espectral

Para evaluar la capacidad de la edificación de resistir un sismo, se empleará un espectro de respuesta elástica que representa las características sísmicas de un suelo tipo D, típico de suelos blandos como los de Machala, Estos suelos suelen tener una alta proporción de finos (arcillas y limos) y menor contenido de arenas y gravas.

Ilustración 37. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones



Fuente: Norma Ecuatoriana de la construcción- Peligro Sísmico

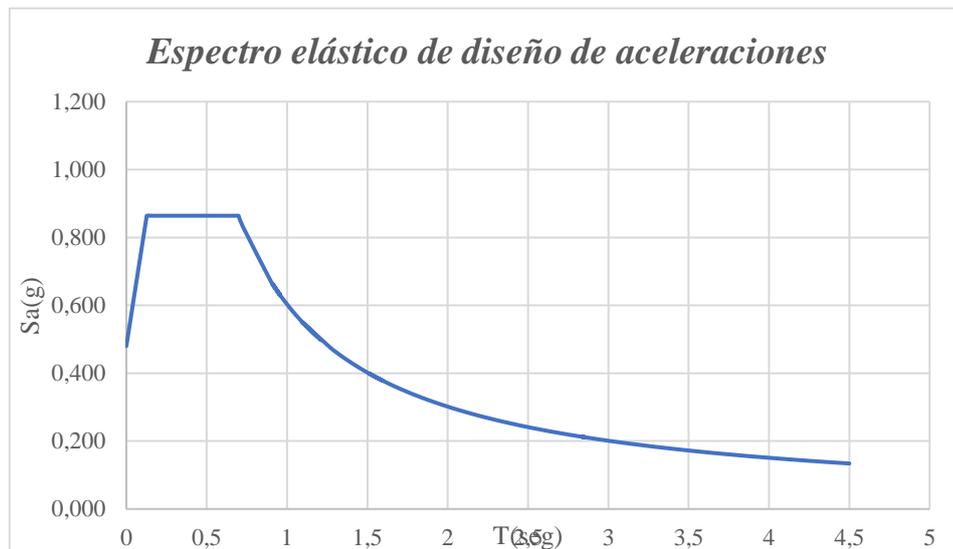
Los parámetros de este espectro se obtuvieron a partir de los coeficientes de perfil de suelo correspondientes.

Tabla 4. Perfiles de suelo

CIUDAD	MACHALA
TIPO DE SUELO	D
Z	0.4 g
n	1.80 Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)
Fa	1.2
Fd	1.19
Fs	1.28

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 38. Espectro elástico de diseño de aceleraciones suelo tipo D



Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos se puede realizar análisis dinámico espectral edificio aporticado.

4.4 Análisis Modal

El análisis se inicia con la generación de modelos estructurales reticulares. Para cada modelo, se ensambla la matriz de rigidez [K], considerando la condición de rigidez axial. Seguidamente, se construye la matriz de masa [M], incluyendo cargas gravitacionales, vivas y muertas. A través del análisis modal, se obtienen las frecuencias naturales (ω) y los modos de vibración correspondientes, resolviendo el problema de valores propios generalizado $[K]x = \omega^2[M]x$.

$$[[k] - \omega^2[m]]\{\phi\} = 0$$

Para determinar el segundo parámetro, el periodo, se utiliza la siguiente expresión:

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}$$

Los modos naturales de vibración se obtienen mediante la siguiente formula, este proceso se realiza respectivamente para cada modo. Para determinar la matriz modal normalizada el nivel de la azotea equivale a la unidad.

$$[[k] - \omega^2[m]]\{\phi\} = 0$$

Posteriormente, se calculan los factores de participación y los porcentajes de masa para cada modo de vibración. Además, se determinan los parámetros característicos de los osciladores equivalentes asociados a cada modo.

Masa participante (L_i^*):

$$L_1^* = \sum M_i \phi_i$$

Masa generalizada (M_i^*):

$$M_i^* = \sum M_i \phi_i^2$$

Factor de participación:

$$\frac{L_i^*}{M_i^*}$$

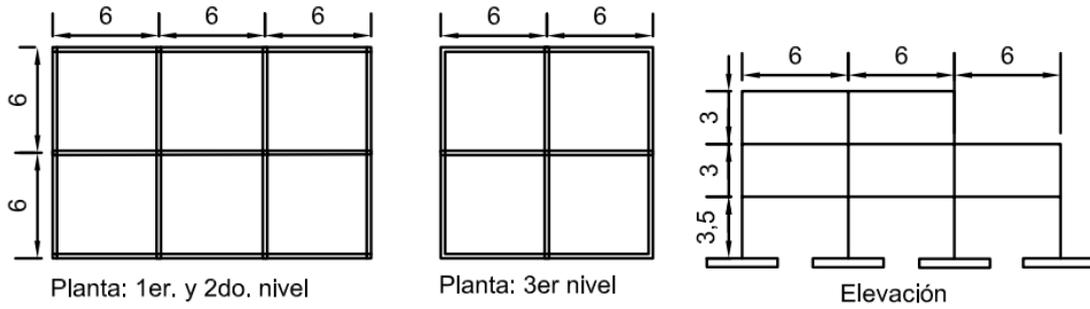
Masa efectiva:

$$M_{\text{Effectiva } i} = \frac{L_i^{*2}}{M_i^*}$$

% Masa efectiva:

$$\% M_{\text{Effectiva } i} = \frac{M_{\text{Effectiva } i}}{M_{\text{Total sistema}}}$$

4.4.1 Analisis modal sistema aporticado



a) Formula Matricial:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$[m] * \{\dot{q}_1\} + [k] * \{q\} = \{0\}$$

b) Matriz Rigidez:

$$k: \begin{pmatrix} 21810.5 & -6146.14 & -13940.7 \\ -6146.14 & 21899.6 & -14035.3 \\ -13940.7 & -14035.3 & 26524.1 \end{pmatrix} \frac{T}{m}$$

c) Matriz Masa:

$$m: \begin{pmatrix} 0.27901 & 0 & 0 \\ 0 & 0.27901 & 0 \\ 0 & 0 & 0.12539 \end{pmatrix} \frac{T \cdot \text{seg}^2}{m}$$

Ahora ya con las dos matrices hay que resolver el problema de valores propios:

$$[k] - \omega^2 * [m] \{\emptyset\} = 0$$

d) Frecuencias.

$$\left| \begin{bmatrix} 21810.5 & -6146.14 & -13940.7 \\ -6146.14 & 21899.6 & -14035.3 \\ -13940.7 & -14035.3 & 26524.1 \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} 0.27901 & 0 & 0 \\ 0 & 0.27901 & 0 \\ 0 & 0 & 0.12539 \end{bmatrix} \right| = 0$$

e) **Matriz frecuencias naturales**

$$\omega^2 = \begin{bmatrix} 2731.79 & 0 & 0 \\ 0 & 100358.17 & 0 \\ 0 & 0 & 265104.28 \end{bmatrix} \text{seg}^{-2}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 52.27 & 0 & 0 \\ 0 & 316.79 & 0 \\ 0 & 0 & 514.88 \end{bmatrix} \text{seg}^{-1}$$

f) Periodos. $T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}$

$$T_1 = 0.12 \text{ seg}$$

$$T_2 = 0.02 \text{ seg}$$

$$T_3 = 0.012 \text{ seg}$$

g) **Modos naturales de vibración.**

$$[[k] - \omega^2[m]]\{\phi\} = 0$$

Para $\omega_1^2 = 2731.79 (\text{rad}/\text{seg})^2$

$$\begin{bmatrix} 21810.5 & -6146.14 & -13940.7 \\ -6146.14 & 21899.6 & -14035.3 \\ -13940.7 & -14035.3 & 26524.1 \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} 0.27901 & 0 & 0 \\ 0 & 0.27901 & 0 \\ 0 & 0 & 0.12539 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = 0$$

Para $\omega_2^2 = 100358.17 (\text{rad}/\text{seg})^2$

$$\begin{bmatrix} 21810.5 & -6146.14 & -13940.7 \\ -6146.14 & 21899.6 & -14035.3 \\ -13940.7 & -14035.3 & 26524.1 \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} 0.27901 & 0 & 0 \\ 0 & 0.27901 & 0 \\ 0 & 0 & 0.12539 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = 0$$

Para $\omega_3^2 = 265104.28 (\text{rad}/\text{seg})^2$

$$\begin{bmatrix} 21810.5 & -6146.14 & -13940.7 \\ -6146.14 & 21899.6 & -14035.3 \\ -13940.7 & -14035.3 & 26524.1 \end{bmatrix} - w^2 \begin{bmatrix} 0.27901 & 0 & 0 \\ 0 & 0.27901 & 0 \\ 0 & 0 & 0.12539 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = 0$$

h) Se presenta ahora la matriz modal normalizada :

$$[\phi_N] \begin{bmatrix} 0.9357 & -234.4787 & -0.2388 \\ 0.9361 & 233.9003 & -0.2414 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

i) Determinación de Factores de Participación y Masas Efectivas.

Para cada modo se calcula los parámetros generalizados de sus respectivos osciladores equivalentes.

Modo 1:

Masa Generalizada:

$$M_1^* = \sum M_i \phi_i^2$$

$$M_1^* = (0.279097)(0.937)^2 + (0.279097)(0.9361)^2 + (0.12539)(1)^2$$

$$M_1^* = 0.6141$$

Masa participante:

$$L_1^* = \sum M_i \phi_i$$

$$L_1^* = (0.279097)(0.937) + (0.279097)(0.937) + (0.12539)(1)$$

$$L_1^* = 0.6476$$

Factor de participación:

$$\frac{L_1^*}{M_1^*} = \frac{0.6476}{0.6141} = 1.0545$$

Masa efectiva:

$$M_{\text{Efectiva1}} \frac{L_1^{*2}}{M_1^*} = \frac{(0.6476)^2}{0.6141} = 0.6829$$

%Masa efectiva:

$$\%M_{\text{Efectiva1}} \frac{M_{\text{Efectiva 1}}}{M_{\text{Total sistema}}} = \frac{0.6829}{0.6834} = 99.926$$

Modo 2:

Masa Generalizada:

$$M_2^* = \sum M_i \phi_i^2$$

$$M_2^* = (0.279097)(-234.4787)^2 + (0.279097)(233.9003)^2 + (0.12539)(1)^2$$

$$M_2^* = 30604.6141$$

0.15

Masa participante:

$$L_2^* = \sum M_i \phi_i$$

$$L_2^* = (0.279097)(-234.4787) + (0.279097)(233.9003) + (0.12539)(1)$$

$$L_2^* = -0.0351$$

Factor de participación:

$$\frac{L_2^*}{M_2^*} = \frac{-0.0351}{30604.6141} = -1.17 \times 10^{-6}$$

Masa efectiva:

$$M_{\text{Efectiva1}} \frac{L_2^{*2}}{M_2^*} = \frac{(-0.0351)^2}{30604.6141} = 4.2322 \times 10^{-8}$$

%Masa efectiva:

$$\%M_{\text{Efectiva2}} \frac{M_{\text{Efectiva 2}}}{M_{\text{Total sistema}}} = \frac{4.2322 \times 10^{-8}}{0.6834} = 6.1918 \times 10^{-6}$$

Modo 3:

Masa Generalizada:

$$M_3^* = \sum M_i \phi_i^2$$

$$M_3^* = (0.279097)(-0.2388)^2 + (0.279097)(-0.2414)^2 + (0.12539)(1)^2$$

$$M_3^* = 0.1576$$

Masa participante:

$$L_3^{*2} = \sum M_i \phi_i$$

$$L_3^{*2} = (0.279097)(-0.2388) + (0.279097)(-0.2414) + (0.12539)(1)$$

$$L_3^{*2} = -0.0086$$

Factor de participación:

$$\frac{L_3^{*2}}{M_3^*} = \frac{-0.0086}{0.1576} = -0.0545$$

Masa efectiva:

$$M_{\text{Efectiva1}} \frac{L_3^{*2}}{M_3^*} = \frac{(-0.0086)^2}{0.1576} = 0.0005$$

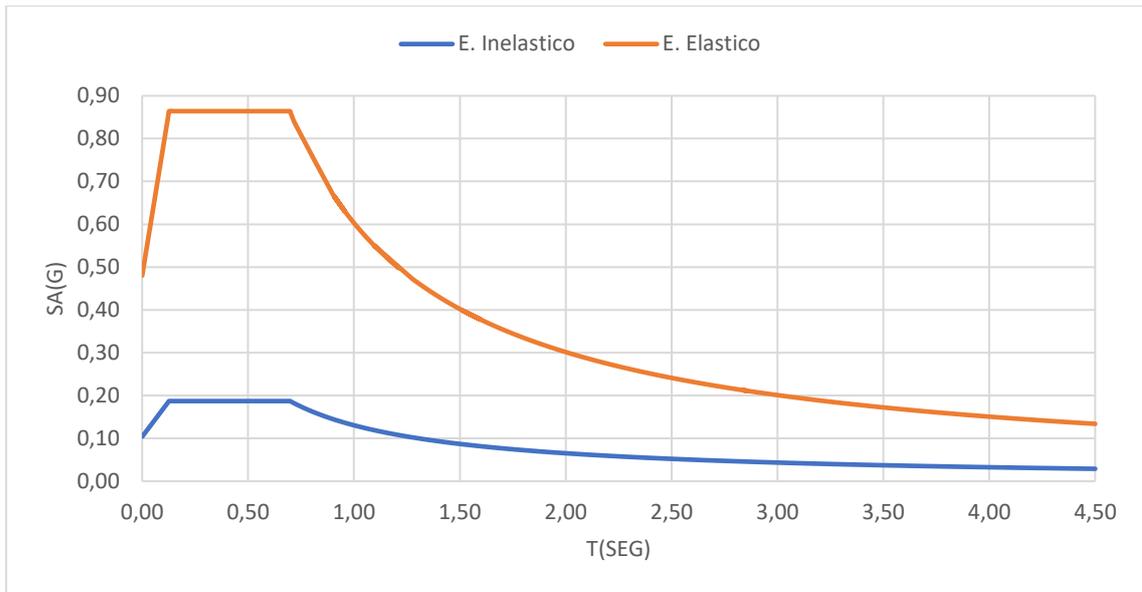
%Masa efectiva:

$$\%M_{\text{Efectiva3}} \frac{M_{\text{Efectiva 3}}}{M_{\text{Total sistema}}} = \frac{0.0005}{0.6834} = 0.07316$$

RESUMIENDO:

FACTOR MODAL	MODO 1	MODO 2	MODO 3
Masa participante	0.647617	-0.0359896	-0.008593
Masa Generalizada	0.614120	30604.61495	0.1575612
Factor de Participación	1.05454	-1.1759×10^{-06}	-0.0545435
Masa efectiva	0.6829412	4.2322×10^{-8}	0.0004687
% Masa Efectiva	99.9314	6.1918×10^{-6}	0.0731635

ANALISIS DINAMICO ESPECTRAL EDIFICIO APORTICADO X-X.



Suelo	D
z	0,4
Fa	1,2
Fd	1,19
Fs	1,28
To	0,127
Tc	0,698
TL	2,856

η	1,8
r	1
I =	1,3
R =	6
$\emptyset P =$	1
$\emptyset E =$	1

$$T_0 = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_0 = 0.127s$$

$$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_0 = 0.698s$$

Calculo S_a para T: 0.1202

$$S_a = z * F_a \left(1 + (n - 1) \frac{T}{T_0} \right)$$

$$S_a = 0.8434$$

Calculo S_a para T: 0.0198

$$S_a = z * F_a \left(1 + (n - 1) \frac{T}{T_0} \right)$$

$$S_a = 0.5399$$

Calculo S_a para T: 0.0122

$$S_a = z * F_a \left(1 + (n - 1) \frac{T}{T_0} \right)$$

$$S_a = 0.5169$$

j) Sa y Sd por casa modo

Periodos	w	W ²	Sa(g)	Sa	Sd
0.1202	52.2601	2731.1158	0.1827	179.2647	0.0656
0.0198	316.7448	100327.2411	0.1169	114.7557	0.0011
0.0122	514.866	265087.5986	0.1119	109.867	0.0004

k) RESPUESTA ESPECTRAL PARA CADA MODO.

Modo de vibración 1

x (cm)	a(cm/seg ²)	F(Ton)	
0.064765		176.8814	49.3670
0.064793		176.9570	49.3878
0.069216		189.0365	23.7032

Modo de vibración 2

x (cm)	a(cm/seg ²)	F(Ton)
0	0.0328	0.009168
0	-0.03276	-0.009145
0	-0.000141	-1.8x10 ⁻⁵

Modo de vibración 3

x (cm)	a(cm/seg ²)	F(Ton)
5.0x10 ⁻⁶	1.4327	0.3998
5.0x10 ⁻⁶	1.4477	0.404056
-2.3x10 ⁻⁵	-5.9997	-0.752307

l) Cortante Vasal por piso

Piso	Vc basal
1	122.45817
2	5.0x10 ⁻⁶
3	0.051622

m) Desplazamientos (SRSS)

X1(cm)	x2(cm)	x3(cm)	SRSS(cm)
0.07269	0	6.0x10 ⁻⁶	0.07269
0.072721	0	6.0x10 ⁻⁶	0.72721
0.077685	0	-2.6.0x10 ⁻⁵	0.077685

n) Desplazamientos (SRSS)

a1(cm/seg ²)	a2(cm/seg ²)	a3(cm/seg ²)	SRSS(cm/seg ²)
198.573	0.036601	1.65748	198.58028
198.658	-0.03651	1.675526	198.66532
212.219	-0.000156	-6.94072	212.33253

o) Desplazamientos de piso

Desplazamientos de piso MODO 1

Pisos	Desplazamientos	Desplazamientos por piso	H(cm)	Deriva(%)
1	0.064765	0.064765	350	0.018504
2	0.064793	2.8 x10 ⁻⁵	300	9.33333
3	0.069216	0.004423	300	0.001474

Desplazamientos de piso MODO 2

Pisos	Desplazamientos	Desplazamientos por piso	H(cm)	Deriva(%)
1	0	0	350	0
2	0	0	300	0
3	0	0	300	0

Desplazamientos de piso MODO 2

Pisos	Desplazamientos	Desplazamientos por piso	H(cm)	Deriva(%)
1	5.0 x10 ⁻⁶	5.0 x10 ⁻⁶	350	1.428571
2	5.0 x10 ⁻⁶	0	300	0
3	-2.3 x10 ⁻⁵	2.8 x10 ⁻⁵	300	9.33333

p) Derivas de respuesta en X-X usando criterio SRSS

Desplazamiento de entrepisos

Pisos: 1	Pisos: 2	Pisos: 3	Deriva(%)
0.064765	0	5.0 x10 ⁻⁶	0.064765
2.8 x10 ⁻⁵	0	300	2.8 x10 ⁻⁵
0.004423	0	2.8 x10 ⁻⁵	0.004423

q) Derivas de entre piso

Piso:1	Piso: 2	Piso: 3	Deriva Elastica (SRSS)	Deriva Inelastica (SRSS)
0.018504	0	1.428571	1.428691	6.429101
9.33333	0	0	9.33333	41.99999
0.001474	0	9.33333	9.33333	41.99999

r) Fuerzas de piso y acciones en la base

Piso : 3	23.70328	-1.8 x10 ⁻⁵	-0.752307
Piso : 2	49.3878	-0.009145	0.404056
Piso : 1	49.36707	0.009168	0.399873
Vc Vasal	122.4581	5.0 x10 ⁻⁶	0.051622
Modales	Modo 1	Modo 2	Modo 3

4.5 Determinación de ancho equivalente

Resultados de w aplicando expresiones empíricas de varios autores:

Tabla 5. Resumen de resultados de w

Autores	Error	W
Holmes	1.81	1.48
Bazan y Meli	1.25	1.94
Fema	0.01	0.46
Liaw y kwan	0.27	1.02
Mainstone	0.00	0.48
Paulay & Priestley	0.63	1.00
FEM	2.10	0.52

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los anchos equivalentes de puntales calculados con fórmulas empíricas y los valores reales, se observa una variabilidad en los porcentajes de error entre las diferentes expresiones.

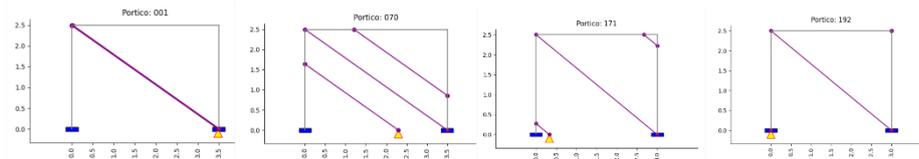
4.5.1 Determinación de ancho equivalente óptimo

Para las siguientes tablas, se presentan 40 datos por modelo correspondientes a las dimensiones de pórticos, así como el ancho equivalente óptimo, que muestra la menor diferencia en desplazamientos. Las deformaciones en la columna "rigidez" indican las deformaciones calculadas mediante el método de la rigidez, mientras que las deformaciones obtenidas por el software incluyen el modelado de la mampostería. En el método de la rigidez, se inserta directamente el puntal equivalente que representa la rigidez aportada por la mampostería. En la columna de error mínimo, se utilizó la diferencia de cuadrados.

Con estos datos de longitud horizontal y vertical, se iteró cada medio centímetro hasta encontrar el valor w que mejor se adapte, es decir, el que presente la menor diferencia en desplazamientos. De este modo, se obtuvo un w para cada dimensión L_x y L_y .

Posteriormente, los datos obtenidos se graficaron en 3D para derivar ecuaciones que permitan predecir el ancho w para datos no incluidos en el modelo inicial. Las ecuaciones derivadas son de primer, segundo y tercer grado, cada una se acerca más al valor real de w ; pero, a medida que aumenta el grado de la ecuación, aumenta su complejidad y longitud, dificultando introducir datos manualmente.

Ilustración 39. pórticos iteraciones 1 piso



Fuente: Elaboración propia

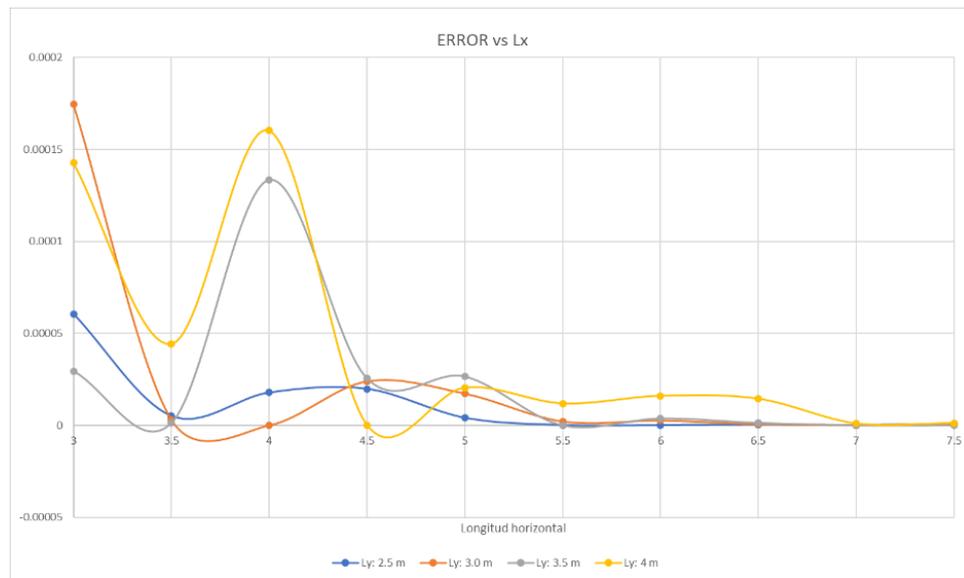
Tabla 6. Pórticos simples de 1 piso

Numero portico	Longitudes			Desplazamientos (cm)		Diferencia en pisos (cm)	Error minimo
	Horizontal	Vertical	ancho equivalente	Rigidez	Software		
	Lx	Ly	w	P1	P1	P1	
1	3	2.5	0.34	1.130914	1.1387	0.007786	6.06218E-05
2	3.5	2.5	0.39	1.037141	1.0394	0.002259	5.10308E-06
3	4	2.5	0.46	0.950181	0.9544	0.004219	1.78E-05
4	4.5	2.5	0.55	0.876549	0.881	0.004451	1.98114E-05
5	5	2.5	0.67	0.815387	0.8174	0.002013	4.05217E-06
6	5.5	2.5	0.86	0.762103	0.7618	0.000303	9.1809E-08
7	6	2.5	1.23	0.712021	0.7123	0.000279	7.7841E-08
8	6.5	2.5	1.63	0.668695	0.6693	0.000605	3.66025E-07
9	7	2.5	1.96	0.630689	0.631	0.000311	9.6721E-08
10	7.5	2.5	2.25	0.596056	0.5969	0.000844	7.12336E-07
11	3	3	0.36	1.50331	1.4901	0.01321	0.000174504
12	3.5	3	0.4	1.347969	1.3462	0.001769	3.12936E-06
13	4	3	0.45	1.226287	1.2262	0.000087	7.569E-09
14	4.5	3	0.51	1.129593	1.1247	0.004893	2.39414E-05
15	5	3	0.59	1.042262	1.0381	0.004162	1.73222E-05
16	5.5	3	0.7	0.963464	0.962	0.001464	2.1433E-06
17	6	3	0.86	0.895788	0.8974	0.001612	2.59854E-06
18	6.5	3	1.11	0.841545	0.8407	0.000845	7.14025E-07
19	7	3	1.47	0.791093	0.7907	0.000393	1.54449E-07
20	7.5	3	1.81	0.74514	0.7462	0.00106	1.1236E-06
21	3	3.5	0.41	1.836668	1.8421	0.005432	2.95066E-05
22	3.5	3.5	0.43	1.651075	1.6522	0.001125	1.26562E-06
23	4	3.5	0.46	1.508046	1.4965	0.011546	0.00013331
24	4.5	3.5	0.51	1.37166	1.3666	0.00506	2.56036E-05
25	5	3.5	0.57	1.262055	1.2569	0.005155	2.6574E-05
26	5.5	3.5	0.65	1.163283	1.1631	0.000183	3.3489E-08
27	6	3.5	0.75	1.082047	1.0801	0.001947	3.79081E-06
28	6.5	3.5	0.89	1.011068	1.0099	0.001168	1.36422E-06
29	7	3.5	1.11	0.947926	0.9482	0.000274	7.5076E-08
30	7.5	3.5	1.42	0.893207	0.8935	0.000293	8.5849E-08
31	3	4	0.47	2.179155	2.1911	0.011945	0.000142683
32	3.5	4	0.47	1.961754	1.9551	0.006654	4.42757E-05
33	4	4	0.49	1.776459	1.7638	0.012659	0.00016025
34	4.5	4	0.53	1.606172	1.6058	0.000372	1.38384E-07
35	5	4	0.58	1.468672	1.4732	0.004528	2.05028E-05
36	5.5	4	0.64	1.357052	1.3605	0.003448	1.18887E-05
37	6	4	0.72	1.256495	1.2605	0.004005	1.604E-05
38	6.5	4	0.82	1.173199	1.177	0.003801	1.44476E-05
39	7	4	0.95	1.104694	1.1037	0.000994	9.88036E-07
40	7.5	4	1.16	1.037822	1.0389	0.001078	1.16208E-06

Fuente: Elaboración propia

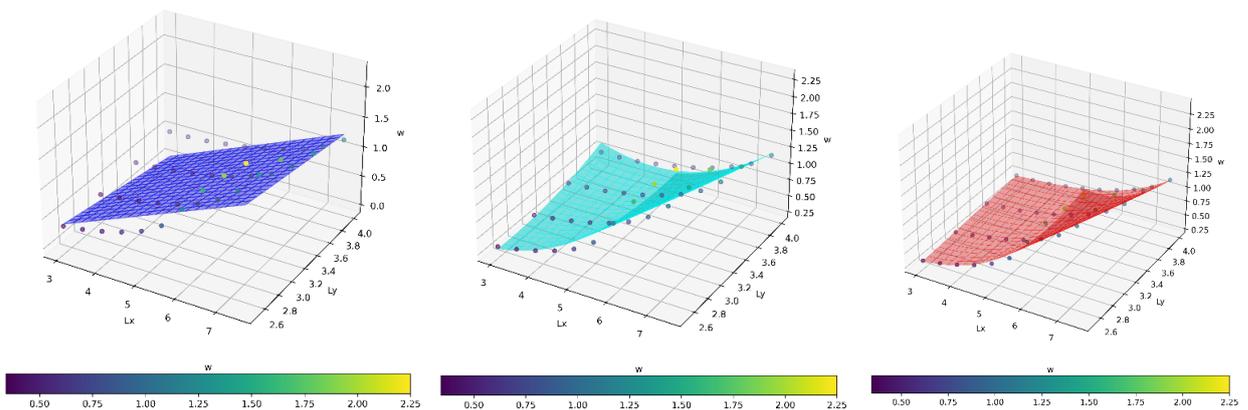
Se realizó un análisis numérico de pórticos planos de un piso con el objetivo de determinar el ancho equivalente óptimo (w óptimo). Para ello se utilizó tanto el método de la rigidez como un software. Posteriormente, se cuantificó el error mínimo entre los resultados obtenidos por ambos métodos, validando así la precisión del valor de w óptimo determinado.

Ilustración 40. Error vs Lx



Fuente: Elaboración propia

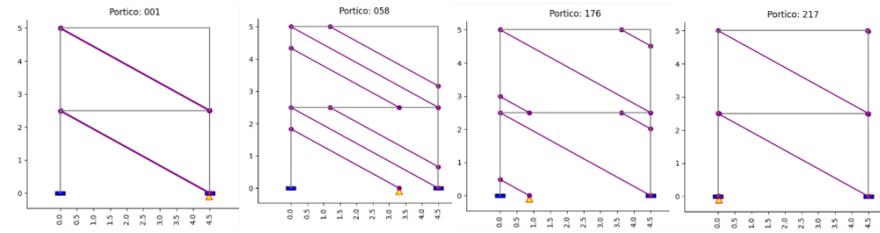
Ilustración 41. Graficas de primer, segundo y tercer grado de (w)optimo



Fuente: Elaboración propia

Dos pisos

Ilustración 42. Iteraciones para pórtico 2 pisos



Fuente: Elaboración propia

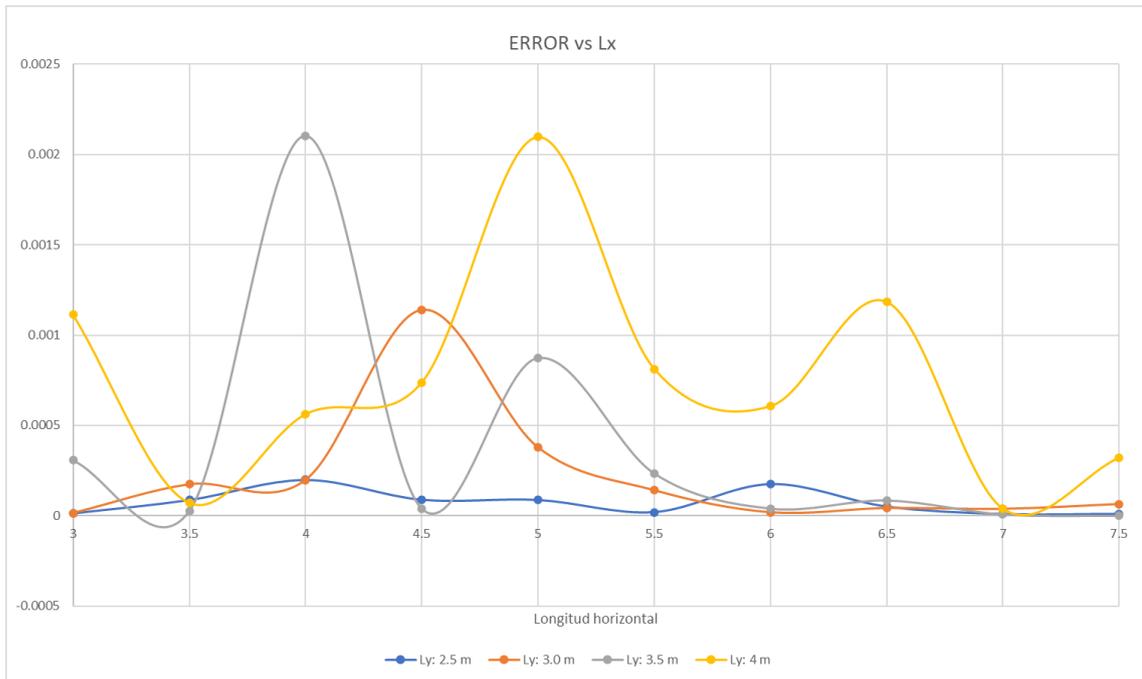
Tabla 7. Pórticos simples de dos pisos

Numero portico	Longitudes			Desplazamientos (cm)				Diferencia en pisos (cm)		Error mínimo
	Horizontal	Vertical	ancho equivalente	Rigidez		Software				
				Lx	Ly	w	P1	P2	P1	
1	3	2.5	0.5	2.270075	3.750256	2.2915	3.7542	0.021425	0.003944	1.2145E-05
2	3.5	2.5	0.57	2.053107	3.381878	2.0812	3.392	0.028093	0.010122	8.71008E-05
3	4	2.5	0.65	1.889475	3.101624	1.9042	3.0877	0.014725	0.013924	0.000199963
4	4.5	2.5	0.75	1.739958	2.839635	1.7539	2.8304	0.013942	0.009235	8.89132E-05
5	5	2.5	0.86	1.618647	2.620322	1.6249	2.611	0.006253	0.009322	8.76302E-05
6	5.5	2.5	0.99	1.512711	2.417574	1.5133	2.422	0.000589	0.004426	1.95864E-05
7	6	2.5	1.18	1.422319	2.241638	1.4147	2.255	0.007619	0.013362	0.000176995
8	6.5	2.5	1.81	1.323862	2.118885	1.3292	2.1118	0.005338	0.007085	5.06018E-05
9	7	2.5	2.06	1.248193	1.988431	1.2535	1.9855	0.005307	0.002931	8.75655E-06
10	7.5	2.5	2.3	1.18111	1.876289	1.1859	1.8732	0.00479	0.003089	9.6842E-06
11	3	3	0.53	2.962416	4.803257	2.9944	4.8081	0.031984	0.004843	1.45296E-05
12	3.5	3	0.58	2.666521	4.320271	2.6952	4.3079	0.028679	0.012371	0.000174068
13	4	3	0.65	2.418022	3.909847	2.4486	3.8967	0.030578	0.013147	0.000198303
14	4.5	3	0.73	2.224039	3.587636	2.2424	3.5542	0.018361	0.033436	0.001140624
15	5	3	0.83	2.044531	3.284414	2.0677	3.2655	0.023169	0.018914	0.000378334
16	5.5	3	0.94	1.894529	3.025253	1.9149	3.0138	0.020371	0.011453	0.000140849
17	6	3	1.06	1.767391	2.797844	1.7859	2.8025	0.018509	0.004656	1.86056E-05
18	6.5	3	1.18	1.675371	2.625067	1.6731	2.6186	0.022271	0.006467	4.18888E-05
19	7	3	1.35	1.589402	2.450629	1.5736	2.457	0.015802	0.006371	3.74703E-05
20	7.5	3	1.95	1.477608	2.322043	1.4852	2.3141	0.007592	0.007943	6.40102E-05
21	3	3.5	0.58	3.674996	5.877248	3.6987	5.8603	0.023704	0.016948	0.000306596
22	3.5	3.5	0.62	3.264139	5.223759	3.3079	5.2205	0.043761	0.003259	2.67705E-05
23	4	3.5	0.67	2.966535	4.746899	2.9902	4.7016	0.023665	0.045299	0.002103051
24	4.5	3.5	0.75	2.67778	4.277558	2.7274	4.2737	0.04962	0.003858	3.99442E-05
25	5	3.5	0.83	2.473118	3.944237	2.5066	3.9158	0.033482	0.028437	0.000873678
26	5.5	3.5	0.93	2.281101	3.626314	2.3186	3.6124	0.037499	0.013914	0.000234708
27	6	3.5	1.04	2.117581	3.350218	2.1526	3.3451	0.035019	0.005118	4.02505E-05
28	6.5	3.5	1.15	1.989822	3.129426	2.0125	3.1207	0.022678	0.008726	8.5383E-05
29	7	3.5	1.27	1.876293	2.927001	1.8895	2.9244	0.013207	0.002601	7.70298E-06
30	7.5	3.5	1.4	1.781626	2.751479	1.7806	2.7511	0.01026	0.000379	1.4444E-07
31	3	4	0.65	4.387651	6.935985	4.3966	6.9027	0.008949	0.033285	0.001113229
32	3.5	4	0.68	3.856481	6.112749	3.914	6.1244	0.057519	0.011651	6.95984E-05
33	4	4	0.72	3.479023	5.520521	3.5257	5.499	0.046677	0.021521	0.000561678
34	4.5	4	0.78	3.15888	5.011675	3.2067	4.9868	0.04782	0.024875	0.000737761
35	5	4	0.85	2.904529	4.605023	2.9403	4.5605	0.035771	0.044523	0.002097875
36	5.5	4	0.94	2.671188	4.227228	2.7145	4.2006	0.043312	0.026628	0.000812474
37	6	4	1.04	2.475074	3.905583	2.5143	3.8825	0.039226	0.023083	0.000606227
38	6.5	4	1.14	2.322526	3.651989	2.3475	3.6182	0.024974	0.033789	0.001184234
39	7	4	1.26	2.169932	3.39254	2.2013	3.3874	0.031368	0.00514	3.75028E-05
40	7.5	4	1.37	2.059855	3.201971	2.0723	3.1842	0.012445	0.017771	0.000321337

Fuente: Elaboración propia

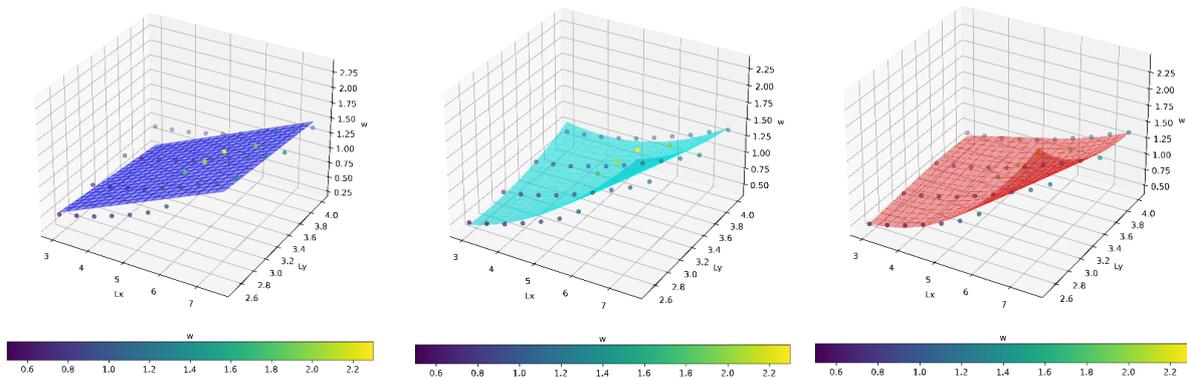
Se utilizaron dos métodos: el método de la rigidez, como referencia teórica, y un software de análisis estructural, para corroborar los resultados, se cuantificó el error mínimo entre ambos métodos para validar el valor obtenido de w óptimo.

Ilustración 43. Determinación de error entre los 40 pórticos de 2 pisos



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 44. Graficas de primer, segundo y tercer grado de (w) óptimo para 2 pisos



Fuente: Elaboración propia

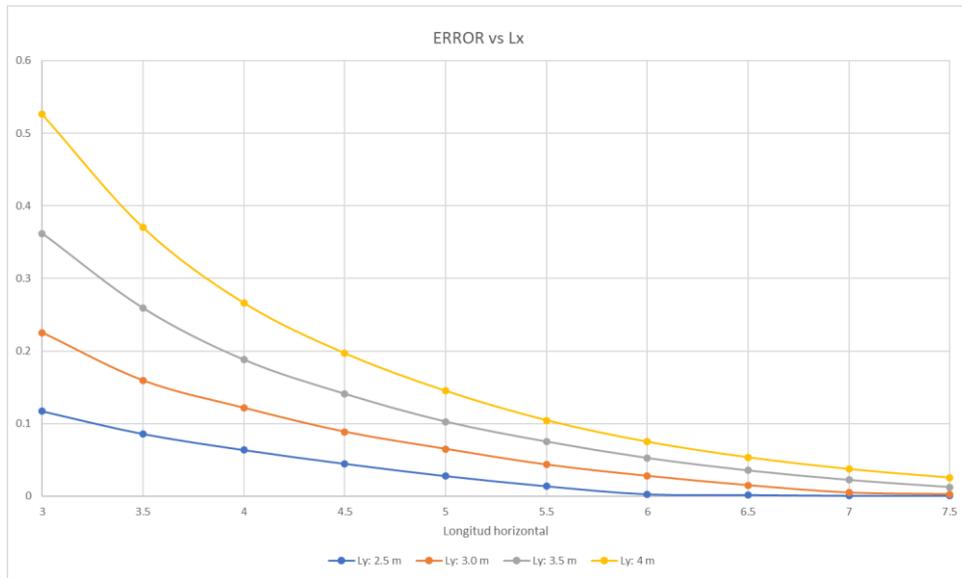
Tabla 8. Pórticos simples de tres pisos

Numero portico	Longitudes			Desplazamientos (cm)						Diferencia en pisos (cm)			Error minimo
	Horizontal	Vertical	ancho equivalente	Rigidez			Software			P1	P2	P3	
				P1	P2	P3	P1	P2	P3				
Lx	Ly	w	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3		
1	3	2.5	0.45	3.768617	6.357845	7.586518	3.4915	6.3239	7.7838	0.277117	0.033945	0.197282	0.116866282
2	3.5	2.5	0.51	3.419102	5.746916	6.864695	3.1675	5.703	7.0077	0.251602	0.043916	0.143005	0.085682611
3	4	2.5	0.59	3.119288	5.229111	6.253732	2.8951	5.1842	6.3601	0.224188	0.044911	0.106368	0.063591409
4	4.5	2.5	0.69	2.854148	4.779685	5.729371	2.664	4.7471	5.8155	0.190148	0.032585	0.086129	0.044636249
5	5	2.5	0.81	2.615556	4.386856	5.280557	2.4661	4.3753	5.3532	0.149456	0.011556	0.072643	0.027747643
6	5.5	2.5	0.95	2.400636	4.050873	4.906398	2.295	4.0561	4.957	0.105636	0.005227	0.050602	0.013746848
7	6	2.5	1.14	2.1882	3.760355	4.584921	2.1438	3.7743	4.6074	0.0444	0.013945	0.022479	0.002671128
8	6.5	2.5	1.66	2.040125	3.548941	4.281588	2.0131	3.5331	4.309	0.027025	0.015841	0.027412	0.001732706
9	7	2.5	2.02	1.896258	3.334129	4.024143	1.8973	3.3206	4.0465	0.001042	0.013529	0.022357	0.000683955
10	7.5	2.5	2.29	1.791763	3.153627	3.808612	1.7941	3.1321	3.8138	0.002337	0.021527	0.005188	0.000495789
11	3	3	0.48	4.915807	8.071106	9.5937	4.5459	8.0804	9.8909	0.369907	0.009294	0.2972	0.225245407
12	3.5	3	0.52	4.439834	7.279379	8.6552	4.0878	7.2289	8.8364	0.352034	0.050479	0.1812	0.159309507
13	4	3	0.59	3.986218	6.525089	7.759865	3.7105	6.5314	7.9733	0.275718	0.006311	0.213435	0.121614743
14	4.5	3	0.67	3.639493	5.955652	7.087178	3.3954	5.9524	7.2577	0.244093	0.003252	0.170522	0.088669721
15	5	3	0.76	3.361549	5.504323	6.559947	3.1288	5.4654	6.6567	0.232749	0.038923	0.096753	0.06504824
16	5.5	3	0.88	3.073118	5.037787	6.024379	2.8958	5.0413	6.1339	0.177318	0.003513	0.109521	0.043448864
17	6	3	1	2.854822	4.692583	5.637219	2.6993	4.6861	5.6969	0.155522	0.006483	0.059681	0.027790944
18	6.5	3	1.14	2.64421	4.369828	5.281316	2.5276	4.3772	5.3173	0.11661	0.007372	0.035984	0.014947087
19	7	3	1.32	2.432179	4.076113	4.95672	2.3762	4.1061	4.9846	0.055979	0.029987	0.02788	0.004810163
20	7.5	3	1.75	2.284438	3.864998	4.661795	2.242	3.8664	4.6908	0.042438	0.001402	0.029005	0.002644239
21	3	3.5	0.53	6.086031	9.809353	11.636834	5.6016	9.8331	11.9925	0.484431	0.023747	0.355666	0.361735617
22	3.5	3.5	0.56	5.41942	8.73705	10.361863	5.0057	8.7485	10.6578	0.41372	0.01145	0.295937	0.258874049
23	4	3.5	0.61	4.877978	7.871613	9.331868	4.5217	7.8714	9.5788	0.356278	0.000213	0.246932	0.187909471
24	4.5	3.5	0.67	4.463397	7.213889	8.550309	4.1217	7.1502	8.6923	0.341697	0.063689	0.141991	0.140974573
25	5	3.5	0.76	4.047459	6.549782	7.767717	3.7859	6.548	7.953	0.261559	0.001782	0.185283	0.102746076
26	5.5	3.5	0.85	3.747352	6.075577	7.214847	3.5003	6.0383	7.328	0.247052	0.037277	0.113153	0.075227867
27	6	3.5	0.97	3.435451	5.579474	6.645808	3.2482	5.5895	6.7781	0.187251	0.010026	0.132292	0.052664631
28	6.5	3.5	1.09	3.195131	5.200227	6.218465	3.0357	5.2133	6.3178	0.159431	0.013073	0.099335	0.035456589
29	7	3.5	1.22	2.981145	4.865704	5.847069	2.8492	4.8842	5.9157	0.131945	0.018496	0.068631	0.022461799
30	7.5	3.5	1.36	2.789491	4.575277	5.527503	2.6842	4.594	5.5614	0.105291	0.018723	0.033897	0.012585752
31	3	4	0.6	7.244336	11.52587	13.663877	6.6478	11.5692	14.0742	0.596536	0.043334	0.410323	0.526097999
32	3.5	4	0.61	6.454465	10.28925	12.185583	5.914	10.2537	12.4624	0.540465	0.035549	0.276817	0.369993799
33	4	4	0.65	5.763116	9.211253	10.900188	5.3239	9.1992	11.1704	0.439216	0.012053	0.270212	0.266070494
34	4.5	4	0.7	5.240547	8.401825	9.936317	4.8397	8.3376	10.1154	0.400847	0.064225	0.179083	0.196873889
35	5	4	0.77	4.778036	7.682374	9.084611	4.4355	7.6216	9.2394	0.342536	0.060774	0.154789	0.144984025
36	5.5	4	0.86	4.36373	7.035061	8.325381	4.0932	7.0178	8.5015	0.27053	0.017261	0.176119	0.104502325
37	6	4	0.96	4.023235	6.502837	7.708207	3.79	6.4843	7.8501	0.233235	0.018537	0.141893	0.074875809
38	6.5	4	1.07	3.734641	6.050315	7.190357	3.5374	6.0417	7.3102	0.197241	0.008615	0.119843	0.053340575
39	7	4	1.19	3.482498	5.653286	6.741837	3.3162	5.6554	6.8394	0.166298	0.002114	0.097563	0.037178033
40	7.5	4	1.32	3.256158	5.296582	6.343013	3.121	5.3153	6.4253	0.135158	0.018718	0.082287	0.025389199

Fuente: Elaboración propia

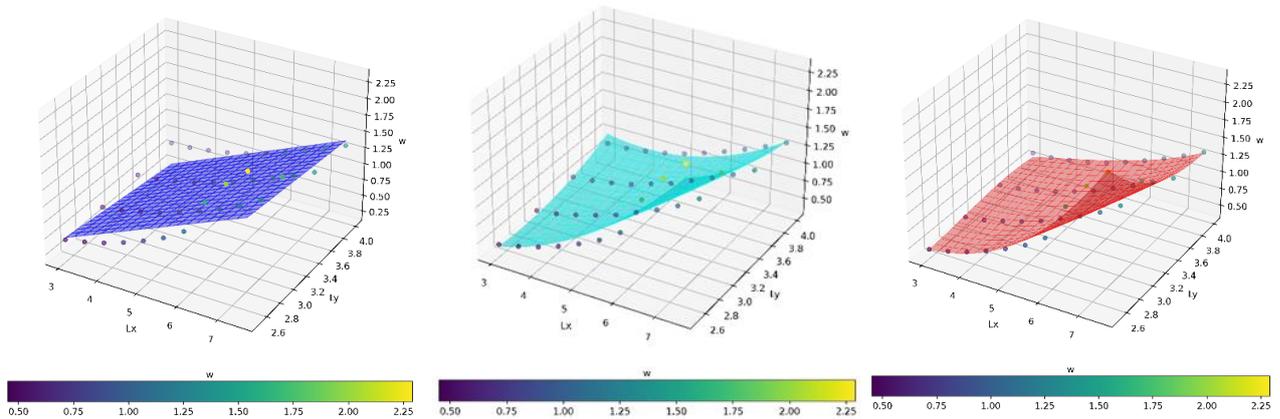
Se determinó el ancho equivalente óptimo (w óptimo) en pórticos planos de tres pisos mediante un análisis numérico comparativo entre el método de la rigidez y un software especializado. El valor de w óptimo se validó cuantificando el error mínimo entre ambos resultados.

Ilustración 45. Determinación de error entre los 40 pórticos de 3 pisos



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 46. Graficas de primer, segundo y tercer grado de (w) óptimo para 3pisos



Fuente: Elaboración propia

4.6 Verificación de las Ecuaciones a través de un Modelo en 3D

Con el fin de verificar la precisión y exactitud de las ecuaciones obtenidas, se procede a utilizar un modelo en 3D. Este proceso implica la aplicación de una fuerza de desplazamiento en cada piso de la estructura. Mediante el método de la rigidez, se emplea el puntal equivalente, cuyo ancho ha sido determinado por las ecuaciones derivadas en los pasos anteriores.

El objetivo de esta verificación es comparar los desplazamientos obtenidos a través del modelo con los resultados esperados. Se anticipa que las deformaciones calculadas utilizando el puntal equivalente presenten una correlación muy estrecha con las deformaciones observadas en el modelo tridimensional. Esto significa que las aproximaciones obtenidas mediante las ecuaciones deberían ser altamente precisas en términos de los desplazamientos registrados.

Este proceso de verificación no solo refuerza la validez de las ecuaciones propuestas, sino que también proporciona una herramienta robusta para predecir el comportamiento estructural en situaciones no contempladas inicialmente. De este modo, se garantiza que el ancho equivalente determinado mediante las ecuaciones puede replicar con fidelidad las condiciones de rigidez y desplazamiento observadas en el modelo en 3D, consolidando así su aplicación práctica en el diseño y análisis de pórticos.

Tabla 9. Ecuación polinómica para determinar ancho equivalente

ANCHO EQUIVALENTE ENTRE PUNTALES	
1 Piso	
Ecuación Primer Grado	$w = 0.272x - 0.2318y + 0.139$
Ecuación Segundo Grado	$w = 0.073x^2 - 0.197xy + 0.144x + 0.171y^2 - 0.307y + 0.392$
Ecuación Tercer Grado	$w = 0.007x^3 - 0.042x^2y + 0.099x^2 + 0.076xy^2 - 0.252xy + 0.047x - 0.044y^3 + 0.198y^2 - 0.143y + 0.323$
2 Piso	
Ecuación Primer Grado	$w = 0.256x - 0.146y + 0.131$
Ecuación Segundo Grado	$w = 0.052x^2 - 0.164 * xy + 0.239x + 0.206y^2 - 0.624y + 0.780$
Ecuación Tercer Grado	$w = 0.006x^3 - 0.054x^2y + 0.137x^2 + 0.122xy^2 - 0.40xy + 0.119x - 0.075y^3 + 0.289y^2 - 0.125y + 0.336$
3 Piso	
Ecuación Primer Grado	$w = 0.254x - 0.153y + 0.101$
Ecuación Segundo Grado	$w = 0.054x^2 - 0.162xy + 0.215x + 0.211y^2 - 0.674y + 0.875$
Ecuación Tercer Grado	$w = 0.0043x^3 - 0.049x^2y + 0.1478x^2 + 0.1346xy^2 - 0.516xy + 0.239x - 0.121y^3 + 0.687y^2 - 1.127y + 1.169$

Fuente: Elaboración propia

En un proceso de optimización numérica en Python, basado en el análisis de 40 modelos de pórticos simples, se obtuvieron las fórmulas presentadas, que dan el ancho equivalente óptimo para diseñar muros de mampostería.

Tabla 10. Ecuación exponencial para determinar ancho equivalente

ANCHO EQUIVALENTE ENTRE PUNTALES	
1 Piso	
Ecuación Exponencial	$w = 0.1491e^{0.0384x^2} - 0.1683xy + 0.4662x + 0.1444y^2 - 0.2207y$
2 Pisos	
Ecuación Exponencial	$w = 0.2829e^{0.0181x^2} - 0.1219xy + 0.4556x + 0.1475y^2 - 0.3883y$
3 Pisos	
Ecuación Exponencial	$w = 0.26351e^{0.0202x^2} - 0.1264xy + 0.4635x + 0.1545y^2 - 0.4213y$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Resultados de áreas puntal piso 1

Ancho equivalente (w) optimo				
1 piso		w(formulas)	Área puntal principal	Área puntal Secundario
Lx1	3.6	0.40361491	177.5905589	88.79527944
Ly1	3			
Lx2	2.9	0.34821887	153.2163032	76.60815162
Ly2	3			
Lx3	4.1	0.45895457	201.9400093	100.9700047
Ly3	3			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Resultados de áreas puntal piso 2

Ancho equivalente (w) optimo				
2 pisos		w(formulas)	Área puntal principal	Área puntal Secundario
Lx1	3.6	0.58167361	255.936387	127.968194
Ly1	3			
Lx2	2.9	0.50301726	221.327593	110.663797
Ly2	3			
Lx3	4.1	0.65232603	287.023452	143.511726
Ly3	3			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Resultados de áreas puntal piso 3

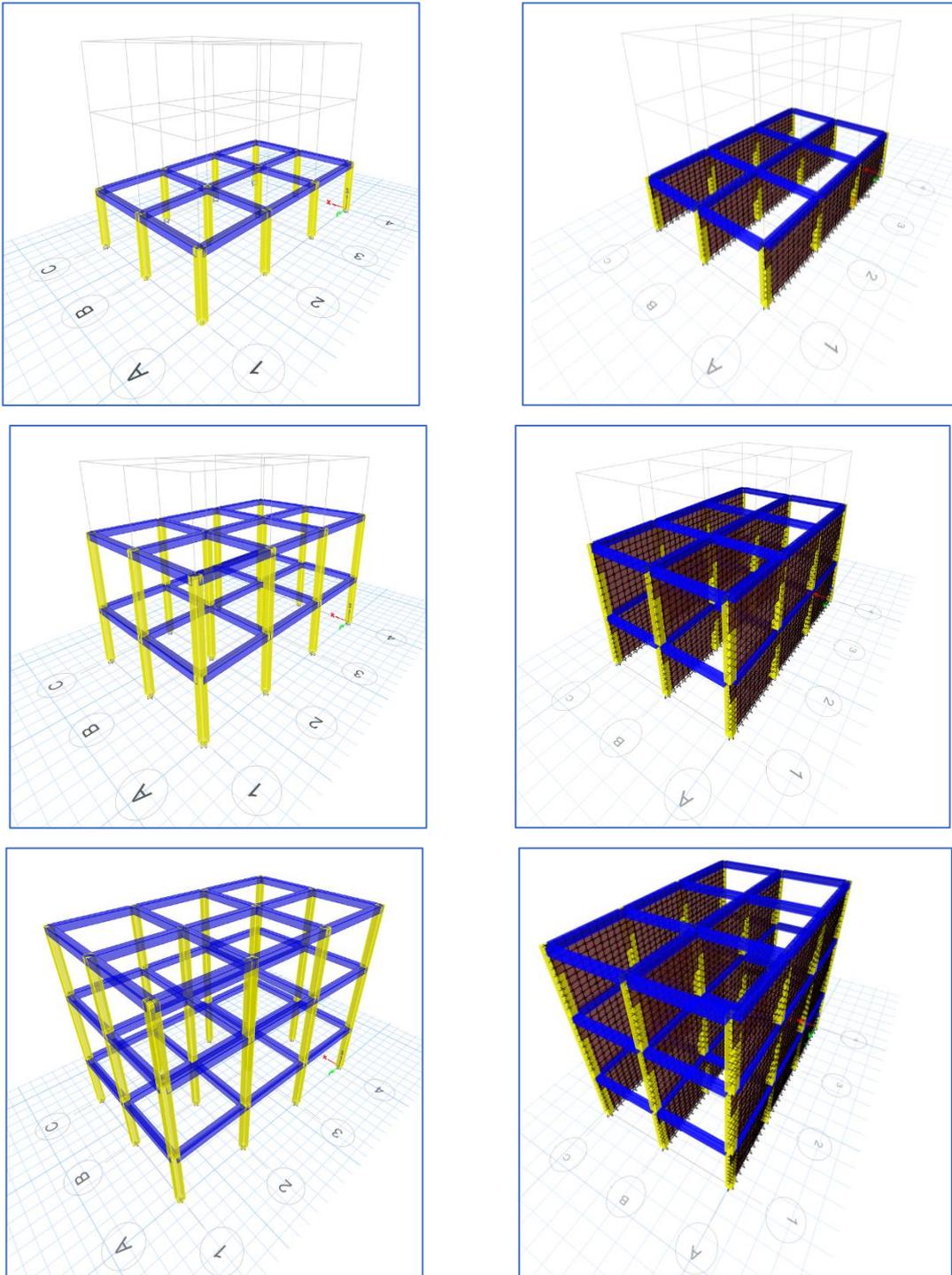
Ancho equivalente (w) optimo				
3 pisos		w(formulas)	Área puntal principal	Área puntal Secundario
Lx1	3.6	0.52632841	231.5845	115.79225
Ly1	3			
Lx2	2.9	0.45259848	199.14333	99.5716649
Ly2	3			
Lx3	4.1	0.59338615	261.089906	130.544953
Ly3	3			

Fuente: Elaboración propia

4.6.1 Análisis Comparativo: Pórticos con y sin Mampostería

Para el siguiente análisis, se han construido y evaluado seis pórticos, tanto con mampostería como sin ella.

Ilustración 47. Pórticos en 3D



Fuente: Elaboración propia

4.6.2 Resultados de las Ecuaciones Polinómicas

Tabla 14. Resultados de ancho puntal piso 1

Ancho equivalente (w) optimo		
1 piso		(formulas)
Lx1	3.6 m	0.374672
Ly1	3 m	
Lx2	2.9 m	0.359153
Ly2	3 m	
Lx3	4.1 m	0.414077
Ly3	3 m	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Resultados de ancho puntal piso 2

Ancho equivalente (w) optimo		
2 pisos		w(formulas)
Lx1	3.6 m	0.554136
Ly1	3 m	
Lx2	2.9 m	0.522384
Ly2	3 m	
Lx3	4.1 m	0.599976
Ly3	3 m	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Resultados de ancho puntal piso 3

Ancho equivalente (w) optimo		
3 pisos		w(formulas)
Lx1	3.6 m	0.5791808
Ly1	3 m	
Lx2	2.9	0.5446827
Ly2	3 m	
Lx3	4.1	0.6317703
Ly3	3 m	

Fuente: Elaboración propia

4.6.3 Resultados de las Ecuación exponencial

Tabla 17. Resultados de área puntal piso 1

Ancho equivalente (w) optimo				
1 piso		w(formulas)	Área puntal principal	Área puntal Secundario
Lx1	3.6	0.40361491	177.5905589	88.79527944
Ly1	3			
Lx2	2.9	0.34821887	153.2163032	76.60815162
Ly2	3			
Lx3	4.1	0.45895457	201.9400093	100.9700047
Ly3	3			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Resultados de área puntal piso 2

Ancho equivalente (w) optimo				
2 pisos		w(formulas)	Área puntal principal	Área puntal Secundario
Lx1	3.6	0.58167361	255.936387	127.968194
Ly1	3			
Lx2	2.9	0.50301726	221.327593	110.663797
Ly2	3			
Lx3	4.1	0.65232603	287.023452	143.511726
Ly3	3			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Resultados de área puntal piso 3

Ancho equivalente (w) optimo				
3 pisos		w(formulas)	Área puntal principal	Área puntal Secundario
Lx1	3.6	0.52632841	231.5845	115.79225
Ly1	3			
Lx2	2.9	0.45259848	199.14333	99.5716649
Ly2	3			
Lx3	4.1	0.59338615	261.089906	130.544953
Ly3	3			

Fuente: Elaboración propia

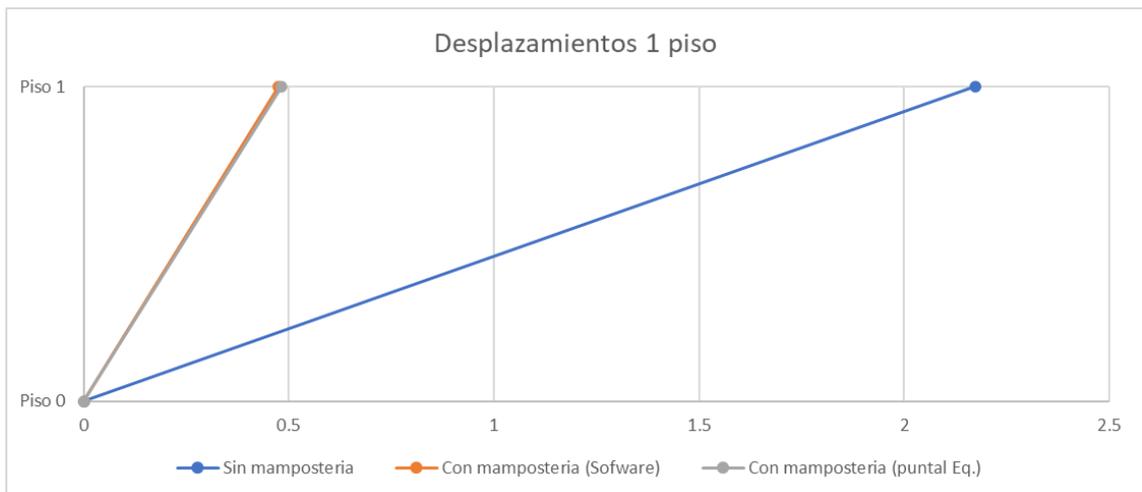
En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos, mostrando que los cálculos realizados mediante la matriz de rigidez y los obtenidos mediante el software son comparables. Sin embargo, se observa una diferencia considerable en los desplazamientos cuando se incluye el cálculo de la mampostería.

Tabla 20. Diferencia de desplazamientos entre pisos

Modelos	Pisos	Sin mampostería	Con mampostería	Puntal equivalente
1	1	2.1736	0.4745	0.482
2	1	4.5656	0.8476	0.76
	2	10.065	1.32	1.230
3	1	7.0438	1.2797	1.0844
	2	17.6883	2.2089	2.065
	3	21.7734	2.6796	2.4536

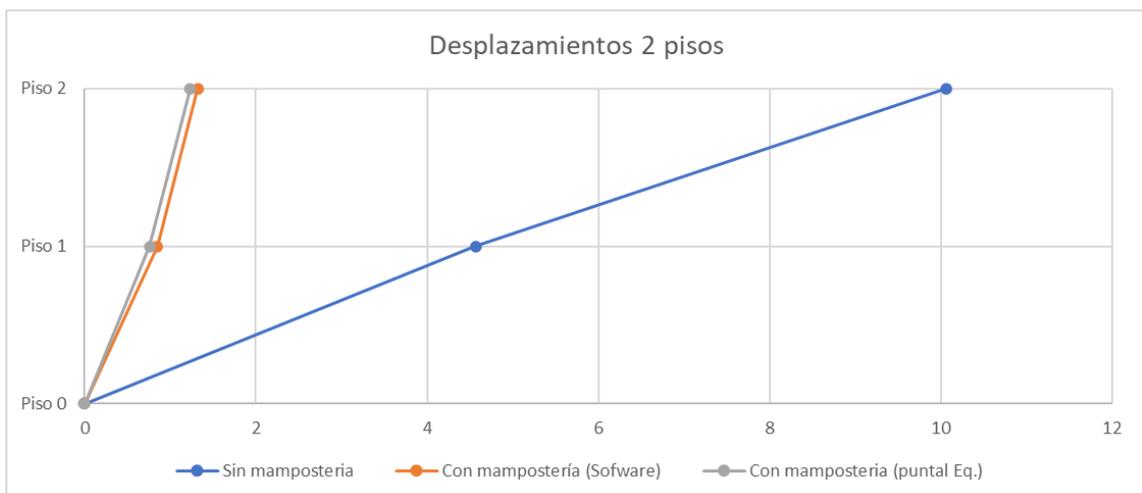
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 48. Grafica desplazamiento 1 piso



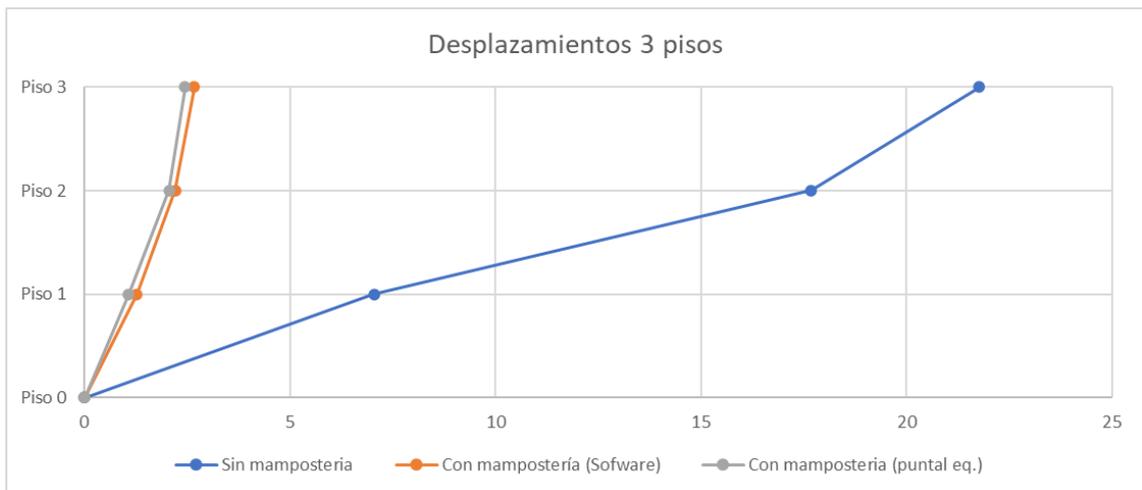
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 49. Grafica desplazamientos 2 pisos



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 50. Grafica desplazamientos 3 pisos



Fuente: Elaboración propia

Con estas graficas se puede evidenciar mejor que entre mayor sean las alturas los desplazamientos por piso varían considerablemente.

5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La contribución de la mampostería a la rigidez estructural es notable, ya que disminuye significativamente el período de vibración lo que a su vez para las estructuras de baja altura como las analizadas en este trabajo causó la disminución de demanda sísmica sobre ellas.
- Se observó que las derivas y desplazamientos de la estructura también se reducen considerablemente gracias a la incorporación de la mampostería, dependiendo de la ubicación de ellas la estructura presentaría respuestas instantáneas traslacionales o torsionales ante eventos sísmicos moderados o mayores. Además, la rigidez con respecto al último piso o azotea podría aumentar hasta en un factor de 9, lo cual dependería también de las condiciones de simetría en elevación y planta de los pórticos analizados.
- Al aplicar las ecuaciones del puntal equivalente propuestas por los distintos autores a un modelo simple de dos pisos, se observaron pequeñas discrepancias entre los resultados obtenidos y aquellos proporcionados por software especializado. Con el objetivo de minimizar estas diferencias y mejorar la precisión de los cálculos, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de 120 pórticos de uno, dos y tres pisos, lo que permitió proponer nuevas ecuaciones que se ajustan de manera más cercana a los resultados numéricos.
- La implementación en Python del método de la rigidez ha demostrado ser una herramienta invaluable para acelerar los cálculos estructurales y mejorar la precisión de los resultados. Al automatizar el proceso de análisis, hemos podido comparar de manera detallada diferentes modelos y validar el método de los tres puntales. Gracias a este enfoque, hemos desarrollado fórmulas que proporcionan una estimación más precisa del ancho del puntal equivalente, acercándose significativamente a los valores obtenidos mediante simulaciones numéricas más detalladas.
- Las ecuaciones exponenciales propuestas en estas tesis obtenidas mediante las simulaciones numéricas realizadas brindan una solución precisa para calcular el ancho del puntal equivalente. Los datos obtenidos en el estudio respaldan la suficiencia de la ecuación para garantizar la exactitud de los resultados basados en los datos obtenidos de diversos análisis realizados durante el estudio.
- La modelación de mampostería no confinada cuenta con diversas metodologías. El método de elementos finitos, destaca por su alta precisión al capturar los detalles locales del comportamiento del material. Por su parte, el método de los puntales ofrece una alternativa simplificada y eficiente para evaluar el comportamiento de la mampostería y su interacción con los pórticos. Aunque no

captura los efectos locales con la misma precisión, resulta adecuado para obtener una estimación general del comportamiento estructural

5.2 Recomendaciones

- Incorporar mampostería en el diseño de estructuras, ya que su contribución a la rigidez estructural es notable. La mampostería disminuye significativamente el período de vibración sísmica, lo que reduce la demanda sísmica sobre la estructura y mejora la estabilidad y seguridad del edificio ante eventos sísmicos.
- Utilizar directamente las ecuaciones exponenciales desarrolladas en esta tesis para el cálculo del puntal equivalente. Estas ecuaciones son menos sensibles a las variaciones decimales y proporcionan resultados más precisos, basados en los datos obtenidos de diversos análisis realizados durante el estudio.
- Revisar y mejorar las ecuaciones actuales del puntal equivalente para estructuras con más de tres pisos o múltiples pórticos laterales. La investigación ha demostrado que se requiere más de una ecuación para estos casos debido a la variabilidad del factor w según el número de pisos. La nueva fórmula desarrollada para calcular un w equivalente es mucho más precisa y puede ser utilizada para cálculos manuales o en programas de simulación para reducir la carga computacional en comparación con el uso de elementos finitos.
- Aumentar la cantidad de pórticos incluidos en el modelo. Esto ayudará a obtener mayor fiabilidad y seguridad en el uso de la fórmula, ya que un mayor conjunto de datos incrementará la precisión y la confiabilidad de los resultados.

Referencias bibliográficas

- A. C. S. Lopes, J. A. N. N. and R. B. (2021). *Analysis of structural masonry buildings considering.* 14. <https://doi.org/https://www.doi.org/10.1590/S1983-41952021000600007>
- Adhikari, R., Gotame, S., Regmi, P., Karki, B., & Gautam, D. (2023). Dynamic response of common stone masonry buildings under uncertain material properties. *Journal of Engineering Issues and Solutions*, 2(1), 26-36. <https://doi.org/10.3126/JOEIS.V2I1.49592>
- Almusaed, A., Almssad, A., Almusaed, A., & Almssad, A. (2023). Masonry for Sustainable Construction. *Masonry for Sustainable Construction*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.104068>
- Annibaldi, V., Cucchiella, F., D'adamo, I., Gastaldi, M., & Rotilio, M. (2022). Energy Improvement in the Building Sector: An Economic Analysis Relating to the most Common Italian Masonry. *Key Engineering Materials*, 919, 236-247. <https://doi.org/10.4028/P-52403F>
- Borah, B., Kaushik, H. B., & Singhal, V. (2023). Analysis and Design of Confined Masonry Structures: Review and Future Research Directions. *Buildings 2023, Vol. 13, Page 1282, 13(5)*, 1282. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13051282>
- Bru, D., Ivorra, S., & Camassa, D. (2023). Experimental Damage Identification in Masonry Structures by OMA. *2023 IEEE International Workshop on Metrology for Living Environment, MetroLivEnv 2023 - Proceedings*, 263-268. <https://doi.org/10.1109/METROLIVENV56897.2023.10164036>
- Cagua B, A. R. P. J. (2022). *Influence of infill masonry on the seismic performance of reinforced concrete frame structures.* 30, 513-527.
- Chourasia, A., Parashar, J., & Singhal, S. (s. f.). *Confined masonry construction for India: a techno economical solution for improved seismic behaviour.*
- Constantinescu, S. (2023). Heavy and light masonry walls impact on medium height reinforced concrete frames buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1283(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1283/1/012004>

- Contrafatto, L., Faro, A. Lo, Gazzo, S., & Purrazzo, A. (2022). Factors Affecting the Seismic Analysis of Historical Masonry Structures: Case of a Single-Nave Church Damaged during the 2009 L'Aquila Earthquake. *Journal of Architectural Engineering*, 28(4), 04022032. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000556)
- Cuenca-Moyano, G. M., Martín-Morales, M., Bonoli, A., & Valverde-Palacios, I. (2019). Environmental assessment of masonry mortars made with natural and recycled aggregates. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(2), 191-210. <https://doi.org/10.1007/S11367-018-1518-9/METRICS>
- Du, G., Cornelius, T., Nielsen, J., & Hansen, L. Z. (2021). Nonlinear structural analysis of a masonry wall. *IABSE Congress, Ghent 2021: Structural Engineering for Future Societal Needs*, 809-818. <https://doi.org/10.2749/GHENT.2021.0809>
- GAD del cantón Machala. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN MACHALA*.
- Galvão, L. F., & Alva, G. M. S. (2023). Structural analysis of RC infilled frames with participating masonry: a proposal procedure for multi-strut models. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 16, e16409. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952023000400009>
- Gonzalez, R. E., Stephens, M. T., Toma, C., & Dowdell, D. (2023). Incorporating potential environmental impacts in building seismic design decisions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 21(9), 4385-4428. <https://doi.org/10.1007/S10518-023-01686-Y/TABLES/9>
- Grandi, A. B. C. De, Silva, R. M. da, Alvarenga, R. de C. S. S., Ribeiro, J. C. L., Parsekian, G. A., & Medeiros, W. A. (2021). Theoretical analysis of the behavior of steel frame infilled with masonry walls by the diagonal strut method. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 14(5). <https://doi.org/10.1590/s1983-41952021000500008>
- Guo, C., Wang, D., Lu, C., -, al, Ashebir, G., Nie, C., Chen, Y., Hermawan, F., Pratiwi, A. N., Susanto, T., & D Hatmoko, J. U. (2023). Accident prevention in a highly occupied building through safety audit: a readiness perspective in university

- buildings. *IOP conference series*, 1195(1), 012048-012048.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1195/1/012048>
- Haindl, M., Burton, H., & Sattar, S. (2023). Quantification of Equivalent Strut Modeling Uncertainty and Its Effects on the Seismic Performance of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames. *Journal of Earthquake Engineering*.
<https://doi.org/10.1080/13632469.2023.2171509>
- Hapsari, I. R., Marwahyudi, Purwanto, E., Sangadji, S., & Kristiawan, S. A. (2023). Various Strut—Macro Modelings for Infilled Frame Analysis. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 225, 199-213. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9348-9_18/TABLES/7
- Huang, M., & Simonen, K. (2019). Comparative Environmental Analysis of Seismic Damage in Buildings. *Journal of Structural Engineering*, 146(2), 05019002.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002481](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002481)
- Humayun Basha, S., Surendran, S., & Kaushik, H. B. (2020). Empirical Models for Lateral Stiffness and Strength of Masonry-Infilled RC Frames Considering the Influence of Openings. *Journal of Structural Engineering*, 146(4).
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0002562](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0002562)
- IJRET - International Journal of Research in Engineering and Technology*. (s. f.).
 Recuperado 16 de febrero de 2024, de <https://www.ijret.org/>
- Influence of Openings on Earthquake Performance. (2023). *Influence of Openings on Earthquake Performance of*. <https://doi.org/https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2508157/v1>
- Kettar, J., Baba, K., Nounah, A., & Bahi, L. (2018). Mechanical behavior of the reinforced concrete frame with masonry filling Comportement mécanique des portiques en béton armé avec remplissage en maçonnerie. *MATEC Web of Conferences*, 149, 02062. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201814902062>
- Khattak, N., Derakhshan, H., Thambiratnam, D. P., Malomo, D., & Perera, N. J. (2023). Modelling the in-plane/out-of-plane interaction of brick and stone masonry

- structures using Applied Element Method. *Journal of building engineering*, 76, 107175-107175. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.107175>
- Kotoulas, L., & Κωτούλας, Λ. (2022). Πειραματική και αριθμητική διερεύνηση της συμπεριφοράς τμημάτων λιθοδομής που υποβάλλονται σε εργαστηριακές φορτίσεις που προσομοιώνουν την εντός επιπέδου ένταση υπό κατακόρυφα φορτία και σεισμικές δράσεις. <https://doi.org/10.12681/EADD/52694>
- Krtinić, N., Gams, M., & Marinković, M. (2023b). *PUSHOVER ANALYSIS OF CONFINED MASONRY WALLS USING EQUIVALENT DIAGONAL STRUT MODELS*. 588-599. <https://doi.org/10.5592/co/2crocee.2023.30>
- Lanning, F. & H. A. & L. M. K. & M. A. & M.-D. H. & S. A. & T. A. & D.-F. G. & A. N. & N. S. & V.-G. X. & G. R. & Diaz. . . . (2016). *EERI-Ecuador-2016*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27341.23527>
- Li, Z., Li, Y., & Bai, X. (2023). Repair of damp-proof layers of historic masonry buildings in Shanghai, China. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 176(3), 1-6. <https://doi.org/10.1680/JCIEN.22.00237>
- Liberatore, L., Noto, F., Mollaioli, F., & Franchin, P. (2018). In-plane response of masonry infill walls: Comprehensive experimentally-based equivalent strut model for deterministic and probabilistic analysis. *Engineering Structures*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.04.057>
- Limbah, P., Sebagai, K., Filler, B., Pembuatan, U., Beton, B., Saputri, R. I., Tethool, Y. C. V, Pramanagara, R. O., Artikel, R., & Kunci, K. (2023). Utilization of Waste Glass as Filler Material for Concrete Bricks. *Journal of Information Science and Technology*, 12(1), 143-148. <https://doi.org/10.30862/JISTECH.V12I1.207>
- Lubin, C., Guerrero, H., Alcocer, S. M., & Lopez Batiz, O. (2023). Experimental Behavior of Confined Masonry Walls Rehabilitated with Reinforced Mortar Jacketing Subjected to Cyclic Loading. *Buildings*, 13(5), 1314-1314. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13051314>
- Masonry for Sustainable Construction. (2023). *Masonry for Sustainable Construction*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.104068>

- Nikellis, A., Sett, K., & Whittaker, A. S. (2019). Multihazard Design and Cost-Benefit Analysis of Buildings with Special Moment–Resisting Steel Frames. *Journal of Structural Engineering*, 145(5), 04019031. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002298](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002298)
- Pari, M., Van de Graaf, A. V., Hendriks, M. A. N., & Rots, J. G. (2021). A multi-surface interface model for sequentially linear methods to analyse masonry structures. *Engineering Structures*, 238, 112123. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.112123>
- Peligro Sísmico - Instituto Geofísico - EPN.* (s. f.). Recuperado 10 de febrero de 2024, de <https://www.igepon.edu.ec/mapas/peligro-sismico/mapa-peligro-sismico.html>
- Pérez Gavilán Escalante, J. J., Brzev, S., Espinosa Cazarin, E. F., Ganzerli, S., Quiun, D., & Reiter, M. T. (2023). Experimental Research Studies on Seismic Behaviour of Confined Masonry Structures: Current Status and Future Needs. *Buildings* 2023, Vol. 13, Page 1776, 13(7), 1-12. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13071776>
- Pešta, J., Pavlů, T., Fortová, K., & Kočí, V. (2020). Sustainable Masonry Made from Recycled Aggregates: LCA Case Study. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 1581, 12(4), 1581. <https://doi.org/10.3390/SU12041581>
- PLAN DE GESTION INTEGRAL DE RIESGOS Y DESASTRES. (2019). *PLAN DE GESTION INTEGRAL DE RIESGOS Y DESASTRES.*
- Quinde, J. A., Jiménez-Pacheco, J., & Ortega-Guamán, E. (2023). Review of design standards for confined masonry in Latin America: proposals for the Ecuadorian Construction Standard. *Revista Politecnica*, 51(1), 77-92. <https://doi.org/10.33333/rp.vol51n1.07>
- Rana, Md. M., Azad, Md. S., Akhi, A. H., & Azad, G. Md. S. I. (2017). Effect of Environmental Impact in Building Constructions. *American Journal of Civil Engineering* 2017, Volume 5, Page 339, 5(6), 339-343. <https://doi.org/10.11648/J.AJCE.20170506.14>
- Richards, P. W., McCall, A. J., & Marshall, J. D. (2023). Functional Recovery of Steel Special Moment Frames. *Journal of Structural Engineering*, 149(3), 04022261.

<https://doi.org/10.1061/JSENDH.STENG-11567/ASSET/A3ED837F-B7CD-4E72-8515-18CE8F73730A/ASSETS/IMAGES/LARGE/FIGURE12.JPG>

Schiavoni, M., Giordano, E., & Clementi, F. (2023). Some recent advances and applications in Distinct Element modelling of masonry structures. *Theoretical and Applied Mechanics-AIMETA 2022 Materials Research Forum LLC Materials Research Proceedings*, 26, 313-318. <https://doi.org/10.21741/9781644902431-51>

Seismic Performance Assessment. (2022). *Seismic Performance Assessment of Masonary Infilled RC Frames by Using Staad PRO*. 10(V). <https://doi.org/https://www.doi.org/10.22214/ijraset.2022.43272>

Simonović, G., Hrasnica, M., & Medić, S. (2023). *ENGINEERING MODEL FOR ANALYSIS OF MASONRY STRUCTURES*. 432-439. <https://doi.org/10.5592/co/2crocee.2023.114>

Sismos - Instituto Geofísico - EPN. (s. f.). Recuperado 10 de febrero de 2024, de <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/content/40-sismos>

SONG, Y., AGKATHIDIS, A., & KOECK, R. (2023). Augmented masonry design - a design method using augmented reality (ar) for customized bricklaying design algorithms. *APJ*, 28(3), 42. <https://doi.org/10.54729/2789-8547.1237>

Tuxhari, M., Baballëku, M., & Asllani, M. (2023). *Architectural design and earthquake consequences in buildings*. 856-867. <https://doi.org/10.5592/CO/2CROCEE.2023.76>

Yang, G., Zhao, E., Li, X., Norouzzadeh Tochaei, E., Kan, K., & Zhang, W. (2019). Research on Improved Equivalent Diagonal Strut Model for Masonry-Infilled RC Frame with Flexible Connection. *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3725373>

Zeng, B., & Li, Y. (2023). Towards Performance-Based Design of Masonry Buildings: Literature Review. *Buildings 2023*, Vol. 13, Page 1534, 13(6), 1534. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13061534>

Zięba, J., Skrzypczak, I., & Buda-Ożóg, L. (2021). Calibration of Partial Safety Factors of Sample Masonry Structures. *Materials*, *14*(17), 5003. <https://doi.org/10.3390/MA14175003>

Anexo 5. Pórtico 3 pisos

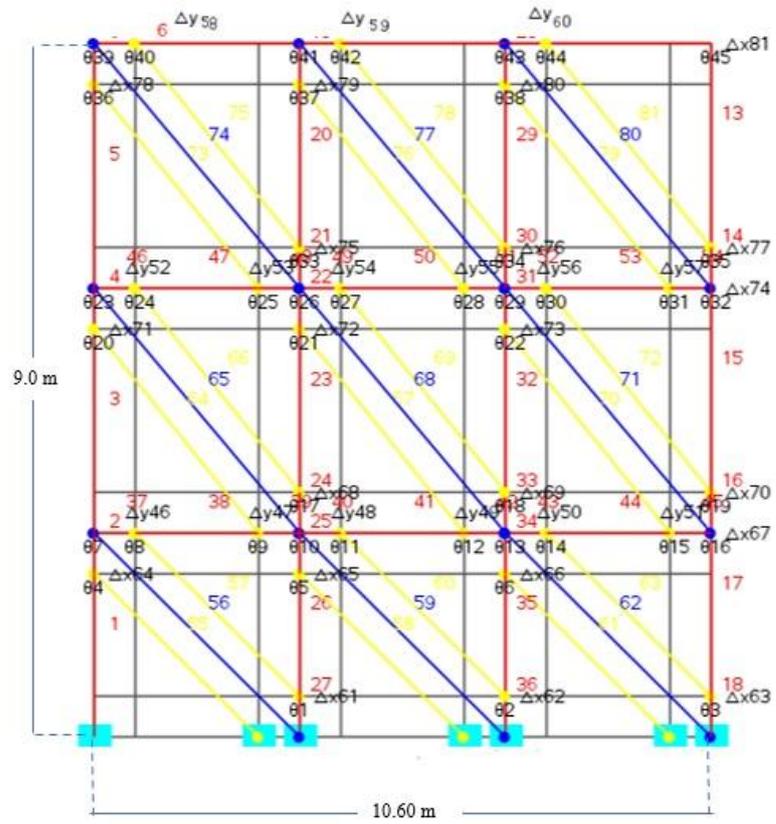
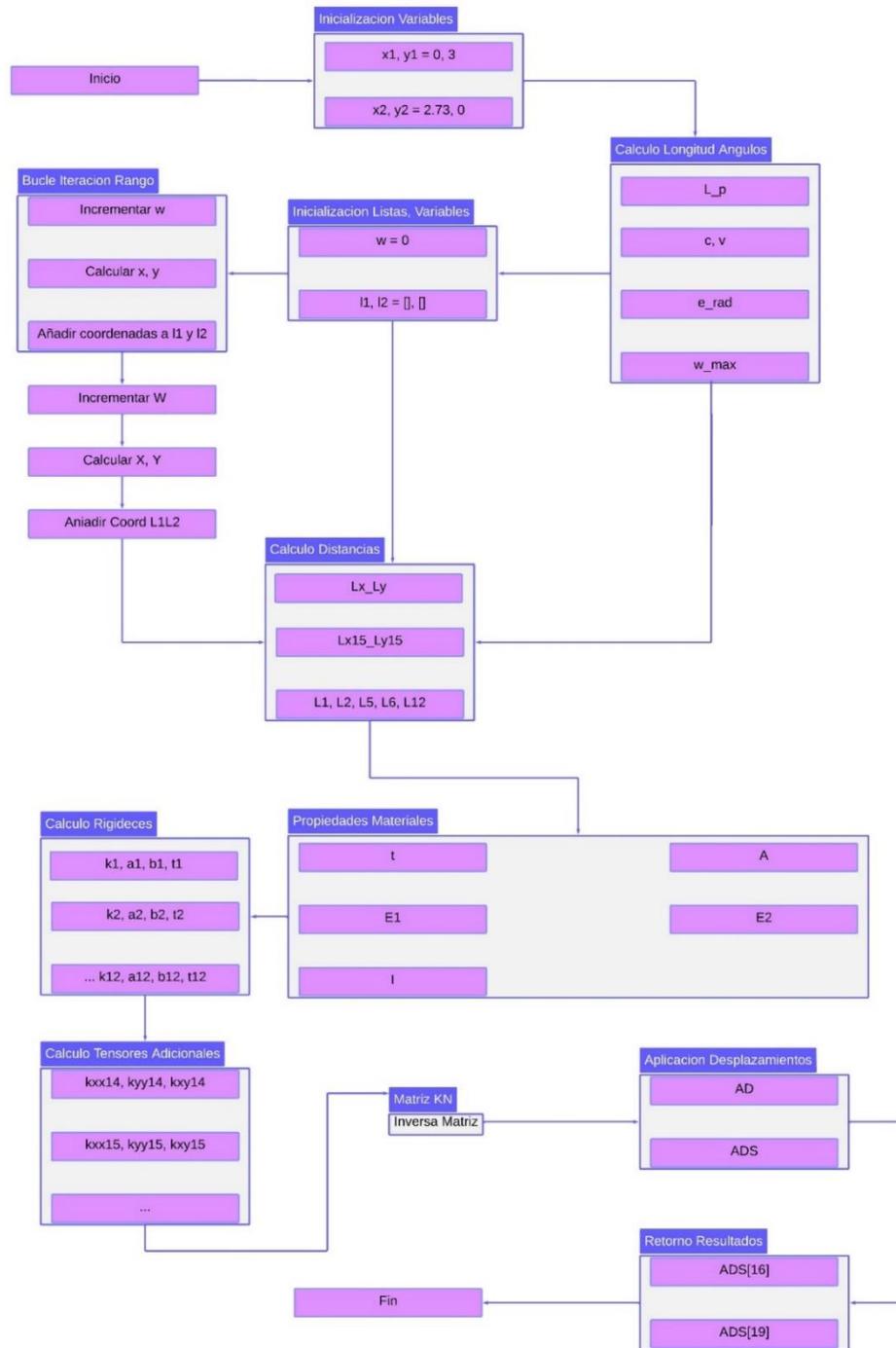


Diagrama de flujo

Anexo 6. Diagrama de flujo método de Rigidez



Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Código para desplazamiento

```
import math
```

```
def calcular(paso):
```

```
    x1, y1 = 0, 3 # coordenadas puntal centro
```

```
    x2, y2 = 2.73, 0 # coordenadas puntal centro
```

```
    L_p = ((x1 - x2)**2 + (y1 - y2)**2)**0.5
```

```
    c, v = abs(y1 - y2), abs(x1 - x2)
```

```
    e_rad = math.asin(c / L_p)
```

```
    w_max = abs(math.sin(e_rad) * v / math.sin(math.radians(90)))
```

```
    w = 0
```

```
    l1, l2 = [], []
```

```
    for i in range(1):
```

```
        w += paso
```

```
        x, y = w * L_p / c, w * L_p / v
```

```
        l1.append([(x1 + x, y1), (x2, y)]) # puntales arriba a la izquierda
```

```
        l2.append([(x1, y1 - y), (x2 - x, y2)]) # puntales izquierda abajo
```

```
    #tensor Lx Ly
```

```
    Lx= 100*abs(l1[0][0][0]-l1[0][1][0])
```

```
    Ly= 100*abs(l1[0][0][1]-l1[0][1][1])
```

```
    #tensor 15
```

```
    Lx15= 100*abs(x2-x1)
```

```
    Ly15= 100*abs(y2-y1)
```

```
    #Elemento: 1
```

```
    L1=Ly
```

```
    #Elemento: 2
```

```
    L2=abs(100*y1-L1)
```

```
    #Elemento: 5
```

```
    L5=abs(100*x2-Lx)
```

```
    #Elemento: 6
```

```
    L6=abs(Lx)
```



```

0, a6, k6+k7, 0, 0, b6, 0, 0, 0, 0, -b7, b7], [0, 0, -b11, -b11+b12, b12, 0, 0, 0, 0, 0,
0, t11+t12+kyy14, -t12, 0, 0, 0, -kxy14, kxy14, 0, 0], [0, 0, 0, -b12, -b12+b13,
b13, 0, 0, 0, 0, 0, -t12, t12+t13+kyy19, 0, 0, kxy19, -kxy19, 0, 0, 0], [0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, -b5, -b5+b6, b6, 0, 0, t5+t6+kyy16, 0, 0, 0, 0, kxy16, -kxy16], [b1-b2, 0, -
b2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, t1+t2+kxx17, 0, -t2, 0, 0, 0], [0, -b9+b10, 0, 0, 0,
-b9, 0, 0, 0, 0, 0, 0, kxy19, 0, 0, t9+t10+kxx19, -kxx19-t9, 0, 0, 0], [b2, b9, b2-b3,
0, 0, -b8+b9, -b3, -b8, 0, 0, 0, -kxy14, -kxy19, 0, -t2, -kxx19-t9,
kxx19+t8+t9+kxx15+kxx14+t2+t3+kxx18, -kxx14-t3, -t8, -kxx15], [0, 0, b3, 0,
0, 0, b3-b4, 0, -b4, 0, 0, kxy14, 0, 0, 0, 0, -kxx14-t3, t3+t4+kxx14, 0, -t4], [0, 0,
0, 0, 0, b8, 0, -b7+b8, 0, 0, -b7, 0, 0, kxy16, 0, 0, -t8, 0, t7+t8+kxx16, -kxx16-t7],
[0, 0, 0, 0, 0, 0, b4, b7, b4, 0, b7, 0, 0, -kxy16, 0, 0, -kxx15, -t4, -kxx16-t7,
kxx16+t7+t4+kxx15]]

```

```
kn=np.array(kn)
```

```
kn_inversa = np.linalg.inv(kn)
```

```
AD=np.array([0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,50,0,0,50])
```

```
ADS= np.dot(kn_inversa, AD)
```

```
return ADS[16],ADS[19]
```